

# Parastās priedes *Pinus sylvestris* L. virsaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļi sausieņu meža tipos Latvijā

Maģistrants:

**Guntars Šnepsts**  
Matr. Nr. MF 04235

Darba vadītāji:

LVMi Silava vadošais pētnieks Dr.silv.  
**Āris Jansons**  
LVMi Silava pētnieks Mg.silv.  
**Jānis Donis**

Darbs izstrādāts:

LVMi Silava

# Temata aktualitāte



Precīzi un aktuāli augšanas gaitas modeļi ļauj:

- ❖ prognozēt sagaidāmos koksnes resursus;
- ❖ modelēt dažādu mežsaimniecisko pasākumu alternatīvas.

Latvijā VMD\* meža valsts reģistra datu bāzē tiek lietoti Dr.silv. Jāņa Matuzāņa vadībā izstrādātie augstuma prognožu modeļi:

- ❖ izstrādāti 20. gs. 80.-tajos gados,  
*mainījies klimats un mežsaimniecība;*
- ❖ balstīti uz 20. gs. 60.-tajos – 70.-tajos gados vienreiz uzmērīto parauglaukumu un stumbra analīžu datiem,  
*atspoguļo audžu statiku nevis dinamiku;*
- ❖ veidoti kā anamorfiski modeļi,  
*augšanas gaitas raksturošanai atbilstošāki ir polimorfiski modeļi;*
- ❖ paredzēti vidējā augstuma aktualizācijai,  
*augšanas gaitas raksturošanai atbilstošāks ir virsaugstums.*

# Darba mērķis, uzdevumi un hipotēze



**Maģistra darba mērķis** ir izstrādāt adekvātus un statistiski ticamus parastās priedes *Pinus sylvestris* L. virsaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļus sausieņu meža tipos Latvijā.

**Maģistra darba uzdevumi** ir:

- ❖ izzināt parastās priedes augstuma augšanas gaitu ietekmējošos faktorus un to piemērotību augšanas gaitas modelēšanai;
- ❖ izzināt augšanas gaitas modeļu vispārīgos principus un šobrīd praksē izmantotos augstuma augšanas gaitas modeļus;
- ❖ izstrādāt matemātiskus modeļus parastās priedes virsaugstuma augšanas gaitas prognozēšanai sausieņu meža tipos Latvijā.

**Maģistra darba hipotēze**: sausieņu mežos Latvijā parastās priedes virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai piemēroti ir bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļi.

