

**This is an electronic reprint of the original article.**

**This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.**

**Author(s):** Jouni Siipilehto, Harri Mäkinen & Mikko Peltoniemi

**Title:** Ikä vaikuttaa kuusen kuolleisuuteen

**Year:** 2021

**Version:** Published version

**Copyright:** The Author(s) 2021

**Rights:** CC BY-SA 4.0

**Rights url:** <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

**Please cite the original version:**

Siipilehto J., Mäkinen H., Peltoniemi M. (2021). Ikä vaikuttaa kuusen kuolleisuuteen. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2021 artikkeli id 10576. <https://doi.org/10.14214/ma.10576>

All material supplied via *Jukuri* is protected by copyright and other intellectual property rights. Duplication or sale, in electronic or print form, of any part of the repository collections is prohibited. Making electronic or print copies of the material is permitted only for your own personal use or for educational purposes. For other purposes, this article may be used in accordance with the publisher's terms. There may be differences between this version and the publisher's version. You are advised to cite the publisher's version.



Jouni Siipilehto<sup>1</sup>, Harri Mäkinen<sup>2</sup> ja Mikko Peltoniemi<sup>3</sup>

## Ikä vaikuttaa kuusen kuolleisuuteen

**Siipilehto J., Mäkinen H., Peltoniemi M.** (2021). Ikä vaikuttaa kuusen kuolleisuuteen. Metsätieteen aikakauskirja 2021-10576. Tutkimusseloste. 3 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10576>

**Yhteystiedot** <sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Helsinki; <sup>2</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Tuotantojärjestelmät, Espoo; <sup>3</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Biotalous ja ympäristö, Helsinki

**Sähköposti** jouni.siipilehto@luke.fi

**Hyväksytty** 6.6.2021

**Seloste artikkelista** Siipilehto J., Mäkinen H., Andreassen K., Peltoniemi M. (2021). Models for integrating and identifying the effect of senescence on individual tree survival probability for Norway spruce. *Silva Fennica* vol. 55 no. 2 article id 10496. <https://doi.org/10.14214/sf.10496>

Ikääntyminen ja kilpailu heikentävät puiden veden ja ravinteiden saantia, joka altistaa ne kuolemiselle. Joissakin tutkimuksissa kuusen eloonjäämisen on havaittu laskevan suurissa läpimittaluokissa, mutta iän vaikutusta ei ole otettu huomioon. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuusen ikääntymisen vaikutusta eloonjäämiseen sovittamalla useita vaihtoehtoisia eloonjäämismalleja. Mallit sovitettiin aineistoon, joka koostui suomalaisista käsitellyistä ja käsittelemättömistä kuusen kestokoealoista (HARKAS), kuusivaltaisista luonnonmetsistä ja norjalaisista kuusen kestokoealoista, joista osa oli harvennettu perustamisen yhteydessä. Metsiköiden valtapuuston keski-ikä vaihtelualue oli HARKAS-aineistossa 27–88 vuotta, norjalaisessa aineistossa 19–148 vuotta ja luonnonmetsissä 100–290 vuotta.

Mallit laadittiin logistisella regressiolla. Eloonjäämismallin yleinen muoto oli:

$$P = (1 + \exp(-X'b))^{-t}, \quad (1)$$

jossa  $P$  on eloonjäämisen todennäköisyys mittausjakson aikana,  $X'b$  lineaarinen malli selittävästä muuttujasta  $X$  ja niille estimoiduista parametreista  $b$ . Eksponentin  $t$  avulla huomioitiin erimittaisten mittausjaksojen vaikutus. Mallit estimoitiin sekamalleina binääriselle vastemuuttujalle ( $0 =$  kuollut,  $1 =$  elävä). Sekamallin vastemuuttujan jakauma oli  $y_{ij} \sim \text{Bin}(\pi_{ij}, 1)$ , ja yhden satunnaisparametrin ( $u$ ) mukainen malli on:

$$\pi_{ij} = f(X'_{ij}b + u_j), \quad (3)$$

jossa  $\pi_{ij}$  on vastemuuttujan odotusarvo puulle  $i$  metsikössä  $j$  ja  $u_j$  edustaa metsikön  $j$  satunnaista poikkeamaa odotusarvosta jakauman  $u \sim N(0, s_u^2)$  mukaisesti. Mallit sovitettiin SAS-ohjelmiston NLMixed-proseduurilla.

