

# Männyn laaturajojen integrointi runkokäyrän ennustamisessa

Laura Koskela

Tampereen yliopisto

9.6.2003

# Johdantoa

- Pohjoismaisen käytännön mukaan rungot katkaistaan tukeiksi jo metsässä.
- Katkonnan ohjauksessa käytetään apuna tietokonetta.
- Tietokone kerää katkotuista tukeista tietoja, esimerkiksi rungon halkaisijatiedot, laatuluokat, puulaji, jne.

# Katkonta käytännössä (1/4)

- Hakkuukone katkaisee puun tyvestä, karsii oksat ja katkoo rungon tukeiksi.

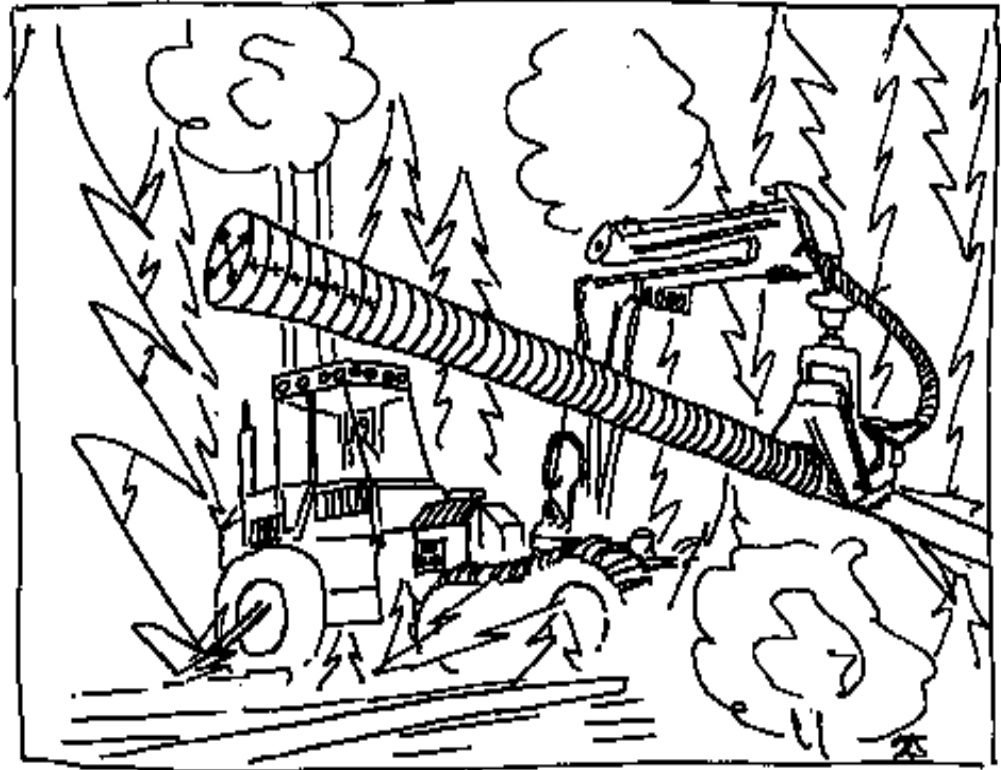


## Katkonta käytännössä (2/4)

- Katkonta suoritetaan valitun kriteerin mukaisesti.
- Yleisesti kriteerinä käytetään hintaa (arvoapteeraus) tai tavoitejakaumaa (jakaumaapteeraus).
- Jotta runko voitaisiin katkaista optimaalisesti, pitäisi koko runko mitata etukäteen.

# Katkonta käytännössä (3/4)

- Käytännössä runkoa tunnetaan ensimmäistä katkaisupäätöstä tehdessä ainoastaan 3-4 metriä.