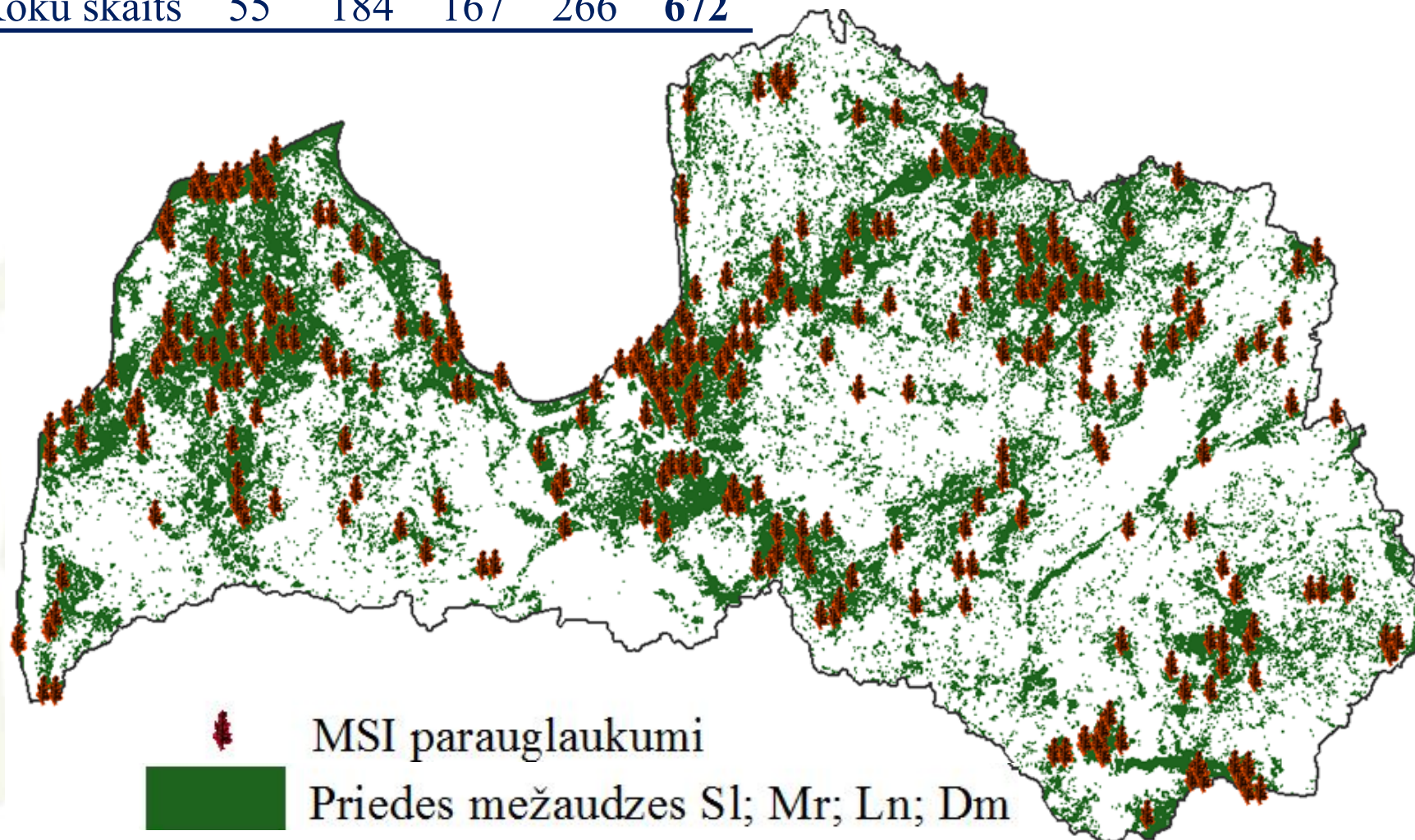
# Maģistra darba pamatnostādnes



- ❖ Maģistra darbā virsaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļi izstrādāti, balstoties uz meža statistiskās inventarizācijas pirmajā (2004. – 2008. g.) un otrajā ciklā (2009. – 2013. g.) atkārtoti pārmērīto parauglaukumu datiem.
- ❖ Maģistra darbā par mežaudzes virsaugstumu pieņem 100 uz hektāra resnāko valdošās koku sugas koku aritmētiski vidējo augstumu.
- ❖ Mežaudzes virsaugstuma augšanas gaita modelēta kā atsevišķu virsaugstumam piederošu koku pirmajā un otrajā ciklā uzmērīto augstumu starpība.

# Objektu raksturojums (1)

| Meža tips   | Sl | Mr  | Ln  | Dm  | Kopā |
|-------------|----|-----|-----|-----|------|
| PL skaits   | 27 | 99  | 98  | 149 | 373  |
| Koku skaits | 55 | 184 | 167 | 266 | 672  |



1. att. Maģistra darbā izmantoto parauglaukumu izvietojums.

# Objektu raksturojums (2)



## Maģistra darbā izmantoto koku un parauglaukumu raksturojums

| Taksācijas vienība                                                  | Statistiskie rādītāji | Meža tipi |      |      |      |             |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|------|------|------|-------------|
|                                                                     |                       | Sl        | Mr   | Ln   | Dm   | Kopā        |
| <b>Krūšaugstuma vecums, gadi</b>                                    | Aritmētiski vidējais  | 60        | 66   | 69   | 72   | <b>69</b>   |
|                                                                     | Minimums              | 7         | 4    | 10   | 17   | <b>4</b>    |
|                                                                     | Maksimums             | 148       | 148  | 153  | 155  | <b>155</b>  |
|                                                                     | Standartnovirze       | 33        | 26   | 27   | 24   | <b>26</b>   |
| <b>Koku augstums, m</b>                                             | Aritmētiski vidējais  | 15.9      | 21.6 | 24.4 | 26.8 | <b>23.9</b> |
|                                                                     | Minimums              | 4.4       | 4.5  | 7.3  | 10.5 | <b>4.4</b>  |
|                                                                     | Maksimums             | 24.2      | 31.3 | 34.2 | 38.5 | <b>38.5</b> |
|                                                                     | Standartnovirze       | 4.6       | 4.5  | 4.5  | 4.0  | <b>5.4</b>  |
| <b>Mežaudzes I stāva šķērslaukums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup></b> | Aritmētiski vidējais  | 16.3      | 22.3 | 23.8 | 25.7 | <b>23.5</b> |
|                                                                     | Minimums              | 2.3       | 1.6  | 8.7  | 7.6  | <b>1.6</b>  |
|                                                                     | Maksimums             | 28.3      | 40.6 | 45.1 | 52.4 | <b>52.4</b> |
|                                                                     | Standartnovirze       | 7.4       | 7.7  | 7.2  | 9.4  | <b>8.7</b>  |
| <b>Mežaudzes I stāva biezība</b>                                    | Aritmētiski vidējais  | 0.5       | 0.6  | 0.7  | 0.7  | <b>0.7</b>  |
|                                                                     | Minimums              | 0.1       | 0.1  | 0.3  | 0.2  | <b>0.1</b>  |
|                                                                     | Maksimums             | 0.9       | 1.1  | 1.2  | 1.4  | <b>1.4</b>  |
|                                                                     | Standartnovirze       | 0.2       | 0.2  | 0.2  | 0.2  | <b>0.2</b>  |