Vaihtoehtoisista malleista kaksi muotoiltiin ilman metsikön ikää siten, että läpimitan ( $d$ ) neliön  $d^2$  avulla voitiin kuvata suurimpien kuusten pienenevää eloonjäämisen todennäköisyyttä (Yhtälöt 4 ja 5). Puiden välistä kilpailua kuvattiin kohdepuuta suurempien puiden pohjapinta-alalla ( $BAL$ ). Muunnos  $BAL/\sqrt{d}$  osoittautui erittäin tehokkaaksi selittäjäksi. *Harvennus* oli malleissa mukana, koska eloonjäämisen todennäköisyys lisääntyi merkittävästi 6–10 vuotta sitten tehdyillä harvennuksilla. Yhtälöissä 6–8 oli iän ja läpimitan yhdysvaikutus. Yhtälöissä 7 ja 8 oletettiin, että yhdysvaikutustermi  $b_3d^2 (Ikä/100)$  yhtälössä 6 saattoi olla liian voimakas, ja siksi haettiin optimaalisempia eksponentteja  $p1$  ja  $p2$ . Eksponentit  $p1$  ja  $p2$  yhtälössä 7 olivat 1,8 ja 0,8 ja yhtälössä 8 ne olivat 1,4 ja 0,9, eli ne olivat pienempiä kuin yhtälön 6 vastaavat arvot 2 ja 1.

$$(X'_{ij}b) = b_0 + b_1(1/d) + b_2BAL + b_3d + b_4d^2 + b_5Harvennus, \quad (4)$$

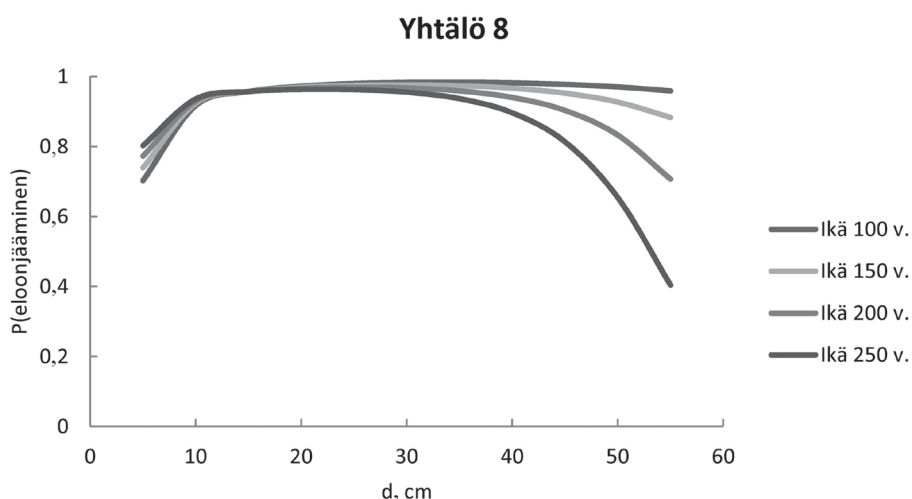
$$(X'_{ij}b) = b_0 + b_1(BAL/\sqrt{d}) + b_2d + b_3d^2 + b_5Harvennus, \quad (5)$$

$$(X'_{ij}b) = b_0 + b_1(BAL/\sqrt{d}) + b_3d^2 (Ikä/100) + b_5Harvennus, \quad (6)$$

$$(X'_{ij}b) = b_0 + b_1(BAL/\sqrt{d}) + b_3d^{p1} (Ikä/100)^{p2} + b_5Harvennus, \quad (7)$$