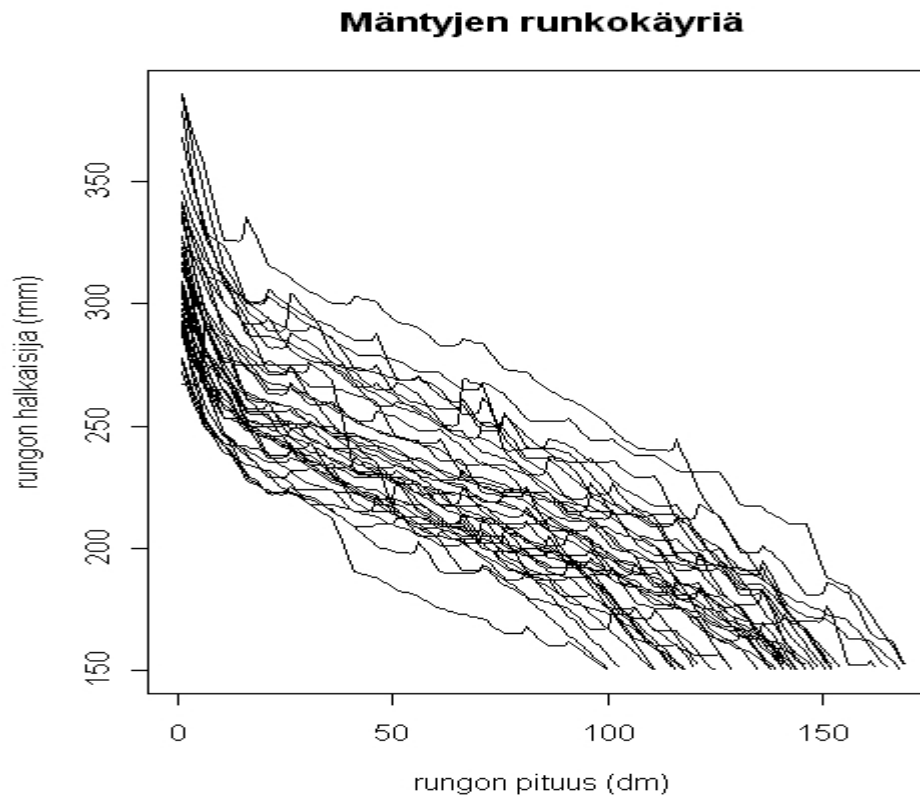


# Katkonta käytännössä (4/4)

- Tietokone laatii loppurungolle ennusteen ja lopullinen katkaisupäätös tehdään tietokoneen antaman ennusteen ja kuljettajan silmämääräisen arvion perusteella.
- Ensimmäinen katkaisu on tärkeä, sillä se saattaa vaikuttaa ratkaisevasti koko rungon katkaisun onnistumiseen.

# Runkokäyrä

- Runkokäyrällä tarkoitetaan rungon kapenemista pituuden funktiona.



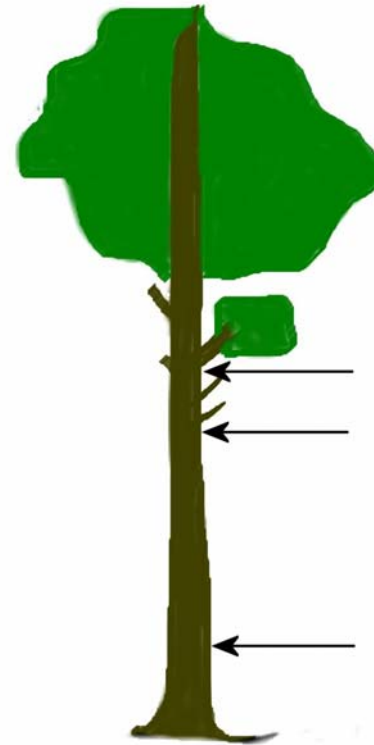
# Tutkimuksen tavoite

- Tutkimuksen tavoitteena on kehittää menetelmä,...
  - jonka avulla männyn runkokäyrä voidaan tilastollisesti ennustaa, kun runkoa tunnetaan ainoastaan 3-4 metriä tyvestä mitattuna.
  - joka hyödyntää runkokäyrän ennustamisessa männyn laaturajoja (kuivaoksaraja ja latvusraja) = laaturajojen integrointi runkokäyrän ennustamisessa.

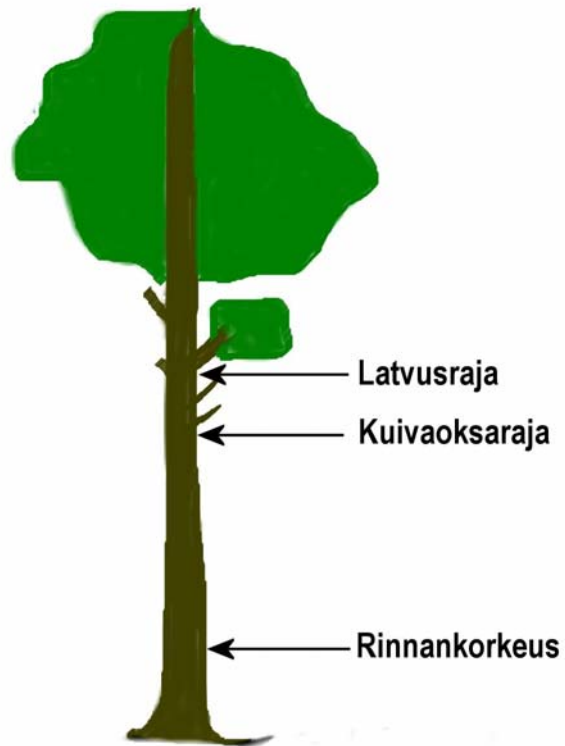


# Menetelmän perusidea (1/4)

- Valitaan rungolta ”kiinnepisteet”, joita hyödynnetään runkokäyrän ennustamisessa.
- Männyn tapauksessa on kiinnepisteiksi luonnollista valita laaturajat (oksarajat eli kuivaoksa- ja latvusraja).
- Huomaa, että nämä pisteet sijaitsevat runkokäyrällä!