# Darba metodika (1)

Pārbaudīti 6 dažādi bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas vienādojumi (*SPSS 14.0 for Windows, Non-linear regression, bootstrap funkcija*):

❖ **Chapman-Richards** 
$$H_2 = 1.3 + (H_1 - 1.3) \left( \frac{1 - \exp[-b_1 \cdot A_2]}{1 - \exp[-b_1 \cdot A_1]} \right)^{\left(b_2 + \frac{b_3}{\chi}\right)}$$

kur 
$$\chi = \frac{1}{2} \cdot \left[ \omega + \sqrt{\omega^2 - 4 \cdot b_3 \cdot \varphi} \right]$$
  

$$\omega = (\ln H_1 - b_2 \cdot \varphi)$$
  

$$\varphi = \ln(1 - \exp[-b_1 \cdot A_1])$$

❖ **Hossfeld** 
$$H_2 = 1.3 + \frac{b_1 + \chi}{1 + b_2 \cdot \chi \cdot A_2^{-b_3}}$$

kur 
$$\chi = \frac{H_1 - b_1}{1 - b_2 \cdot H_1 \cdot A_1^{-b_3}}$$

❖ **Hossfeld I** 
$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^2}{b_1 \cdot (1 + A_2^2) + \chi \cdot A_2 \cdot (1 + b_2 \cdot A_2)}$$

kur 
$$\chi = \frac{A_1^2 \cdot (1 - b_1 \cdot H_1) - b_1 \cdot H_1}{A_1 \cdot H_1 \cdot (1 + b_2 \cdot A_1)}$$

# Darba metodika (2)

❖ Hossfeld IV 
$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + b_3 \cdot \chi + \chi \cdot A_2^{b_1}}$$

kur 
$$\chi = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2}{b_3 + A_1^{b_1}}$$

❖ Lunqvist–Korf 
$$H_2 = \exp(\chi) \cdot \exp\left(-b_1 + \frac{b_2}{\chi} \cdot A_2^{b_3}\right)$$

kur 
$$\chi = \frac{A_1^2 \cdot (1 - b_1 \cdot H_1) - b_1 \cdot H_1}{A_1 \cdot H_1 \cdot (1 + b_2 \cdot A_1)}$$

❖ Strand 
$$H_2 = \left( \frac{A_2}{\chi + A_2 \cdot (b_1 + b_2 \cdot \chi)} \right)^{b_3}$$

kur 
$$\chi = \frac{A_1 \cdot \left( H_1^{\frac{1}{b_3}} - b_1 \right)}{1 + b_2 \cdot A_1}$$

**Apzīmējumi:**

$b_1; b_2; b_3$  – koeficienti GADA modeļiem;

$H_1$  un  $H_2$  mežaudzes augstums (m) attiecīgi krūšaugstuma vecumā  $A_1$  un  $A_2$  (gadi)

❖ Vidējā novirze

$$\frac{\sum(x_i - y_i)}{n}$$

❖ Procentuālā vidējā novirze

$$\frac{\sum(x_i - y_i)}{\bar{x}} \cdot 100$$

❖ Standartnovirze

$$\sqrt{\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n - 1 - p}}$$

❖ Variācijas koeficients

$$\frac{\sqrt{\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n - 1 - p}}}{\bar{x}} \cdot 100$$