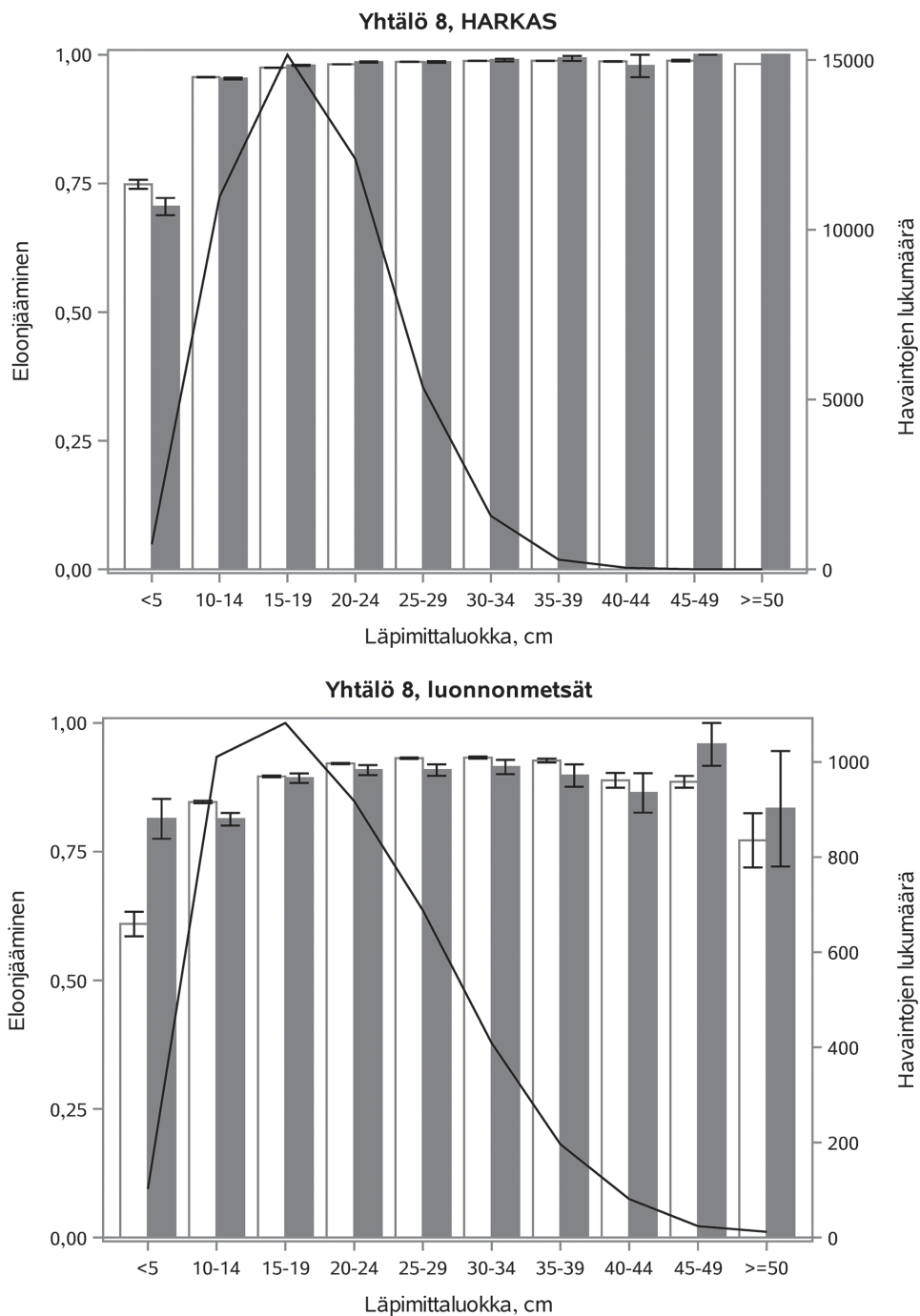
$$(X'_{ij}b) = b_0 + b_1(BAL/\sqrt{d}) + b_3d^{p1} (Ikä/100)^{p2} + b_4(Ikä/100) + b_5Harvennus. \quad (8)$$

Sovitettujen yhtälöiden 4–8 tilastolliset yhteensopivuustestit ( $-2 \log$ -likelihood, AIC, BIC) paranivat systemaattisesti yhtälöstä 4 yhtälöön 8. Mallien käyttäytymistä kuvattiin luonnontilaisen metsikön keskitunnuksilla (pohjapinta-ala  $38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , runkoluku  $1010 \text{ ha}^{-1}$ , pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta 30 cm), mutta vaihtelemalla metsikön keski-ikää 100 vuodesta 250 vuoteen. Yhtälön 8 käyttäytymisestä puun läpimitan ( $d$ ) ja metsikön iän mukaan nähdään, kuinka metsikön ikääntyessä suuriläpimittaisen kuusen eloonjäämisen todennäköisyys ( $P$ ) voimakkaasti pienenee (Kuva 1). Kun mallissa oli yhtäaikaista iän ja yhdysvaikutustermiä (Yhtälö 8), eloonjäämiskäyrät leikkasivat toisiaan pienemmissä läpimittaluokissa (Kuva 1).



**Kuva 1.** Yhtälön 8 mukainen eloonjäämisen todennäköisyys ( $P$ ) puun läpimitan ( $d$ ) ja metsikön valtapuuston keski-ikään mukaan.

Jos malleissa ei ollut ikää (Yhtälöt 4 ja 5), niin mallit aliarvioivat eloonjäämistä hoidettujen metsien suurissa läpimittaluokissa ja puolestaan yliarvioivat sitä vanhoissa luonnonmetsissä laajalla läpimitan vaihtelualueella. Kun malleissa oli iän ja koon yhdysvaikutus, niin eloonjäämisen ennusteet olivat uskottavampia. Yhtälön 8 mukaisen eloonjäämismallin testitulokset olivat parhaat ja eloonjäämisen ennusteet sekä hoidetuissa metsiköissä (HARKAS) että luonnonmaisissa metsiköissä sopivat hyvin näihin aineistoihin. Kuvan 2 mukaiset tulokset tukivat hypoteesia, että puun ikä vaikuttaa puun eloonjäämiseen ja ikääntymisen liittäminen eloonjäämismalliin paransi selvästi eloonjäämisen ennusteita.



Kuva 2. Yhtälön 8 mukainen eloonjääminen hoidetuissa metsissä (HARKAS) ja luonnonmetsissä.