# Menetelmän perusidea (2/4)

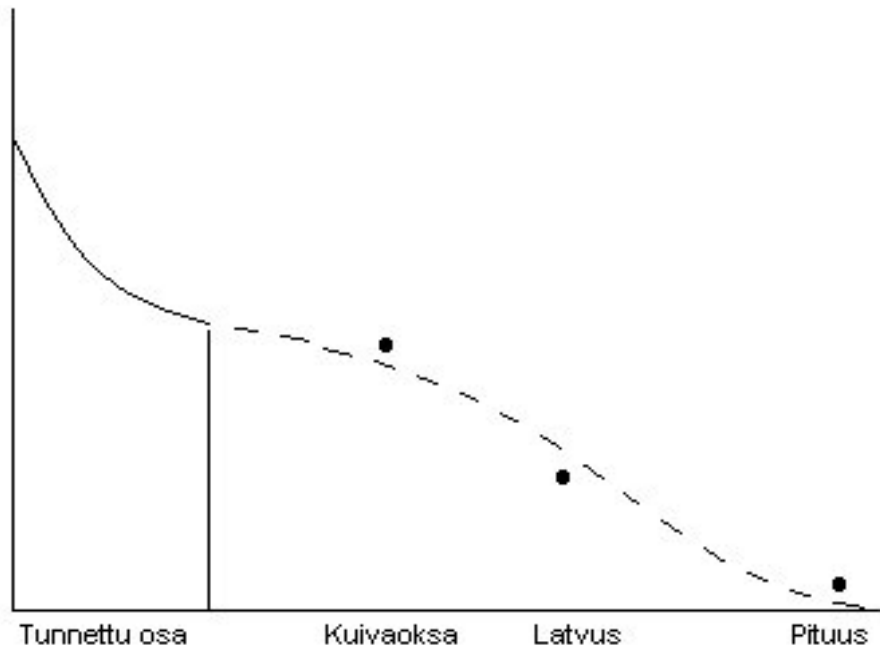


# Menetelmän perusidea (3/4)

- Rungon tunnetun osan (3-4 metriä) perusteella ...
  - ennustetaan ensin oksarajat (kuivaoksaraja ja latvusraja) sekä niiden halkaisijat.
  - ennustetaan puun pituus (esim. kohta, jossa halkaisija on 15 cm).
- Tunnetun osan, oksarajaennusteiden ja pituusennusteiden perusteella sovitetaan tasoitettu kuutiosplini.

# Menetelmän perusidea (4/4)

- Tasoitettu kuutiosplini on runkokäyräennuste.
- Runkokäyrälle ei tarvitse olettaa mitään funktiomuotoa.



# Toteutus

1. VAIHE: Rakennetaan ennustemallit pituudelle, oksarajakorkeuksille ja –halkaisijoille.
  - HUOM! Puun pituudeksi määritellään tässä se kohta rungolla, jossa halkaisija on 15cm.
2. VAIHE: Ennustetaan kullekin puulle pituus sekä oksarajojen korkeudet ja halkaisijat.
3. VAIHE: Tasoitettu kuutiosplini sovitetaan rungon tunnettuun osaan (3-4 metriä) ja ennustettuihin pisteisiin.

# Testiaineisto

- 100 mäntyrunkoa.
- 6 leimikkoa kahdelta eri alueelta.
  - leimikot 1-3 Rauman lähellä
  - leimikot 4-6 Turun lähellä
- Ennakkomittaukset: pituus, halkaisija rinnankorkeudelta, kuivaoksaraja ja latvusraja.
- Rungot merkittiin myöhempää identifiointia varten.
- Sahalla puista otettiin mm. runkokäyrämittaukset ja tarkat laatutiedot.

## VAIHE 1 – Ennustemallien rakentaminen (1/8)

- Esimerkkinä tarkastellaan puun pituuden ennustamista.
- Oksarajakorkeuksien ja halkaisijoiden ennustaminen tapahtuu menetelmällisesti samalla tavalla.
  - Tässä tutkimuksessa pituus, oksarajojen korkeudet sekä halkaisijat mallinnettu samanlaisella mallilla.
- Pituusmalli vaihtelee leimikoittain
  - leimikkotekijä  $u_j, j = 1, 2, \dots, 6$  on ns. satunnaisvaikutus.