❖ Vidējā kvadrātiskā kļūda

$$\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n - p}$$

❖ Korelācijas koeficients

$$\frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

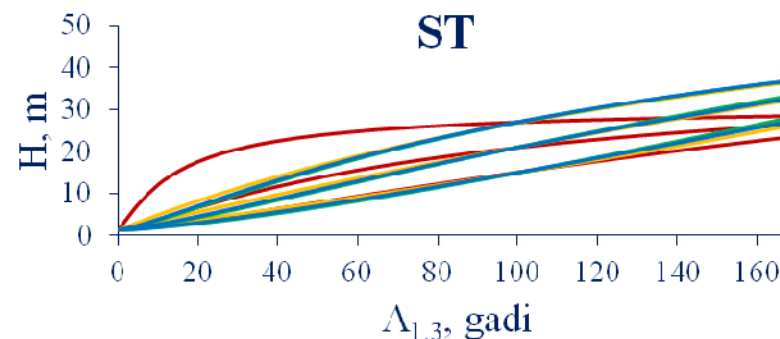
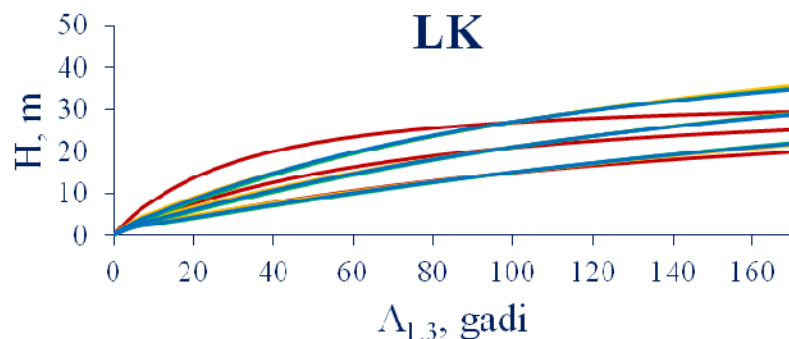
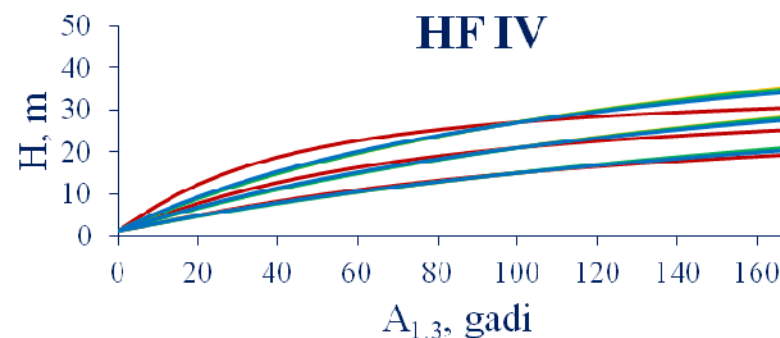
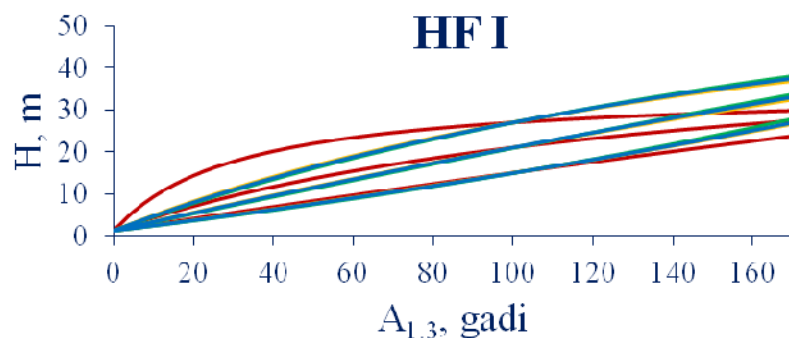
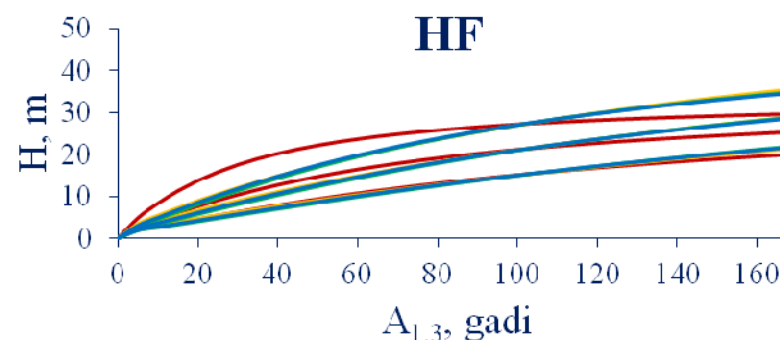
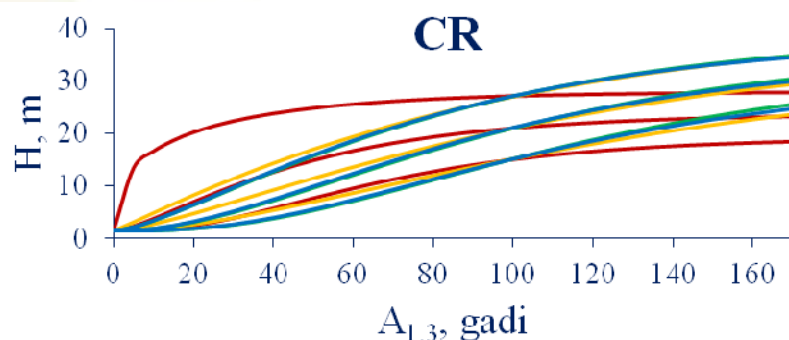
❖ Akaikes informācijas kritērijs

