

# Kehittyvä puun mallinnus ja laskenta

Metsätieteen päivät 2011

Jouko Laasasenaho  
emeritusprof.

## Historiallinen tausta

- Vuonna 1969 Suomessa siirryttiin puun mittauksessa kuorelliseen kiintokuutiometrin käyttöön (aikaisemmin tukit jalkoina ja kuutiojalkoina, pinotavara pinokuutioina)
- Puukaupassa yleistyi pystymittaus
- Laskennassa tietokoneet yleistyivät
- VMI:ssä otettiin puun mittauksen lähtöpisteeksi maanpinta (aikaisemmin juurenniska)
- Puun laskentaan kehitettiin tilavuusyhtälöt ja 10 vuotta myöhemmin runkokäyrät

# Puun käyttö monipuolistuu

- sahatavara ja kuitupuu sekä vaneripuut tärkeimpiä kaupan kohteita (myös pylväät ja aikais. ratapölkyt sekä kaivospuut)
- puun energiakäyttö lisääntyy jatkuvasti
- tutkimuksen avulla puuaineesta ja siitä jalostetuista tuotteista sekä puun eri ainesosista voidaan tuottaa aivan uusia tuotteita (biodieseliä lääke-aineita, lisäravinteita, nanokuitua, kumia, mahlaa, muovia, kosmetiikka- ja monia muita tuotteita)

## Puun laskennan uusia vaatimuksia

- Puun eri osilla erilaiset arvot ja ominaisuudet, esim. kuori, oksaton järeä tyvitukki, sydänpuu, nuorpuu, visapuu, oksat, neulaset/lehdet
- Energiasisältö ja kemiallinen rakenne vaihtelee
- Kuoren rakenne ja määrä vaihtelee rungolla ja oksissa
- Rungon arvoon vaikuttaa oksaisuus, järeys ja myös sydänpuun määrä
- Uudet, tehokkaat mittausmenetelmät antavat läpimittoja eri korkeuksilta ja myös muuta tietoa

# Puun laskennan tulisi

- pystyä käyttämään kaikki mittaustieto hyväksi
- tuottaa läpimitat kuorineen ja kuoretta halutuilta korkeuksilta ja jopa oksien läpimittatietoa
- määrittää kuoren paksuus rungossa ja oksissa
- antaa kuorellinen ja kuoreton tilavuus halutulta väliltä rungossa ja oksissa latvuksessa
- määrittää rungon oksaisuuslaatu tukeilla
- ennustaa sydänpuun määrä eri osissa runkoa
- antaa puun ominaispaino ja biomassa rungossa ja oksissa jopa halutuilla väleillä

## Miten tämä kaikki onnistuu

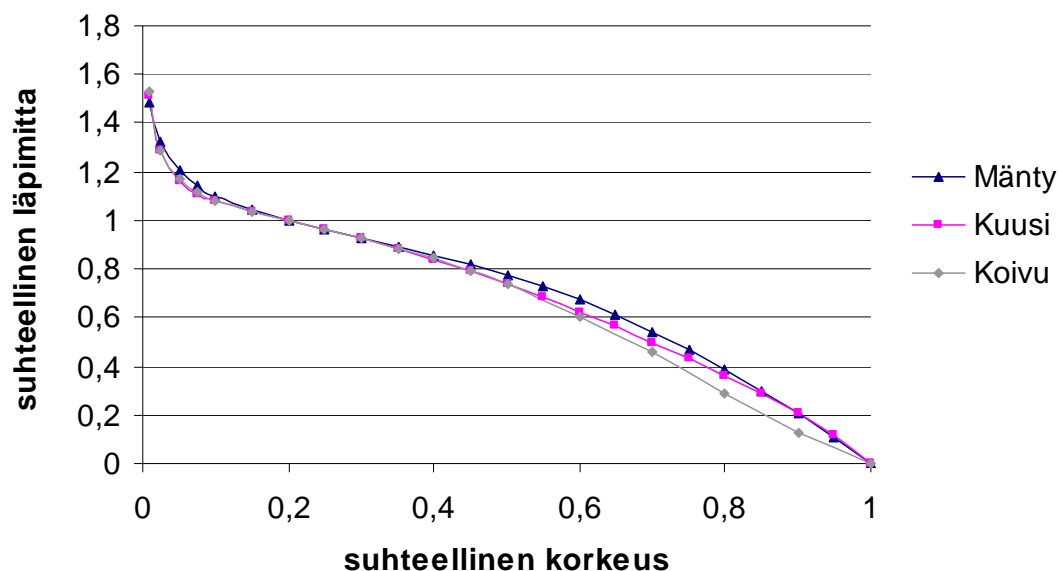
- mietitään kokonaisvaltainen laskenta, jossa mallinnetaan puu ja sen rakenne
- laaditaan uusia laskentajärjestelmiä ja täydennetään vanhoja
- mitataan koepuut entistä tarkemmilla, uusilla tavoilla, joita ollaan kehittämässä
- käytetään vanhoja mittauksia, mikäli ne ovat käyttökelpoisia