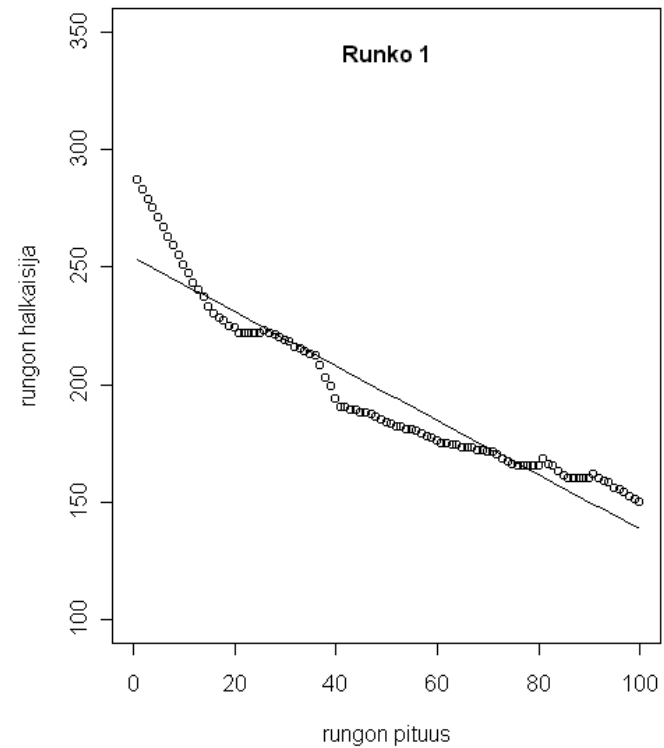
## VAIHE 1 – Ennustemallien rakentaminen (2/8)

- Runkokäyrätieto ”tiivistetään” kahteen parametriin:
  - tyven paksuus ( $z_0$ ).
  - keskimääräinen kapenema ( $z_1$ ).
- Tyven paksuuden ( $z_0$ ) määrittää esim. rinnankorkeusläpimitta (1.3 m).
- Käytännön hakkuutilanteessa ei rungon keskimääräistä kapenemaa ( $z_1$ ) tunneta, mutta se voidaan estimoida.



# VAIHE 1 – Ennustemallien rakentaminen (3/8)

- Eräs tapa estimoida rungon keskimääräinen kapenema on sovittaa rungolle regressiosuora.
- Regressiosuoran kulmakerroin antaa tällöin estimaatin rungon keskimääräiselle kapenemalle.



# VAIHE 1 – ennustemallien rakentaminen (4/8)

- Päädyimme seuraavanlaiseen pituusmalliin:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 z_{0ij} + \beta_2 z_{1ij} + u_j + \epsilon_{ij}$$

- $y_{ij}$  on puun  $i$  pituus leimikossa  $j$
- $z_{0ij}$  on puun  $i$  tyven paksuus leimikossa  $j$
- $z_{1ij}$  on puun  $i$  kapenema leimikossa  $j$
- $u_j$  on leimikon  $j$  satunnaisvaikutus
- $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ja  $\beta_2$  ovat estimoitavia parametreja
- $\epsilon_{ij}$  on satunnaisvirhe

## VAIHE 1 – ennustemallien rakentaminen (5/8)

- Oletukset:
  - $\epsilon_{ij} \sim IN(0, \sigma^2)$  ja  $u_j \sim IN(0, \sigma_u^2)$
  - $\epsilon_{ij}$  ja  $u_j$  riippumattomia
- Kyseessä on nyt ns. sekamalli, jossa on mukana kiinteitä parametreja ( $\beta_0, \beta_1$  ja  $\beta_2$ ) ja satunnaisvaikutuksia ( $u_j$ ). Satunnaisvaikutus  $u_j$  on satunnaismuuttuja.

## VAIHE 1 – ennustemallien rakentaminen (6/8)

- Havaintojen varianssiksi saadaan

$$\text{Var}(y_{ij}) = \sigma_u^2 + \sigma^2$$

ja kovarianssiksi

$$\text{Cov}(y_{ij}, y_{i'j}) = \sigma_u^2.$$

- Mittaukset saman leimikon sisällä ovat korreloituneita!

## VAIHE 1 – ennustemallien rakentaminen (7/8)

- Estimoiduksi malliksi saadaan

$$y_{ij} = 1.29 + 0.07z_{0ij} + 8.43z_{1ij} + u_j + \epsilon_{ij},$$

missä

$$\hat{u}_1 = 0.43, \quad \hat{u}_2 = -0.030, \quad \hat{u}_3 = 0.31,$$

$$\hat{u}_4 = -0.15, \quad \hat{u}_5 = -0.26 \quad \text{ja}$$

$$\hat{u}_6 = -0.30.$$

- Lisäksi  $\sigma^2 = 0.44$  ja  $\sigma_u^2 = 0.12$ .

