

Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta

Matti Kärkkäinen

ABSTRACT: MODEL OF KNOTTINESS OF WOOD MATERIAL IN PINE, SPRUCE, AND BIRCH

Kärkkäinen, M. 1986. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. Abstract: Model of knottiness of wood material in pine, spruce, and birch. *Silva Fennica* 20(2): 107-116.

Rungon puuaineen oksaisuuden kuvaamiseksi kehitettiin malli, jolla voidaan ennustaa puuaineessa olevien oksien sijainti, koko ja laatu (kuolleet ja elävät oksat). Malli on tarkin puulajeilla, joilla oksia syntyy ainoastaan latvakasvaimen päähän. Mänty on Suomessa tällainen puulaji.

Mallin käyttökelpoisuutta kokeiltiin ennustettaessa oksaisuutta ja sen vaikutusta tuotettaessa pienikokoisia aihioita puusepänteollisuudessa. Osoittautui, että aihion poikkileikkauksen muodolla on huomattava merkitys halutunlaisen laatutason saavuttamiseen. Erityisen käyttökelpoinen on poikkileikkauksen neliömäisyys, sillä tällöin lisääntyy oksattoman pinnan todennäköisyys muihin poikkileikkausmuotoihin verrattuna.

A computer model was developed for predicting knottiness of wood material. The prediction includes location of knots, their size and quality, i.e. if they are dead or living knots. The model suits best for tree species where branches are born at the base of shoots, in Finland pine (*Pinus sylvestris* L.).

The usefulness of the model was tested in the prediction of knots in wooden elements of joinery industry. According to the results the shape of cross section affects the surface quality of elements. Especially useful is a quadratic cross section as it increases the probability to get a knotless surface.

Keywords: Pine, spruce, birch, knots, simulation.

ODC 852.12:174.7 *Pinus sylvestris* + *Picea abies* + 176.1 *Betula pendula* + *B. pubescens*.

Correspondence: University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki, Finland.

Approved on 14. 5. 1986

1. Johdanto

Puutieteellisen kirjallisuuden mukaan puuaineessa olevat oksat vaikuttavat haitallisesti useissa jalostus- ja käyttömuodoissa, erityisesti saha- ja vaneriteollisuudessa, missä jalostus on olennaisesti raaka-aineen paloitteita. Oksien merkitys on pienempi kuiduttavassa teollisuudessa. Perussy puunjalostusmuotojen eroon on itse asiassa tuotteen koossa: sahateollisuudessa jopa yksittäinen oksa voi alentaa koko suuren saheen laatua huolimatta siitä, että oksa on saheen tilavuudesta vain muutamia prosentteja. Sitä vastoin kuiduttavassa teollisuudessa oksien haitallinen vaikutus rajoittuu oksiin ja niiden ympärillä olevaan puuaineeseen. Näin ollen oksien takia heikkolaatuista tuotetta syntyy korkeintaan sen verran kuin oksien ja ympäryspuun osuus rungon käyttöosasta on. Suomalaisilla puulajeilla oksapuun osuus on tukkipuukokoisissa rungoissa alle prosentin ja lehtipuuden kuitupuukokoisissa rungoissakin alle kaksi prosenttia (Nylinder ja Hägglund 1955, Nylinder 1959, Hakkila ja Rikkonen 1970, Lehtonen ym. 1978, Uusvaara ja Pekkala 1979).

Edellä esitetystä voidaan päätellä, että rungon käyttöosasta valmistettävien kappaleiden suuruudesta riippuen oksaisia kappaleita on alhaisimmillaan alle 1 % (hakepala-

sen kokoiset kappaleet) ja korkeimmillaan 100 % (suuret saheet).

Vaikka em. oksaisuuden yhteys kappaleen kokoon on selvä yleisenä säännönmukaisuutena, toistaiseksi ei ole laadittu malleja, jotka olisivat kvantifioineet riippuvuuden. Samoin on puutteellisesti selvitetty, miten ulkoisista oksaisuustunnuksista voidaan päätellä rungon sisäistä oksaisuutta. Ennustamisen vaikeus näkyy mm. siinä, miten huonosti pystytään ennustamaan sydäntavaran laaturajat rungon ulkoisten ominaisuuksien avulla (esim. Orke 1986).

Tässä tutkimuksessa pyritään kehittämään malli, jota käyttäen voidaan ennustaa rungosta leikattavien kappaleiden oksaisuus kappaleen sijainnin, koon ja muodon mukaan. Lisäksi malli pyritään rakentamaan siten, että sen avulla voidaan tarkastella eri tekijöiden vaikutusta oksaisuuteen. Samalla pyritään luomaan kvantitatiivista pohjaa ennustettaessa rungon sisäistä oksaisuutta ulkoisten oksatunnuksien avulla. Päähuomio kiinnitetään mäntyyn, joskin osa tuloksista voidaan yleistää myös kuuseen ja koivuun.

Käsikirjoituksen lukivat MMK Aili Tuimala ja prof. Olli Uusvaara. Kiitän saamastani tuesta.

2. Mallin rakenne

21. Oksaisuuden kuvaus

Kun pyritään kuvaamaan oksien sijaintia rungossa, on luontevinta kuvata rungon muoto Laasasenahon (1982) runkokäyrän avulla. Tämä runkokäyrä perustuu rinnankorkeusläpimitan ja pituuden tuntemiseen. Mikäli tiedossa on ainoastaan läpimita, pituuden läpimitasta riippuvana arvona voidaan käyttää Kilkin ja Siitosen (1975) mukaista tulosta.