# Puun mallinnus

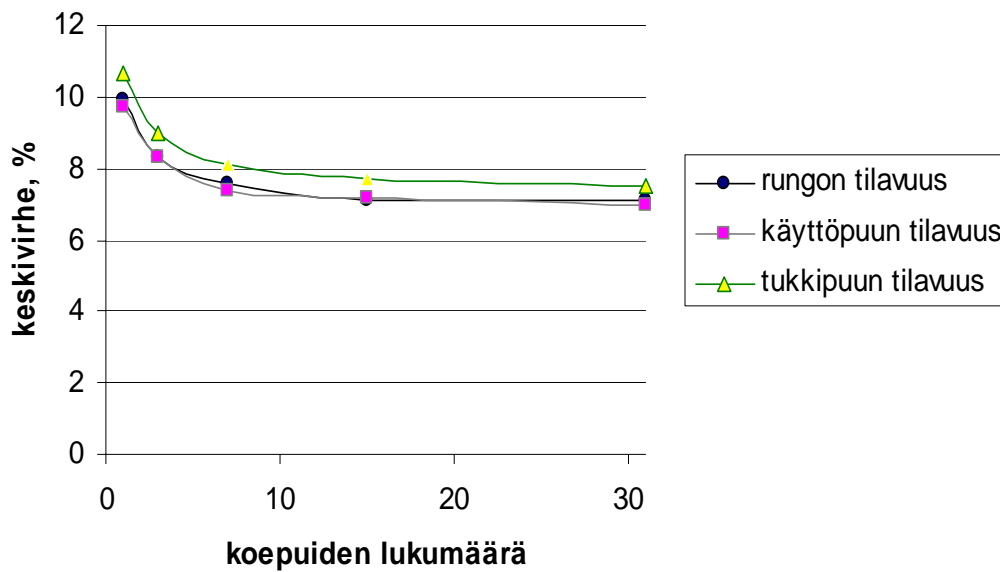
- Runkokäyrät lähtökohtana, koska puissa on invariantteja ominaisuuksia, joita niissä voi hyödyntää, erikokoiset rungot samanlaisia,
- Mallit: polynomimalli tai yhtälöryhmä
- Kokonaistilavuuskäyrät (runko+oksat), kiinteä yhteys rungolla ja oksilla
- Kuoren paksuus rungon eri osissa yhtälöryhmällä
- Kuoren paksuuden tasoitus spline-funktiolla
- Oksille myös omat mallit
- Puiden sydänpuun paksuus mallitettava
- Tarvitaan lukuisia muita tapoja erilaisiin sovelluksiin
- Rungon kapenemisen ja oksaisuuden välillä kiinteä yhteys

## Puut suhteellisesti samanmuotoisia puulajeittain

Onnistunut mallinnus takaa harhattoman tuloksen myös aineiston ulkopuolella (runkokäyrä voidaan tarkastaa visuaalisesti)



Tarkan mallin avulla saadaan luotettava laskentamenetelmä pienellä aineistolla -runkokäyrä (peruskäyrä) voidaan määrittää puulajille jo yhdellä puulla



