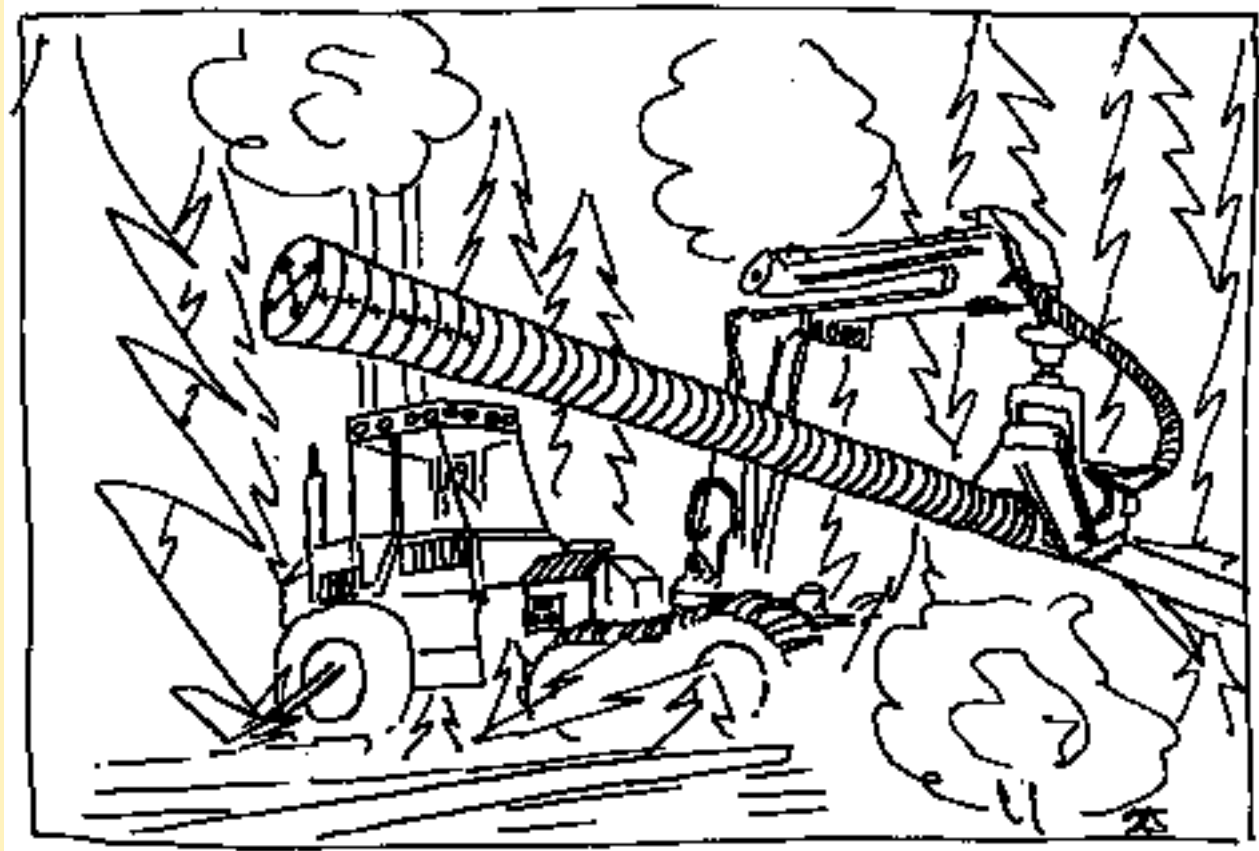


# Tilastolliset mallit hakkuukoneen katkonnan ohjauksessa

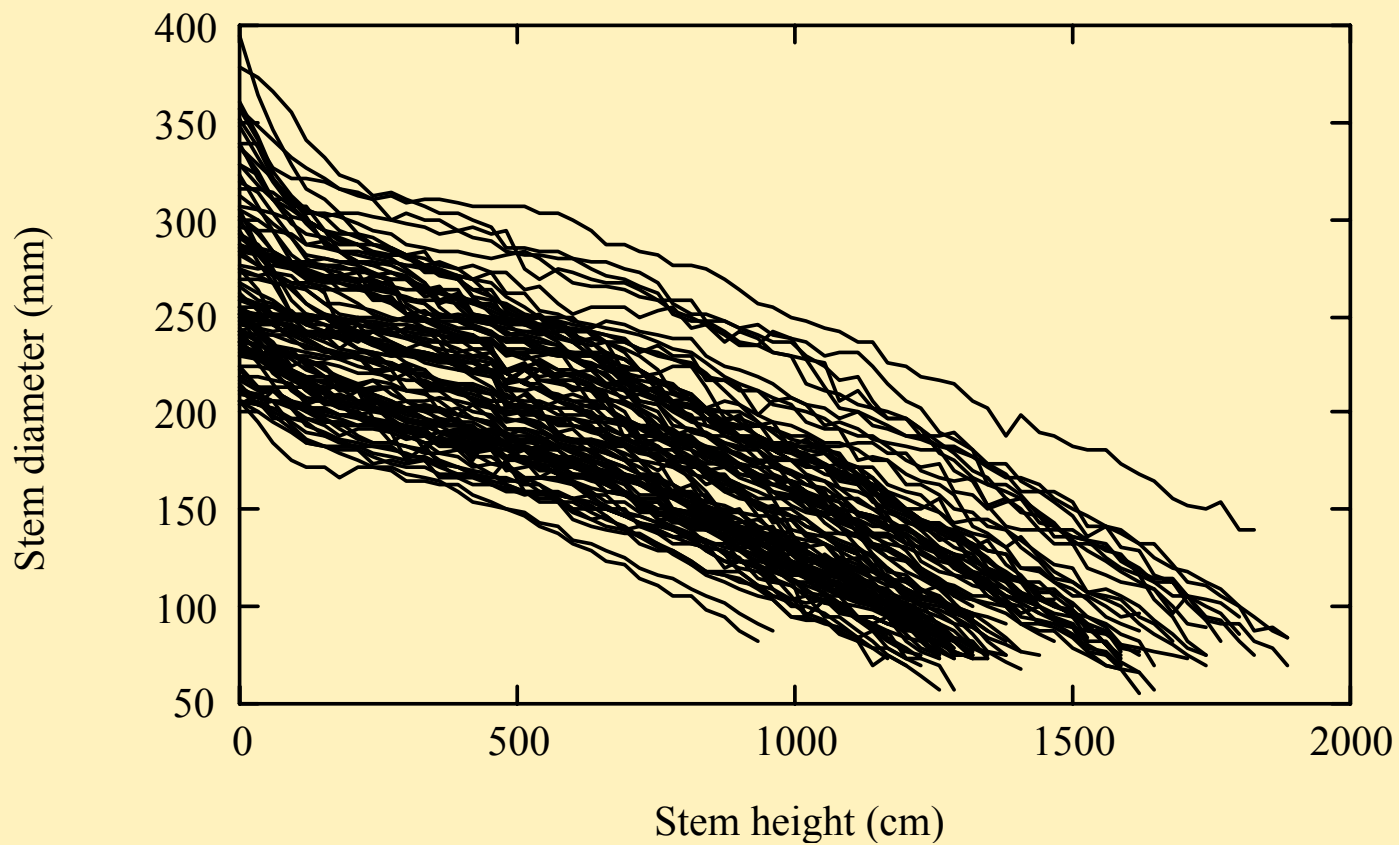
Tapio Nummi  
Tampereen yliopisto

# Runkokäyrän ennustaminen

- Jotta runko voitaisiin katkaista optimaalisesti pitäisi koko runko mitata etukäteen.
- Käytännössä runkoa tunnetaan ensimmäistä katkaisupäätöstä tehdessä ainoastaan 3-4 metriä (ks. kuva).
- Tietokone laatii loppurungolle ennusteen ja lopullinen katkaisupäätös tehdään tietokoneen antaman ennusteen ja kuljettajan silmämääräisen arvioidon pohjalta.



**Hakkuukone metsässä**



**Kuusten runkokäyriä**

# Ennustemallit

- Puun suhteelliseen muotoon perustuvat mallit
  - Vaatii pituuden ennusteen.
  - Yksilöllisen vaihtelun huomioiminen voi olla ongelmallista.
- Splini-käyrät
  - Vaatii pituuden ennusteen sekä kuivaoksarajan ja tuoreoksarajan ennusteen (männylle).
  - Ottaa huomioon puiden yksilöllisen vaihtelun.
  - Ei oleteta runkokäyrältä mitään erityistä funktiomuotoa.

## ■ Polynomimallit (sekamallit)

- Ei tarvita erikseen pituusennustetta
- Yksilöllinen vaihtelu voidaan ottaa huomioon.
- Malli adaptoituu paikallisesti.
- Toimii varsin hyvin jo matala-asteisilla malleilla.