Oksien keskinäinen etäisyys rungon pituussuunnassa on helpoimmin kuvattavissa männyllä, koska kaikki oksat syntyvät päätesilmua reunustavista sivusilmuista. Näin ollen oksakiehkuroiden väli on männyllä sama kuin vuotuinen pituuskasvu. Kuusella syntyy

kasvaimen päähän muodostuvien oksien lisäksi välioksia, jotka tosin jäävät pääteoksia pienemmiksi. Koivulla oksat sijaitsevat em. puulajeista satunnaisimmin (Trendelenburg ja Mayer-Wegelin 1955).

Rungon pituuskasvu muuttuu iän myötä. Taimivaiheessa pituuskasvu on melko hidas nopeutuen riukumetsävaiheessa. Vanhoilla puilla pituuskasvu jälleen heikkenee. Puulajien rytmi on erilainen: koivulla nuoruuden pituuskasvu on nopein ja kuusella hitain. Mänty on em. puulajien välissä (esim. Parviainen 1985).

Pituuskasvutietoja on julkaistu vain nuo-

rista puista. Vanhempien puiden pituuskasvu voidaan selvittää derivoimalla iän mukainen pituusyhtälö. Käsillä olevassa tutkimuksessa männyn kuvaaja saatiin Ilvessalon ja Ilvessalon (1975) tutkimuksesta. Ruotsista on käytettävissä pituusboniteettia varten laadittuja yhtälöitä männylle ja muille puulajeille (esim. Hägglund 1972).

Rungon pituussuuntaisen oksafrekvenssin lisäksi puuaineen oksaisuuteen vaikuttaa oksien lukumäärä kussakin kiehkurassa. Männyllä tiedetään, että rodullinen vaihtelu on suuri (Eklundh-Ehrenberg 1963, Rautiainen 1971), eikä esim. metsän tiheys ja siitä seuraava puun kasvun vaihtelu paljoakaan vaikuta oksien lukumäärään kiehkurassa (Stiell 1966, Persson 1977). Jos metsän tiheys halutaan malliin mukaan, vaikutus on negatiivinen: puuston tihentyessä kiehkurassa olevien oksien keskimääräinen lukumäärä vähenee (Mathieu 1967, Kellomäki 1980, 1984, Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja Kellomäki 1982, Dippel 1982, Thren 1985). Poikkeava tulos on Varmola (1980). – Käsillä olevassa tutkimuksessa automaattista riippuvuutta ei rakennettu malliin, mutta oksien lukumäärä annetaan tuloksiin vaikuttavana parametrimä.

Peräkkäisissä kiehkuroissa olevien oksien asema toisiinsa nähden vaikuttaa oksien merkittävyteen vikana. Kun parempaa tietoa ei ollut, mallissa oletettiin oksien suuntautumisen olevan satunnainen peräkkäisissä kiehkuroissa. Samassa kiehkurassa oksien oletettiin suuntautuneen tasaisesti, ts. oksien välinen kulma oli vakio.

Oksien lukumäärän lisäksi on tärkeää tietää niiden laatu, käytännössä se, onko kyseessä elävä (tuore, terve) vai kuollut (kuiva) oksa. Edelliselle on tunnusomaista se, että oksan puuaine liittyy solutasolla ympäröivän puuaineen soluihin. Kuollut oksa on taas sellainen, ettei yhteyttä ole, vaan rungon puuaine kiertää kuivan oksan solukot kuin minkä tahansa puuaineeseen joutuneen vieraan esineen. Selvää myös on, että jokaisen kuolleen oksan tyviosa on elävä oksa. Sama oksa on siis "elävä" tai "kuollut" riippuen siitä, millä etäisyydellä ytimestä asiaa tarkastellaan. – Oksan laatua kuvaavat termit ovat harhaanjohtavia sikäli, että yleensä em. elävät oksat ovat fysiologisesti kuolleita. Termit ovat niin vakiintuneet, ettei liene enää mahdollista siirtä kuvaavampiin ilmaisuihin, jotka kuvaisi-

vat paremmin solutasolla olevaa yhteyttä tai sen puuttumista.

Puuaineessa olevan oksan laatu voidaan selvittää simuloimalla rungon ulkoisten oksaisuustunnuksien kehitystä. Kun ulkoisina tunnuksina käytetään latvusrajaa ja kuivaoksarajaa, saadaan selvitettyksi rungon jakautuminen terveoksaiseen, kuivaoksaiseen ja oksattomaan osaan. Latvusrajasta ylöspäin on terveoksaista puuta, kuivaoksarajan ja latvusrajan välissä kuivaoksaista puuta ja kuivaoksarajan alapuolella oksatonta puuta. Kun tällainen erottelu tehdään rungon kasvun eri vaiheissa, saadaan simuloituksi rungon sisäinen jakauma.

Edellä esitetyn mukaisesti rungon oksavyöhykkeiden kuvaukseen tarvitaan tieto latvusrajan ja kuivaoksarajan kehityksestä. Tässä työssä käytettiin valtakunnan metsien inventoinnin osa-aineiston tuloksia, jotka koskevat mäntyä, kuusta ja koivua (Hakkila ym. 1972).