9

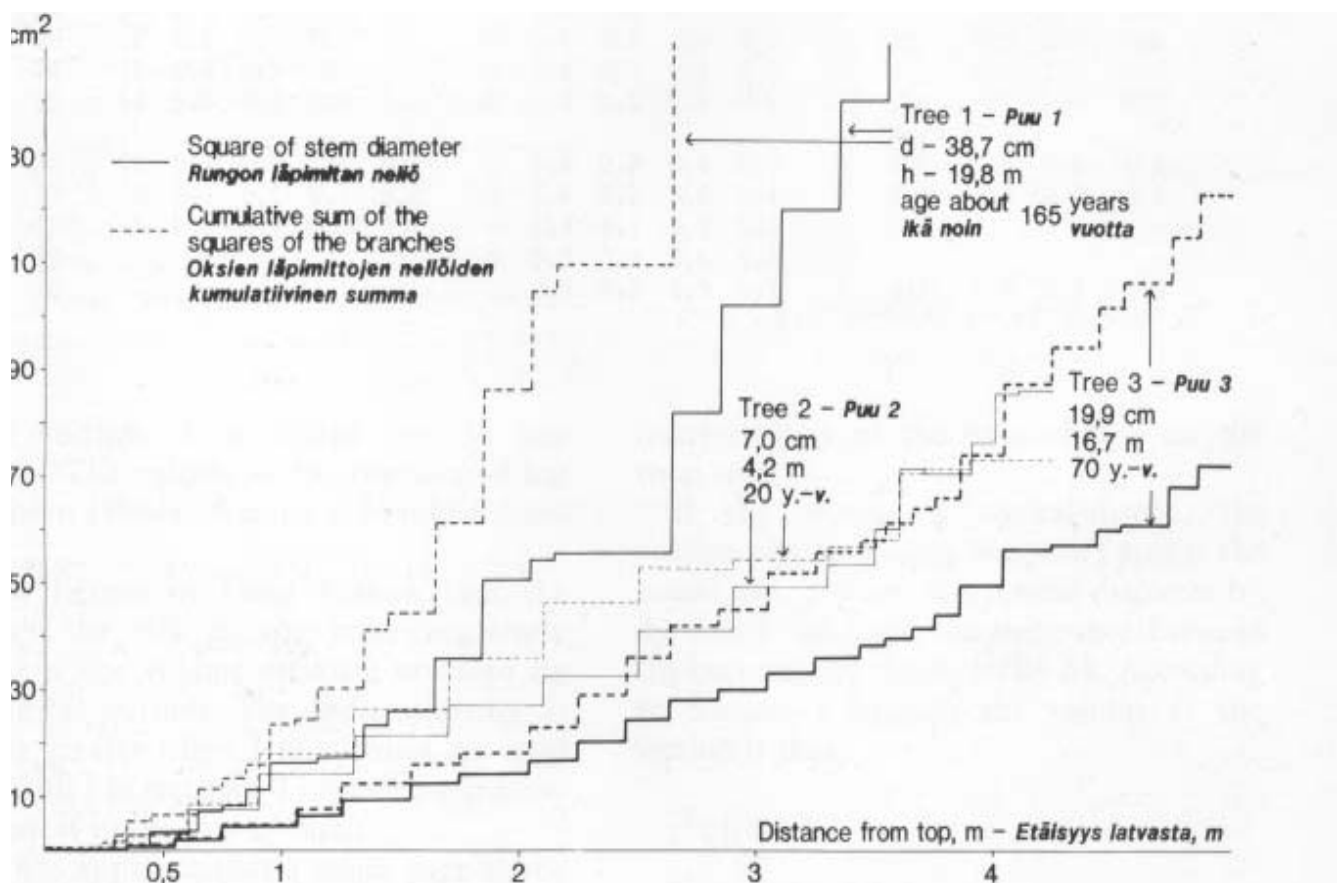