Esimerkiksi kuuselle saadaan hyviä ennusteita jo toisen asteen mallilla.

- Jos tyvi on kovin poikkeava -> huonot ennusteet.

## ■ Esimerkki 2. asteen malli kuuselle

$$y = (b_0 + u_0) + (b_1 + u_1)x + b_2x^2 + e,$$

missä

$y$  = halkaisija,

$x$  = pituus ja

$e$  = sat. virhe

$b_0$   $b_1$   $b_2$  keskikäyräparametrejä

(estim. esim. 20 aik. runkoa)

$u_0$   $u_1$  sat. parametrejä

(estim. käsiteltävän puun tyv.)

# Simulaattori

- Ennusteiden ja katkonnan tutkiminen numeerisesti ja graafisesti
- Myös runkokäyrien generointi
- Demo



# Mittavirheen vaikutus polynomimalliin

- Halkaisijoissa ja pituuksissa mittavirhettä
- Tässä käsitellään lähinnä pituusmittauksessa tapahtuvan virheen vaikutusta polynomimallin estimointiin ja ennusteisiin.
- Huom. pituus mitattu kiintein (esim. 10 cm) välein  
-> arvot siis kontrolloituja ei satunnaisia (ns. Berksonin malli).

- Pituuden mittavirhe kumuloituu

- Yleinen malli:

halkaisijoille  $y = d(x) + e$

pituuksille  $x^* = \text{sum}(d^*) + \text{sum}(u)$   
 $= x + s,$

missä

$d(x)$  = runkokäyrä

$x^*$  = havaittu pituus

$d^*$  = pituus intervalli

$u$  = intervallin mv.

$x$  = todellinen pituus

$s$  = pituuden mv.

■ 1. asteen malli

$$y = b_0 + b_1x + e$$

$$x^* = x + s$$

kun sijoitetaan  $x = x^* - s$ , niin saadaan

$$y = b_0 + b_1x^* + e - b_1s$$

$$= b_0 + b_1x^* + e^*$$

-> saadaan edelleen 1. asteen polynomi, mutta sat. virheet eivät ole riippumattomia

- tavallisella PNS (tai GLS)-menetelmällä saadaan kuitenkin harhattomia estimaatteja mallin parametreille.
- myös mallin antamat ennusteet (BLUP) ovat harhattomia.

- 2. asteen malli

Vastaavalla tarkastelulla saadaan, että PNS (tai GLS)-estimaatit mallin paramereille ovat harhaisia.

Toisaalta mallin antamat ennusteet ovat edelleen harhattomia, koska estimoinnissa syntynyt virhe kompensoituu malliin sijoituksessa tulleella virheellä.

## ■ Testiaineisto

- 25 mäntyä
- Halkaisijat mitattu 30 cm välein.
- Mittaukset tehty kolme kertaa: kaksi kertaa harvesterilla ja kerran käsin.
- Ennustemallit estimoitu 20 ensimmäisestä rungosta.
- Testidata käsittää 5 viimeistä runkoa siten, että rungosta 420 cm oletettiin tunnetuksi.

- Mittaukset oletettiin normaalisti jakautuneiksi

$$y \sim N(\mu(b), V(g)),$$

missä

$\mu(b)$  määräytyy mallin asteen mukaan

$V(g)$  kovarianssimatriisi parametrein  $g$ .

Tässä kovarianssimatriisia approksim. rakenteilla

a)  $V(g) = g_1 11' + g_2^* I$  (riippumaton)

b)  $V(g) = g_1 11' + g_2 M + g_3 I$  (riippuva)

- Prediktorina käytettiin estimoitua parasta lineaarista ja harhatonta prediktoria (EBLUP).
- Ennustetarkkuuksia vertailtiin RMSE-kriteerillä.

Tulokset:

Malli	Data 1	Data 2	Manual
1a)	21.29	25.21	16.67
1b)	20.60	21.02	21.52
2a)	21.72	24.08	21.73
2b)	20.08	21.48	20.75



# Yhteenveto mittavirhetuloksista

- 1. Asteen mallille estimaatit harhattomia
- 1. ja 2. asteen mallit harhattomia ennustettaessa
- Jopa 1. asteen mallilla saadaan kohtalaisia ennusteita
- Harvesteri-aineistoissa mittavirheen mallinnus paransi ennusteita
- Käsin mitatussa aineistossa mittavirheen mallinnus (riippuva virhe) ei paranna tuloksia.