Myös oksan paksuus vaikuttaa puutavaran laatuun. Oksan muotona käytettiin ytimestä alkavaa paraboloidia (Wegelius 1939, s. 90), ja paksuuskasvukerroin määritettiin empiiristen materiaalien perusteella, pääasiassa em. valtakunnan metsien inventoinnin osa-aineistosta (Hakkila ym. 1972). Malli laadittiin siten, että oksan paksuuskasvu kohosi puun suuretessa. Näin ollen määrätäisyydellä ytimestä oksien paksuus kasvoi tyvestä latvaan päin pysyen lopuksi vakiona vihreän latvuksen alueella. Lisäksi oksan paksuuskasvuun liitettiin riippuvuus rungon yleisestä laadusta, jota kuvattiin kuivaoksarajalla: mitä alempana kuivaoksaraja oli rungon läpimitaan nähden, sitä suurempi oli oksan paksuuskasvu.

Käsillä olevan tutkimuksen malliin ei sisällytetty oksan käyryysfunktioita. Erityisesti vanhoissa kuusissa oksan kulma runkoon nähden suurenee puun iän kasvaessa, mikä merkitsee oksan muodostumista käyräksi (Wegelius 1939, s. 70).

22. Saheiden ja sahauksen kuvaus

Sahatavarakappaleiden tuotannon kuvaamiseksi on tiedettävä sahausraon suuruus, joka voi olla erilainen esim. katkaisussa ja syiden suuntaisessa leikkauksessa. Lisäksi on

määriteltävä tuotannossa käytettyjen mittojen ja sahatavaran kuivien nimellismittojen riippuvuus. – Käsillä olevassa työssä mitat olivat ns. Mercantilen mitat.

Kun oksaisuusmallia ajateltiin käytettävän lähinnä pienten aihioiden laadun tarkasteluun, simuloinnin lähtökohdaksi otettiin aihioviipale, joka vastaa läpisahattua särmäämättöä kappaletta. Tuotettavan aihion tuorepaksuus määritteli viipaleen paksuuden. Viipaleen sijainti rungossa kuvattiin antamalla ulkopinnan etäisyys ytimestä. Tällöin otettiin huomioon myös mahdolliset sahausraot.

Aihiot oletettiin sahattavaksi viipaleesta siten, että viipaleesta otetaan sen tyvipäästä alkaen aihion pituisia osia. Näistä sahataan syiden suuntaan reunasta alkaen aihioita niin kauan, kunnes viipalepätjän leveys on käytetty. Jätteenä jää reunasta osa, jonka leveys on kapeimmillaan aihion leveyttä pienempi. Yhden viipalepätjän jälkeen siirrytään seuraavaan pätkään jne., kunnes koko haluttu viipaleen pituus on käytetty. – Tällainen tuotantotapa on perinteisesti vallinnut huonekaluteollisuudessa käytettäessä mutkaisia lehtipuita raaka-aineena. Suorilla havupuilla voidaan ajatella myös muunlaisia tuotantomalleja, esim. sellaista, jossa ensiksi leikataan viipaleesta pitkiä sauvoja, jotka myöhemmin katkotaan pituudeltaan erilaisiksi aihioiksi. – Jäljempänä esitettävät tulokset perustuvat kaikki perinteiseen lehtipuiden sahaustapaan.

Aihioiden oksaisuuslaatu simuloitiin seuraavasti. Viipaleen tyvileikkauksen etäisyys voitiin antaa laskennan parametrinä tai tyvitukin ollessa kyseessä voitiin olettaa, että se on keskimääräisen kannonkorkeuden (Laasasenaho 1975) etäisyydellä. Tästä alkaen simuloitiin oksakiehkuroiden sijainti aiemmin kuvatun pituuskasvumenettelyn avulla. Näin luotiin viipaleen pinnalle paikat, joissa oli mahdollista olla oksia. Näillä kohdilla laskettiin, ulottuvatko oksat elävinä tai kuivina tarkasteltuun pintaan asti, vai ovatko oksat jo kyljestyneet. Oli mahdollista, että ne ulottuivat pintaan asti viipaleen keskellä, mutta eivät reunoissa, jonne oksan syntykohdasta (ytimestä) on pidempi matka.

Oksan paksuus laskettiin paksuuskasvufunktion avulla. Tätä pidettiin oksan läpimitana rungon pituussuunnassa. Läpimita leveysuunnassa oli mahdollista laskea em. läpimitan ja oksan suuntautumisen funktiona. Näin voitiin laskea oksien maksimaalinen dimensio halutussa viipaleen kohdassa.

Kun aihion leveys oli annettu, voitiin laskea tarkastelukohdan etäisyyden perusteella, millä todennäköisyydellä pinta on oksaton. Jos kyseessä olivat kyljestyneet oksat kyseisellä kohdalla, todennäköisyys oli nolla silloin, kun aihion leveys ei mahdollistanut pinnan sijoittumista kahden oksan väliin, kun samalla otettiin huomioon oksien paksuus. Aihion kaventuessa todennäköisyys saada oksaton pinta luonnollisesti parani.