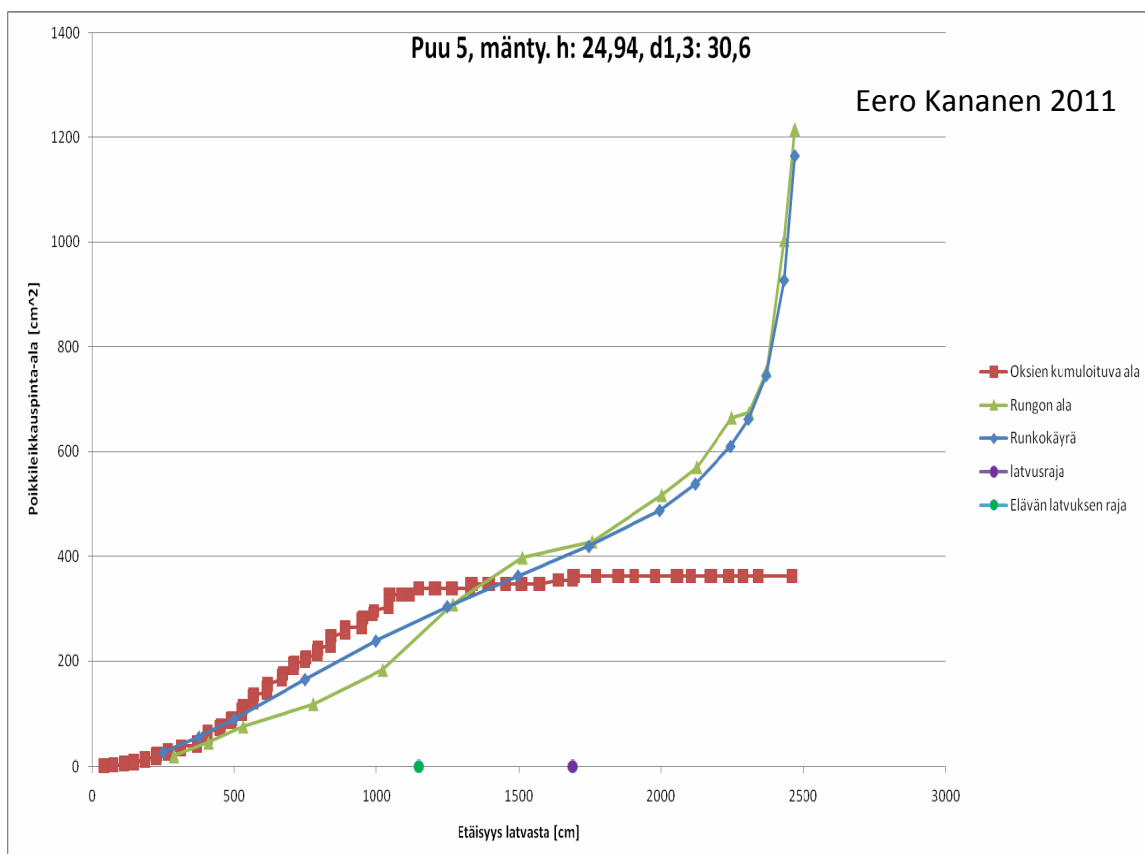