## VAIHE 1 – ennustemallien rakentaminen (8/8)

$$y_{ij} = 1.29 + 0.07z_{0ij} + 8.43z_{1ij} + u_j + \epsilon_{ij}$$

- Estimoidun mallin mukaan paksutyviset puut ovat pidempiä. Iso kapenema puolestaan vaikuttaa pituutta lyhentävästi.
- Satunnaisvaikutusten ennustearvoista  $\hat{u}_j$  voidaan päätellä, että alueen 2 puut (leimikot 4-6) ovat jonkin verran lyhyempiä kuin alueen 1 (leimikot 1-3) puut.

## VAIHE 2 – pisteiden ennustaminen (1/3)

- Ennustemallissa käytettyä puun kapenemaa (kuten se on tutkimuksessa määritelty) ei käytännössä tunneta.
- Jotta voimme käyttää malliamme pituuden ennustamiseen, on puun kapenema ennustettava.
- Keskineliövirheen mielessä paras ennuste kapenemalle  $z_1$  saadaan ehdollisella odotusarvolla  $E(z_1 | z_*)$ .

## VAIHE 2 – pisteiden ennustaminen (2/3)

- Jos asetamme  $z_* = z_0$  saadaan

$$\hat{z}_1 = \mu_1 + \frac{\sigma_{10}}{\sigma_0^2}(z_0 - \mu_0),$$

missä

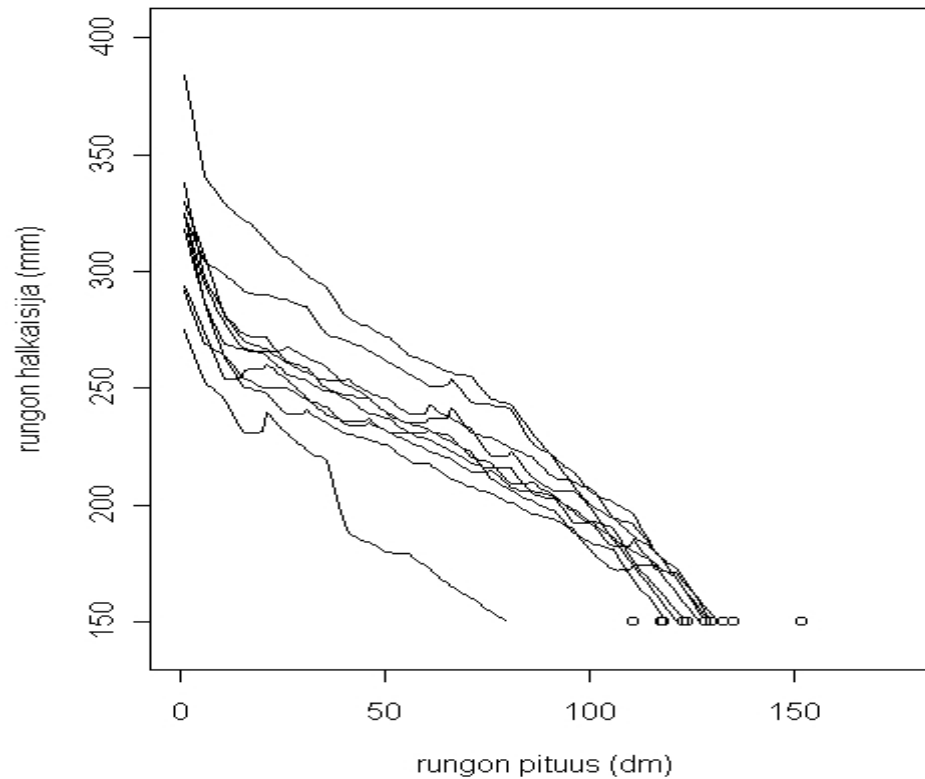
$$\begin{aligned} \mu_1 &= E(z_1), & \mu_0 &= E(z_0), \\ \sigma_{10} &= \text{cov}(z_1, z_0) & \text{ja} & \sigma_0^2 = \text{var}(z_0). \end{aligned}$$

- Tuntemattomat parametrit  $\mu_0, \mu_1, \sigma_0^2$  ja  $\sigma_{10}$  voidaan estimoida aikaisemmin kaadettujen ja mitattujen runkojen perusteella.