Aihion pituudesta riippui, kuinka monta kiehkuraa jouduttiin laskemaan oksattomuuden todennäköisyyden määrittämiseksi. Eri kiehkuroita koskevat todennäköisyydet yhdistettiin tunnettujen todennäköisyyssääntöjen mukaan yhdistetyksi todennäköisyydeksi saada koko aihion pinta oksattomana. – Selvää on, että aihion pidentyessä todennäköisyys alenee nopeasti, erityisesti rungon latvapuolella, missä pituuskasvu on jo heikentynyt, ts. kiehkuroita on tiheämmässä kuin keskirungossa.

Mikäli aihion poikkileikkaus oli neliömäinen, laskentatapa oli muuten sama, mutta todennäköisyys laskettiin erikseen kahdelle toisiansa vastaan kohtisuorasti olevalle pinnalle, jotka olivat neljästä pinnasta kauimpana ytimestä. Lopuksi laskettiin todennäköisyys saada oksaton pinta yhteen tai kahteen kappaleen ulkopintaan kaavalla $p(A)+p(B)-p(AB)$, jossa $p(A)$ ja $p(B)$ ovat erillistodennäköisyydet ja $p(AB)=p(A)p(B)$.

Malli laadittiin siten, että täyden oksattomuuden sijasta voitiin hyväksyä myös määräsuuruisista pienempien oksien esiintyminen. Tämä vaikutti tuloksiin erityisesti siten, että aihion reunoissa voitiin sallia palasia suuristakin oksista, jos ne vain eivät olleet määrämittä suurempia.

3. Tulokset

31. Oksaisuusvyöhykkeiden muodostuminen saheisiin

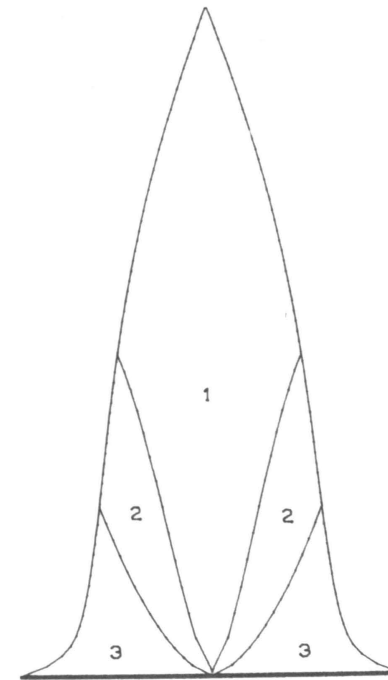
Kuvissa 1...3 on esitetty rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm olevan keskimääräisen eteläsuomalaisen rungon halkileikkaus. Kaikilla puulajeilla kuivaoksainen osa on huomattavan suuri. Oksatonta puuta saadaan olennaisia määriä ainoastaan männystä ja koivusta. Näillä puulajeilla voidaan myös havaita, miten pieni terveoksainen osa on tyvessä ja kuinka se suurenee maksimiinsa latvusrajaa kohti. Kuivaoksainen vaippa on puolestaan paksuimmillaan kuivaoksarajan kohdalla rungossa. Puun kasvaessa kuivaoksaisen vaipan paksuun kohta kohoa rungossa ylöspäin.

Tilavuusmääräisesti rungon ulko-osat merkitsevät enemmän kuin sisäosat. Tämä merkitsee käytännössä sitä, että tilavuusmäärä-

sesti on oksatonta ja kuivaoksaista puuta enemmän ja terveoksaista vähemmän kuin kuvien 1...3 vastaava pinta-ala osoittaa.

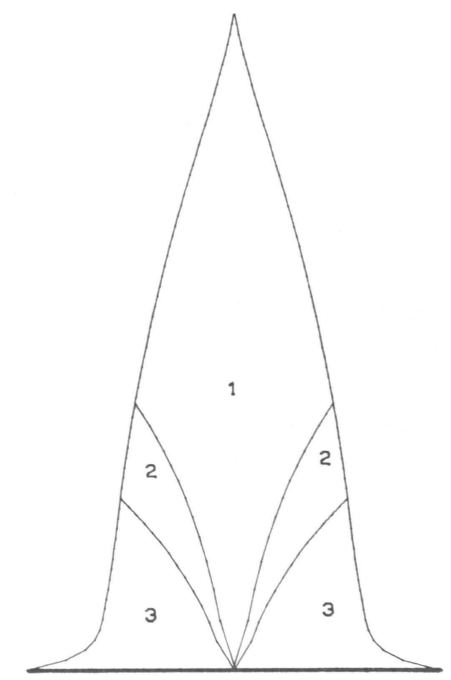
Kuvissa 4...6 tarkastellaan lähemmin rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm:n runkoa. Rungosta on leikattu viipaleita siten, että kuvassa 4 oleva pinta on 68 mm ytimestä, kuvan 5 pinta 89 mm ytimestä ja kuvan 6 pinta 110 mm ytimestä. Poikkiviivoin on merkitty oksakiehkuroiden sijaintikohdat. Mikäli poikkiviiva on saheen leveyttä lyhyempi, se osoittaa, että oksia voi esiintyä ainoastaan viivan osoittamalla leveysalueella. – Pinnan kuvaus on katkaistu siten, että leveys riittää pienen aihion muodostamiseen.