Fig. 5. Square of the stem diameter over bark and cumulative sum of the squares of the diameters of all (living and dead) branches over bark at each branch whorl for three different-aged pines.

Kuva 5. Runkon kuorellisen läpimitan nelön ja elävien sekä kuolleiden oksien oksakynnysten yläpuolelta mi-

## Puun kokonaistilavuuden mallinnus-tutkimusprojekti

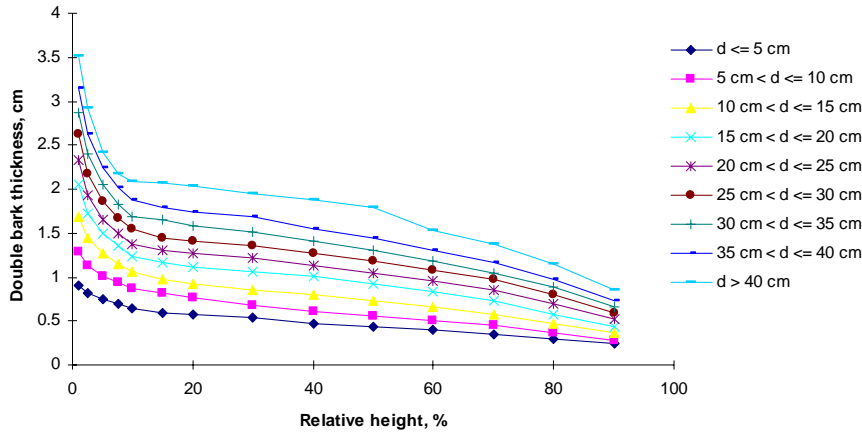
- kaksivuotinen tutkimus 2010-2011
- rahoitus MMM:stä
- vastuullinen johtaja prof. Eero Nikinmaa
- ideoija ja anomuksen kirjoittaja Jouko Laasasenaho
- koepuita mitattu Hyytiälästä ja Ruotsinkylästä
- tällä hetkellä rakennetaan uutta mittauslaitetta
- Eero Kananen valmistelee mittauslaitteesta pro gradua
- Männyn, kuusen, koivun ja haavan latvusrakenne (Eero Kananen kandityö, tehty tutkimusaineistolla)



# Puun kuoren laskenta

- Kuori on eri puulajeilla erilainen, josta seuraa mallinnuksen monimutkaistuminen

Kuusella kuori näyttää hyvin säännönmukaiselta, kts alla



13

Pääpuulajeilla (mä, ku ko) kuorimallit (yhtälöryhmät) olemassa.

$$b_i = \beta_0 + \beta_1 b_{i-1} + \beta_2 b_{i+1} + \beta_3 b_{1.3} + \beta_4 h + \beta_5 h^2$$

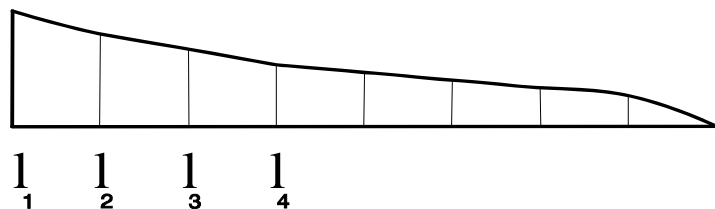
Mallien käyttö edellyttää spline-funktioiden käyttöä, joka tekee ohjelmoinnista monimutkaisemman

Spline on toisen tai yleensä kolmannen asteen polynomeista muodostettu yhtälöryhmä.

$$d_1 = b_0 + b_1 \cdot l + b_2 \cdot l^2 + b_3 \cdot l^3$$

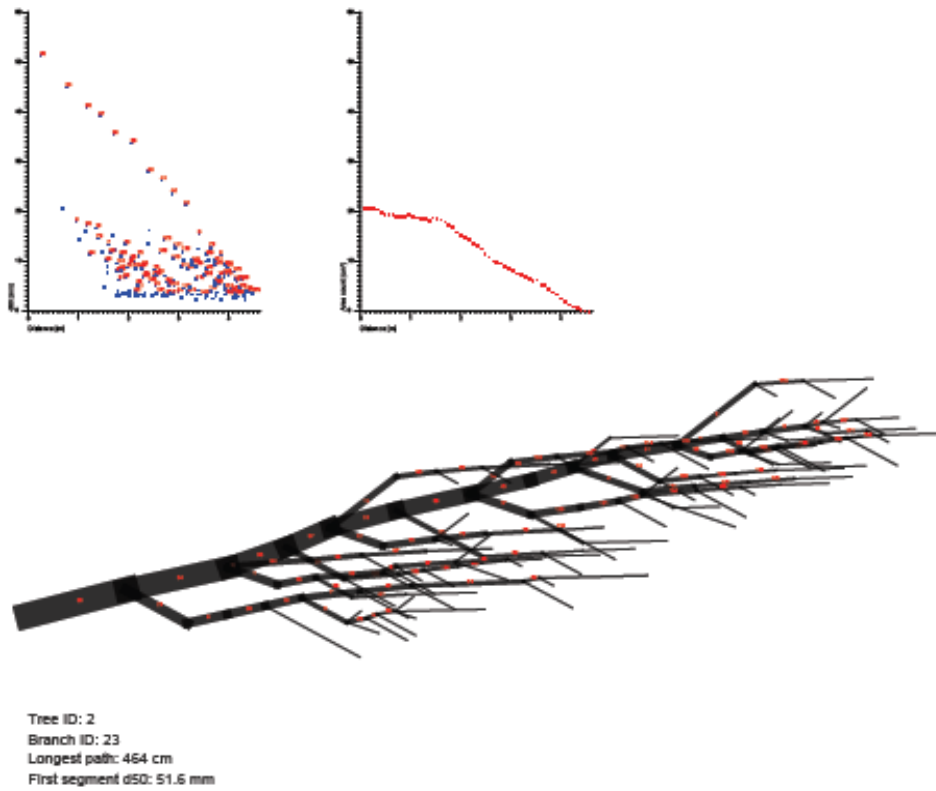
Kullekin mittausvälille  $l_i$ ,  $l_{i+1}$  lasketaan oma polynomi siten, että viereisillä polynomeilla on yhteisessä pisteessä sama arvo ja yhtä suuret 1. ja 2. derivaatta.