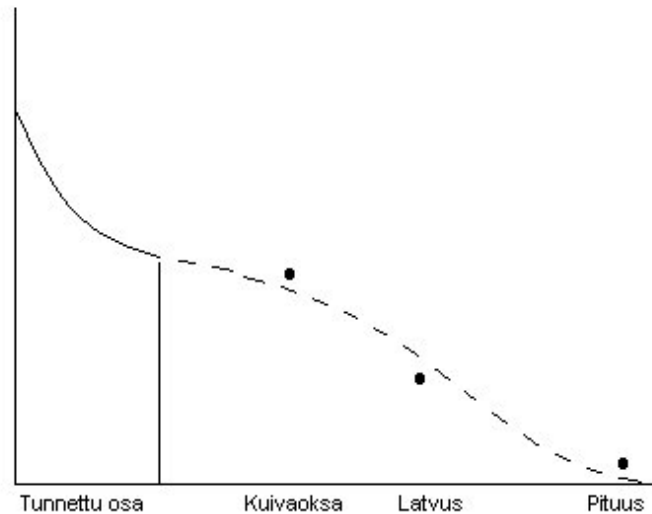
## VAIHE 2 – pisteiden ennustaminen (3/3)

- Alkuperäiset runkokäyrät ja saadut pituusennusteet.



## VAIHE 3 – runkokäyrän ennustaminen (1/5)

- Kun pituus, oksarajakorkeudet ja -halkaisijat on ennustettu, sovitetaan tasoitettu kuutiosplini rungon tunnettuun osaan ja ennustamiimme pisteisiin.

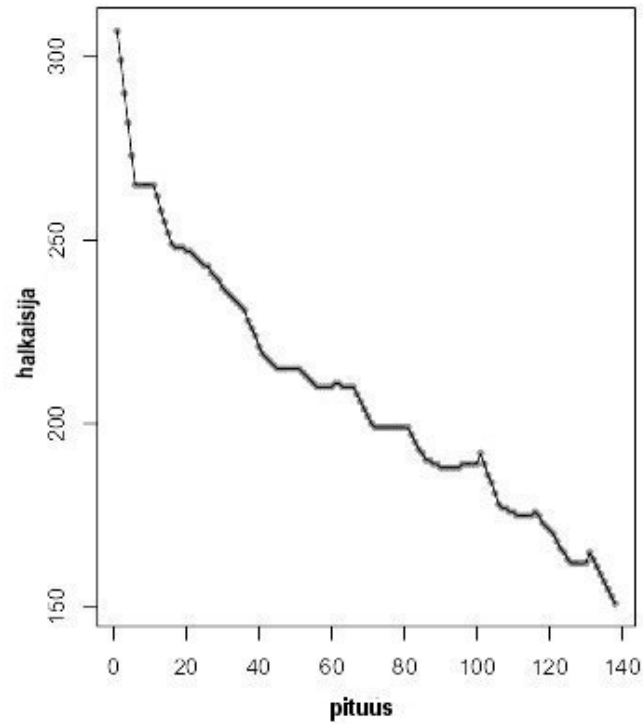


## VAIHE 3 – runkokäyrän ennustaminen (2/5)

- Splinit ovat käyriä, jotka kulkevat sulavasti ja mahdollisimman pehmeästi annettujen pisteiden kautta.
- Kuutiosplini on eräs yksinkertaisimmista splineistä.
- Tasoitetun kuutiosplinin ”tasaisuus” voidaan määrätä ns. tasoituskertoimella.
- Hyvin pienillä tasoituskertoimen arvoilla splinikäyrä kulkee läheltä annettuja pisteitä. Suurilla arvoilla käyrä on hyvin tasainen ja lähestyy lineaarista regressiosuoraa.

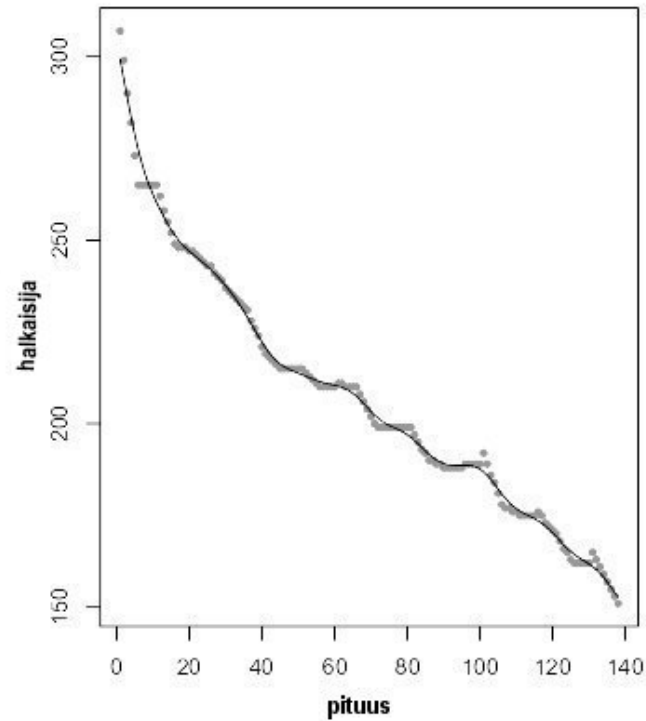
# VAIHE 3 – runkokäyrän ennustaminen (3/5)

Esimerkki: Tasoituskertoimen vaikutus.