Kuvassa 4 on havaittavissa oksavyöhykkeille tyypillinen alaspäin suuntautunut nuolimuo- to: kukin vyöhyke ulottuu lähimmäksi tyveä saheen keskellä. Nuolikuvio on sitä terävämpi, mitä lähemmäksi ydintä mennään.



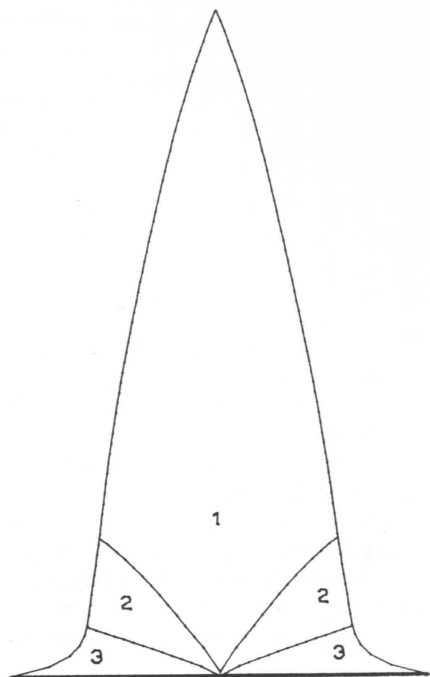
Kuva 1. Eteläsuomalaisen rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm olevan männyn halkileikkaus. 1 = terveoksainen osa, 2 = kuivaoksainen osa, 3 = oksaton osa.

Fig. 1. Longitudinal section of pine with the breast height diameter of 27 cm. 1 = part with sound knots, 2 = part with dead knots, 3 = knotfree part of the stem.



Kuva 2. Eteläsuomalaisen rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm olevan koivun halkileikkaus. 1 = terveoksainen osa, 2 = kuivaoksainen osa, 3 = oksaton osa.

Fig. 2. Longitudinal section of birch with the breast height diameter of 27 cm. 1 = part with sound knots, 2 = part with dead knots, 3 = knotfree part of the stem.



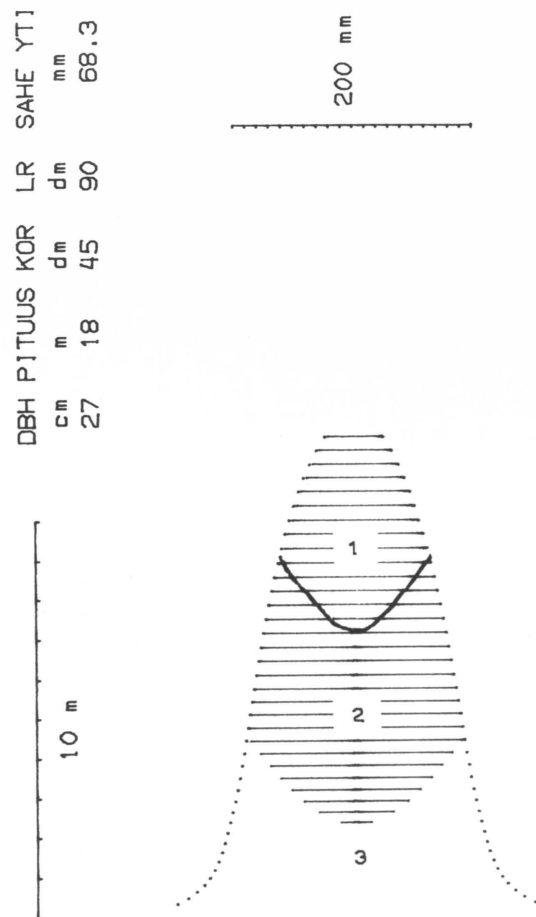
Kuva 3. Eteläsuomalaisen rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm olevan kuusen halkileikkaus. 1 = terveksäinen osa, 2 = kuivaoksaosa, 3 = oksaton osa.

Fig. 3. Longitudinal section of spruce with the breast height diameter of 27 cm. 1 = part with sound knots, 2 = part with dead knots, 3 = knotfree part of the stem.

Toisin sanoen läpisahatun kappaleen reunan ja keskiosan laaturajan – laaturaja määriteltynä oksien laadun vaihtumiskohtana – ero suurenee rungon pinnasta ytimeen päin. Näin ollen ennustettaessa sydäntavaran laaturajaa ulkoisen laaturajan perusteella ei todellakaan voida olettaa rajojen yhtyvän.

Erityisesti kuvissa 4 ja 5 kuivia oksia sisältävän vyöhykkeen pituus on suuri. Kuvista 1...3 voidaan päätellä, että vyöhyke on pimmillään saheissa, joiden etäisyys ytimestä on puolet latvusrajan korkeudella vallitsevasta läpimitasta. Vastaavasti vyöhyke lyhenee ytimeen päin siirryttäessä.

Oksattomien vyöhykkeiden muodosta voidaan päätellä, että haluttaessa maksimoida oksattomien aihoiden tilavuus niiden täytyy olla mahdollisimman lyhyitä ja kapeita. Muuten menetetään laadukasta puuta jätteenä voimakkaan kapenemisen vuoksi.