Esim. läpimitat:



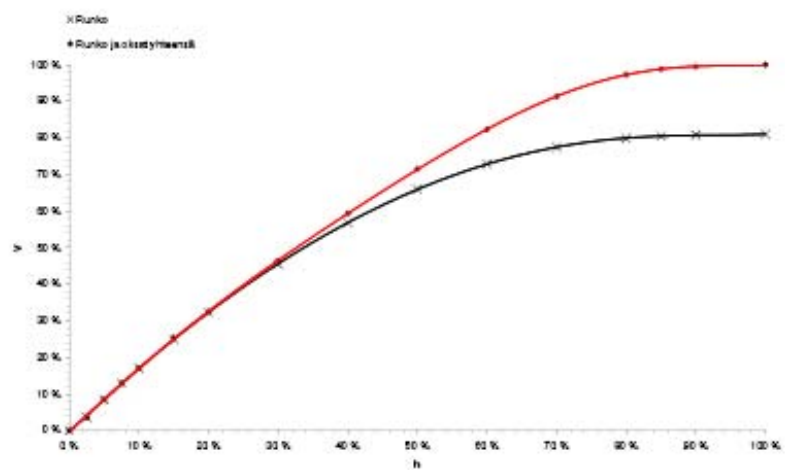
14

# Haavan oksan tilavuuden jakauma (Lari Latvala, tietojenkäsittelyn pro gradu)



15

Lari Latvala, 2008



Kuva 8: Tilavuuden kertyminen korkeuden suhteen.



# Loppupäätelmät

- Mallinnusmenetelmät ovat melko selkeät
- Tarvitaan uutta teknologiaa ja menetelmiä tehdä tarpeelliset mittaukset kustannustehokkaasti koepuista erilaisia laskentaparametreja varten
- Ohjelmien suunnittelu ja laadinta eri osioille kesken
- Runkojen käytön optimointia voidaan tarkentaa esim. kuorifunktioiden ja energiapuun avulla
- Tukkien oksaisuuslaatu voidaan tehdä uusilla tavoilla
- Laskentaan voidaan ottaa myös kannot
- Metsien mittausta voidaan tehostaa uudella teknologialla
- Uudet mallit hyödyntävät eri korkeuksilta mitatut läpimitat
- Bioenergian laskenta tulisi yhdistää suunnitteluun
- Menetelmät laskea hiilitase metsänhakkuiden osalta ovat olemassa, koska harvesterit tekevät hakkuut ja mittaukset

17

## Lopuksi

Tehdään yksi systeemi, josta saa kaiken tiedon

- puulajeittain eri parametrit
- mittaustieto voi vaihdella
- laskentamenetelmät samat kullakin puulajilla
- tulosten tarkkuus riippuu mittaustiedoista

Mitä hyötyä olisi yhdestä systeemistä

- takaisi vertailukelpoiset tulokset kaikkialle
- säästäisi valtavasti tutkijatyötä
- siihen voisi kehitellä jatkuvasti lisää ominaisuuksia
- tulisi yhteisesti tarkastettu menetelmä
- voisi käyttää kaikkialla esim. internetin avulla
- tuloksia voisi esittää havainnollisessa muodossa

# Modern stem curve visualization software