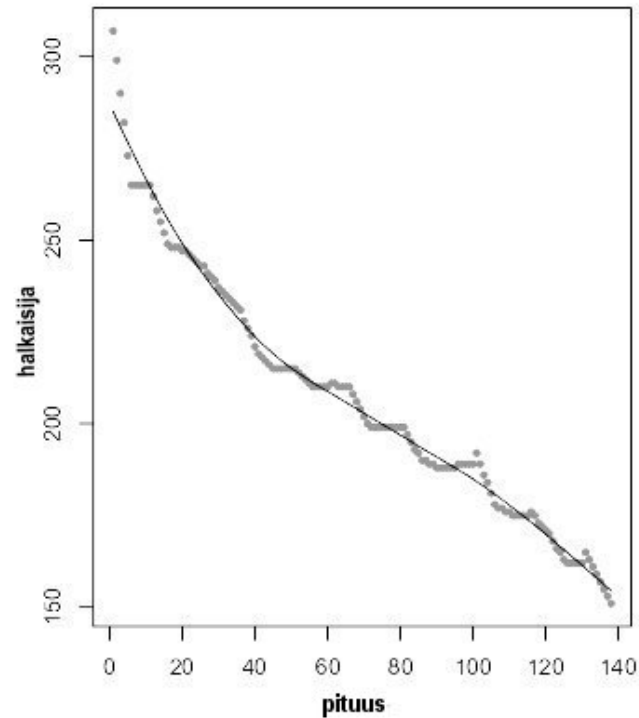
# VAIHE 3 – runkokäyrän ennustaminen (4/5)

Esimerkki: Tasoituskertoimen vaikutus.



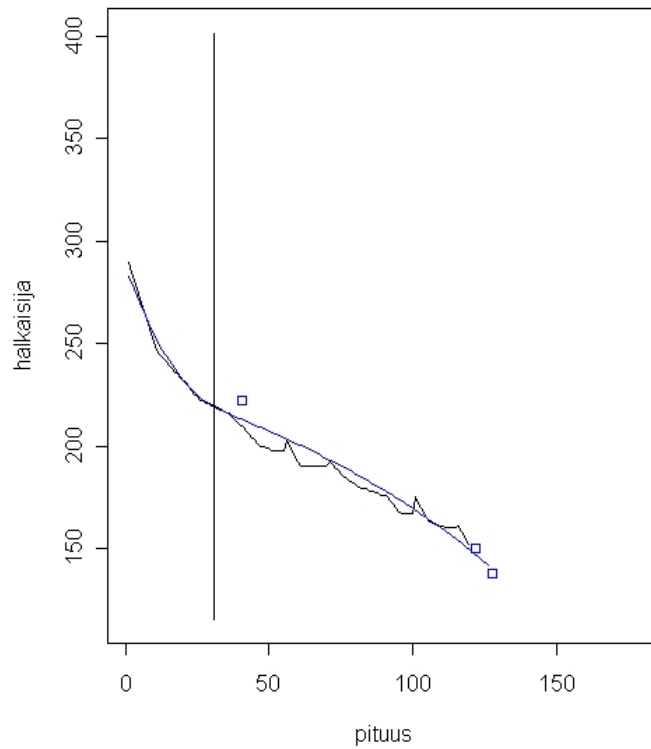
# VAIHE 3 – runkokäyrän ennustaminen (5/5)

Esimerkki: Tasoituskertoimen vaikutus.