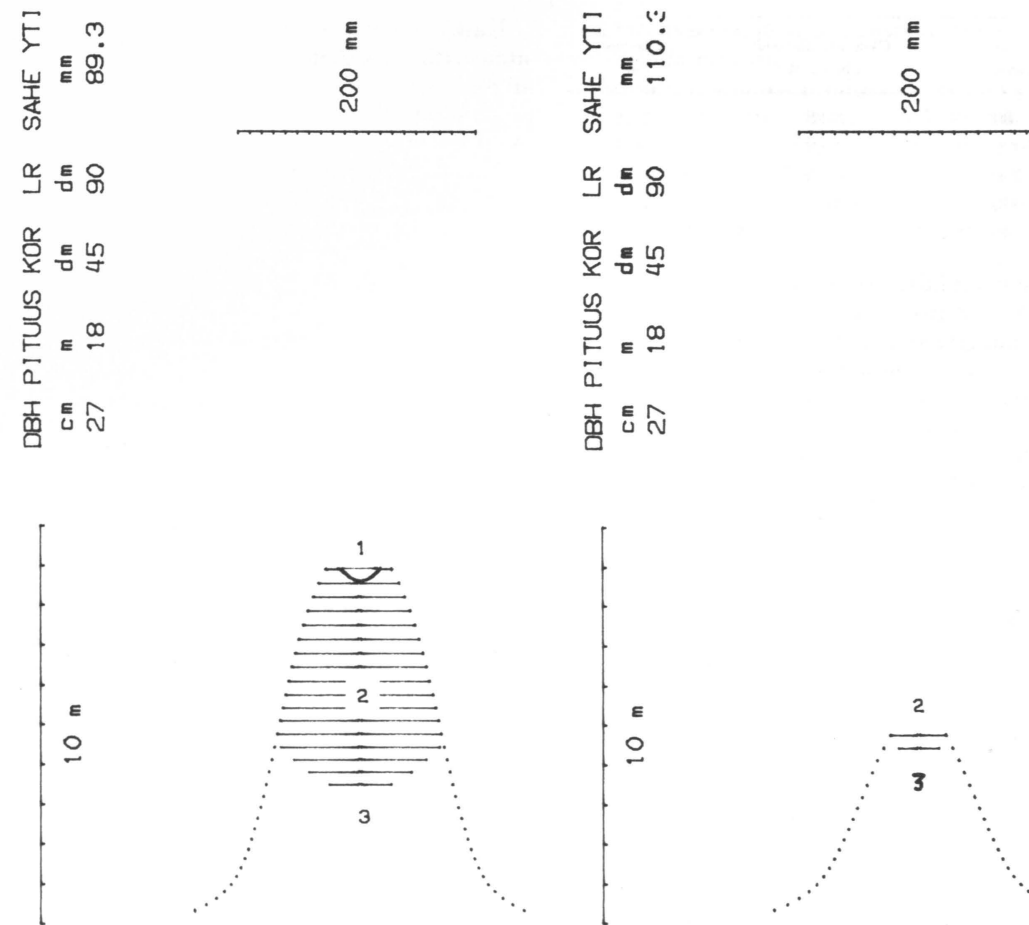


Kuva 4. Rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm:n männystä leikattu viipale 68 mm ytimestä. 1 = terveksäinen osa, 2 = kuivaoksaosa, 3 = oksaton osa. Kukin viiva kuvaa yhtä oksakiehkuraa ja viivan pituus aluetta, jolla oksa voi esiintyä viipaleen pinnalla.

Fig 4. A longitudinal section from the pine with breast height diameter of 27 cm. The distance from the surface to the pith is 68 mm. 1 = area with sound knots, 2 = area with dead knots, 3 = area without knots. Each line represents a knot group and the line length describes the area where knots are possible on the surface of the section.

32. Esimerkkituloksia aihiotuotannosta

Laaditun mallin ja atk-ohjelman käyttökelpoisuutta kokeiltiin simuloitaessa erilaisten aihoiden tuotantoa. Seuraavassa on joitakin esimerkinomaisia tuloksia keskimääräisen



Kuva 5. Rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm:n männystä leikattu viipale 89 mm ytimestä. 1 = terveksäinen osa, 2 = kuivaoksaosa, 3 = oksaton osa. Kukin viiva kuvaa yhtä oksakiehkuraa ja viivan pituus aluetta, jolla oksa voi esiintyä viipaleen pinnalla.

Fig 5. A longitudinal section from the pine with breast height diameter of 27 cm. The distance from the surface to the pith is 89 mm. 1 = area with sound knots, 2 = area with dead knots, 3 = area without knots. Each line represents a knot group and the line length describes the area where knots are possible on the surface of the section.

Kuva 6. Rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm:n männystä leikattu viipale 110 mm ytimestä. 2 = kuivaoksaosa, 3 = oksaton osa. Kukin viiva kuvaa yhtä oksakiehkuraa ja viivan pituus aluetta, jolla oksa voi esiintyä viipaleen pinnalla.

Fig 6. A longitudinal section from the pine with breast height diameter of 27 cm. The distance from the surface to the pith is 110 mm. 2 = area with dead knots, 3 = area without knots. Each line represents a knot group and the line length describes the area where knots are possible on the surface of the section.

mäntyrungon osalta. – Ellei toisin mainita, kyseessä on ensimmäinen viipale ytimestä lukien ja aihion kuivat mitat ovat 50×50×500 mm (paksuus×leveys×pituus).

Kun rinnankorkeusläpimita oli 21 cm ja sallittu oksan läpimita aihiossa 20 mm, ai-

hion pidentyessä oksaisuusvaatimuksen täyttävien aihoiden osuus aleni selvästi. Sitä vastoin aihoiden tilavuus alkoi alentua vastaltuessa sahatavara-pituuksiin. Tämä ilmenee seuraavasta jaotelmasta.

Aihion pituus mm	Oksarajan alittavia aihioita, %	Tilavuus dm ³
500	60,8	41,3
1000	45,8	40,0
1500	45,9	41,3
3000	40,0	37,5

Vastaavanlaisia tuloksia saatiin myös suu-remmista puista: mitä pidempi (tai leveämpi) aihio on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä siinä on laatua alentava oksa.

Selvää myös on, että hyväksytyjen aihioiden osuus suurenee sallitun oksan läpimitan kasvaessa. Esimerkiksi tuotettaessa 50×50×600 mm aihioita saatiin seuraavat tulokset.

Sallittu oksan koko, mm	Oksarajan alittavia aihioita, %
0	37,7
20	57,3
30	85,8
40	100,0

Kaikki edellä esitetyt tulokset on laskettu siten, että poikkileikkaukseltaan neliömäisen aihion ollessa kyseessä on otettu huomioon molemmat ulkosivut, ja jos edes toinen täytyi oksaisuuslaadun, aihio hyväksyttiin.

Tuloksia laskettiin myös siten, että huomioon otettiin vain yksi sivu. Seuraavassa on tuloksia erikoisista rungoista silloin, kun sallittu oksan läpimita oli 20 mm ja aihio oli 50×50×500.

Rungon läpimita cm	Yksi pinta Hyväksytyjä aihioita, %	Kaksi pintaa
21	56,0	60,8
25	50,5	54,5
29	45,3	52,0
33	42,6	47,8

Tuloksista voidaan päätellä, että aihioissa kannattaa pyrkiä neliömäiseen poikkileikkaukseen, mikäli se on muuten mahdollista: keskilaatu kohoaa tällöin selvästi.

4. Tulosten tarkastelu

Monet mallissa käytetyt, muista tutkimuksista saadut riippuvuudet on aikoinaan selvitetty toisia tarkoituksia varten, eivätkä ne välttämättä ole ihanteellisia mallin käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi kun rungon jakautuminen eri oksaisuusvyöhykkeisiin perustuu rungon muodon sekä latvus- ja kuivaoksarajojen kehitykseen, ongelmana on, ettei käytettävissä ole tietoutta yksittäisten puiden oksarajojen kehityksestä. Nyt käytettiin valtakunnan metsien inventoinnin mukaisia tuloksia, jotka osoittavat oksarajat läpimitaltaan erilaisissa puissa (Hakkila ym. 1972). Em. aineiston pienet puut eivät kuitenkaan ole ainoastaan nuoria puita, vaan niiden joukossa on myös vanhemman puuston pieniä alikasvopuita, joiden oksarajat eivät välttämättä ole samanlaisia. Ongelma on sama kuin niissä tutkimuksissa, joissa pyritään poikkileikkauksineen avulla selvittämään puuston

kehitystä esim. pituuden suhteen. Syntyvän virheen suuruutta on jossakin määrin analysoitu (esim. Hägglund 1972), eikä sillä ilmeisesti ole käytännössä suurta merkitystä.

Tutkimuksessa tehdyllä mallilla pystytään helposti kuvaamaan runkopuun jakautumista terveoksaiseen, kuivaoksaiseen ja oksattoon rungon koko sekä oksaisuustunnuksina kuivaoksaraja ja latvusaraja. Tieteenfilosofissa mielessä on korostettava mallin luonnetta: lopputuloksesta (rungon koko ja ulkoiset oksaisuustunnukset) päätellään se prosessi, jonka lopputuloksena voi olla havaittu tulos. Epävarmaksi jää, onko kyseessä ainoa kehityksen kulku, jonka lopputuloksena voi olla havaittu lopputulos.

Ehdotettu kehityksen kulku ei ole ainoa mahdollinen. Käytännössä tulos on kuitenkin varsin tarkka. Jos nimittäin oletetaan,

että oksat kuolevat ja karsiutuvat rungon tyvestä latvaan päin ja runko aina kapenee tyvestä latvaan päin, saadaan aina sentyyppiset oksaisuusvyöhykkeiden kuvaajat kuin tässä tutkimuksessa on saatu.

Sinänsä oksaisuusvyöhykkeiden kuvaus rungon puuaineseen ei ole uutta. Saksalaisessa kirjallisuudessa on kauan puhuttu oksattomasta, valko-oksaisesta ja mustaoksaisesta rungon osasta (esim. Trendelenburg ja Mayer-Wegelin 1955, s. 455, Knigge ja Schulz 1966, s. 51). Tähänastiset kuvaukset ovat kuitenkin olleet empiirisiä runko-analyysejä tai periaatekuvauksia oksaisuusvyöhykkeiden muodostumisesta, eikä niitä ole sidottu samalla tavalla rungon kasvuun kuin käsillä olevassa tutkimuksessa on tehty.