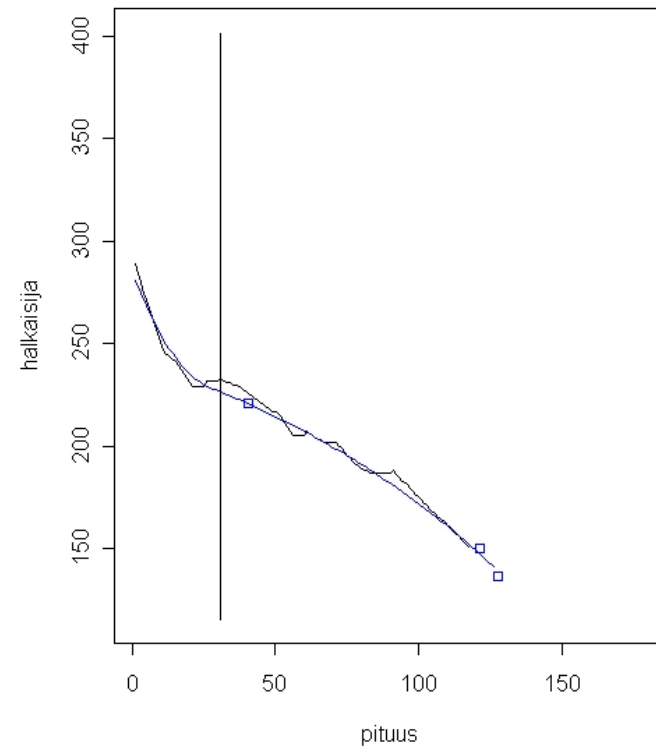


# Tuloksia (1/2)

**Runko 8**

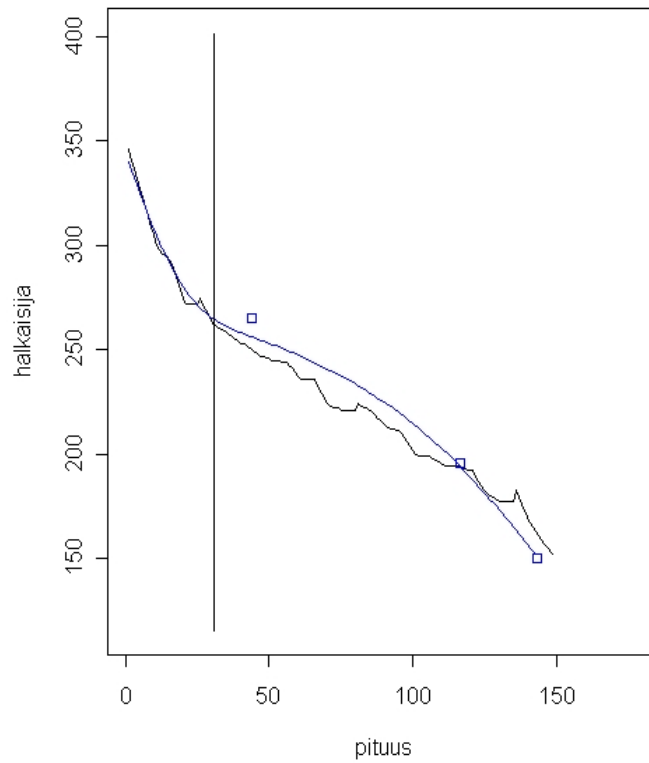


**Runko 20**

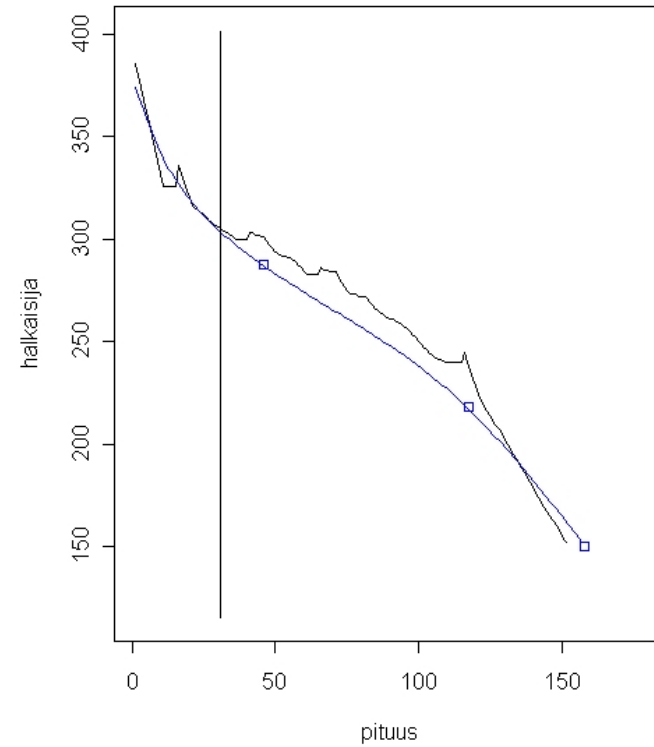


# Tuloksia (2/2)

**Runko 29**



**Runko 38**





# Menetelmän edut

- Runkokäyrää ennustettaessa ei taustalle oleteta varsinaista matemaattista funktiota.
- Runkokäyräennusteen lisäksi saadaan tuloksena ennusteet oksarajojen korkeuksille ja halkaisijoille.
- Menetelmän antamaa runkokäyräennustetta voidaan käyttää eräänlaisena runkokäyrän tasoitusmenetelmänä.
- Ennustetarkkuus (?)

# Kehittämisenäkymät

- Ennustemallien parantaminen:
  - muuttujakohtaiset mallit.
  - uusia selittäviä muuttujia.
- Rungon kapeneman ennustustarkkuuden parantaminen:
  - esim. ehdollistaminen useamman muuttujan suhteen, erilaiset tasoitusmenetelmät.
- Menetelmän soveltaminen muille puulajeille.
- Testaaminen toisella aineistolla.