Kiintoisa tulkinta on liittää terveoksaisten rungon osan raja puuaineen muodostumisen fysiologiaan (esim. Kato 1960). Terveoksaisten rungon osan alueella syntyvällä puulla on välitön yhteys oksien kautta yhteyttävään lehtimassaan. Hormonaalisten vaikutusten kautta tällä voi olla merkitystä puuaineen ominaisuuksiin. Rajan ulkopuolella syntyvä puuaine saa yhteyttämistuotteensa kauem-

paa latvuksesta, ja vastaavasti syntyvä puuaine voi olla erilaista.

Aihiotuotannon simulointia koskevat tulokset jäivät esimerkinomaisiksi, koska ei ollut mitään aihiovalikoimaa, jota olisi kannattanut käsitellä. Kokeiluissa saatiin kuitenkin viitteitä simuloinnin mahdollisuuksista: oli kokeiltavissa, mitä merkitsi aihion koko, oksaisuutta koskeva laatuvaatimus jne.

Eriyisen kiintoisa tulos oli, että neliömäisen poikkileikkaus tarjosi selviä etuja siitä hiukan poikkeavaan poikkileikkaukseen verrattuna, erityisesti jos oksaisuutta koskeva laatuvaatimus oli ankara. Selvää onkin, että todennäköisyys saada oksaton näköpinta lisääntyy, jos yhden asemesta voidaan valita kahdesta. Sitä vastoin ero kolmeen tai neljään pintaan on käytännössä merkityksetön: oksa, joka on ytimeistä katsoen ulkopinnalla, on aina myös sisemmällä pinnalla, koska oksat alkavat rungon ytimeistä. Ainoastaan oksan paksuneminen tai laadun muuttuminen saattaa vaikuttaa siihen, että kolmen tai neljän pinnan tarkastelulla saadaan enemmän hyväksytyjä kappaleita kuin kahden pinnan tarkastelulla.

Kirjallisuutta

- Dippel, M. 1982. Auswertung eines NELDER-Pflanzenverbandsversuchs mit Kiefer im Forstamt Walsrode. Allg. Forst- u. Jagdztg 153(8): 137-154.
- Eklundh-Ehrenberg, C. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Stud. for. Suec. 10: 1-135.
- Hakkila, P., Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Summary: Branch data for logging work. Folia For. 147: 1-15.
- & Rikkinen, P. 1970. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Summary: Spruce saw logs as raw material of pulp. Folia For. 92: 1-16.
- Hägglund, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Summary: Site index curves for Norway spruce in northern Sweden. Rapp. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 21:1-298.
- Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144: 1-101.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvatusihyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varittuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. Folia For. 508: 1-12.
- Kato, T. 1960. Method of evaluating wood quality by means of small specimens. Fifth World Forestry Congress General Paper GP/25/VI/B:1-11.
- Kellomäki, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun Inst. For. Fenn. 98(4): 1-50.
- 1984. Havaintoja puuston kasvatusihyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. Silva Fenn. 18(2): 101-114.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia For. 478: 1-27.
- Kilki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 145: 1-33.

- Knigge, W. & Schulz, H. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey. Hamburg – Berlin. 584 s.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Summary: Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. *Folia For.* 233: 1–20.
- 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 108: 1–74.
- Lehtonen, I., Pekkala, O. & Uusvaara, O. 1978. Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp. *Folia For.* 344: 1–19.
- Mathieu, J. H. 1967. Einfluss von Pflanzenverband und Herkunft auf das Wachstum der Kiefer im Versuch Bremervärde. Dissertation. Hannover Münden. 120 s.
- Nylinder, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Uppsats. *Instn. Virkeslära Skogshögsk.* 15: 1–23 + bilagor.
- & Häggglund, E. 1955. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framtällning av sulfitmassa av gran. Summary: The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). *Medd. Stat. SkogsforsknInst.* 44(11): 1–184.
- Orke, J. 1986. Utnyttja virkeskvaliteten bättre. Teoksesa: Rationaliseringskonferens -86. *Redog. Skogsarbeten* 2/86: 96–100.
- Parviainen, J. 1985. Istuttamalla perustetun nuoren männikön, kuusikon, siperianlehtikuusikon ja rauduskoivikon kasvu. Summary: Growth of young Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations. *Silva Fenn.* 19(4): 355–364.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. *Rapp. Instn. Skogsprod. Skogshögsk.* 45: 1–152.
- Rautiainen, P. 1971. Ympäristö- ja perintötekijöiden vaikutus männyn ilmiasuun Pohjois-Karjalan piirimetsälautakunnan siemenviljelyksessä Tohmajärvellä. Summary: The effect of environmental and genetic factors on the phenotype of pine in a seed orchard in North Karelia. *Silva Fenn.* 5(4): 336–349.
- Stiell, W. M. 1966. Red pine crown development in relation to spacing. *Can. Dep. For. Publ.* 1145: 1–44.
- Thren, M. 1985. Erste Ergebnisse eines Kiefernverbandsversuchs im Fbz. Karlsruhe-Hardt. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 156(1/2): 24–37.
- Trendelenburg, R. & Mayer-Wegelin, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Zweite völlig überarbeitete Auflage. Carl Hanser Verlag. München. 541 s.
- Uusvaara, O. & Pekkala, O. 1979. Eräiden ulkomaisten ja kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of the wood and pulp of certain foreign and uncommon native tree species. *Commun. Inst. For. Fenn.* 96(2): 1–59.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia For.* 451: 1–21.
- Wegelius, T. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. *Acta For. Fenn.* 48(1): 1–191.

Total of 29 references