$$AIC = N \cdot \ln\left(\frac{SS}{n}\right) + 2 \cdot p$$

$x_i$ – uzmērītais rādītājs;  $y_i$ – aprēķinātais rādītājs;  $\bar{x}$ – aritmētiski vidējais uzmērītais rādītājs;  $\bar{y}$ – aritmētiski vidējais aprēķinātais rādītājs;  $n$ – novērojumu skaits;  $SS$ – noviržu kvadrātu summa;  $p$ – vienādojuma parametru skaits

# Rezultāti

$$Sl \neq Mr \approx Ln \approx Dm$$



2. att. Aproximētā virsaugstuma augšanas gaita priedēm sausieņu mežos:

— Sl, — Mr, — Ln, — Dm; CR –Chapman–Richards, HF – Hossfeld, HF1 – Hossfeld I, HF4 – Hossfeld IV, LK –Lunqvist–Korf, ST – Strand

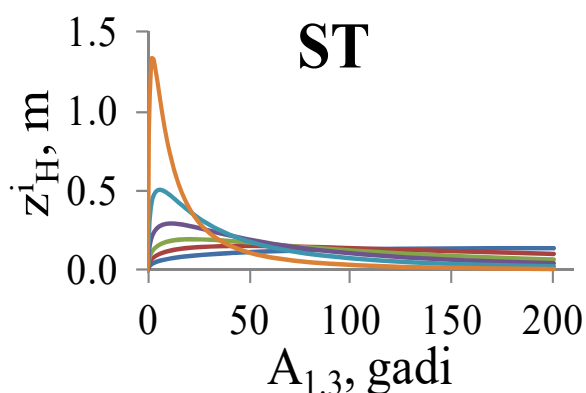
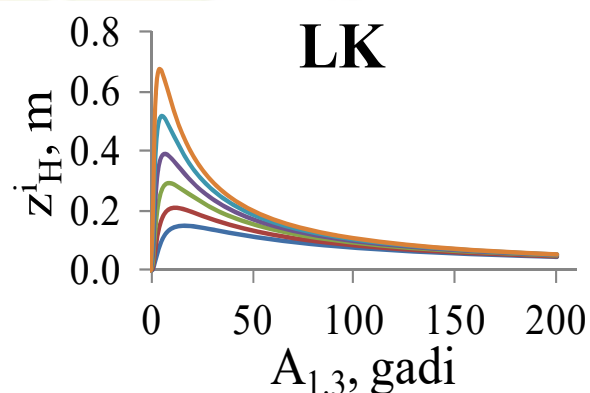
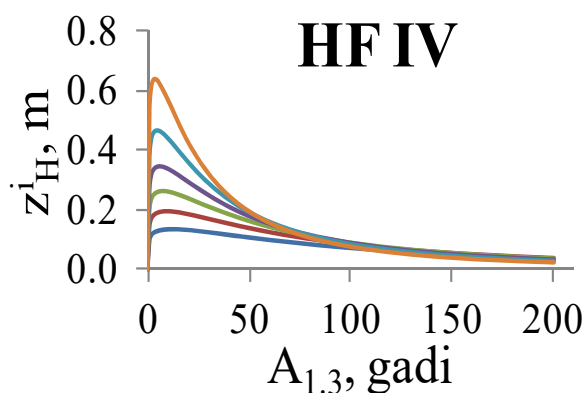
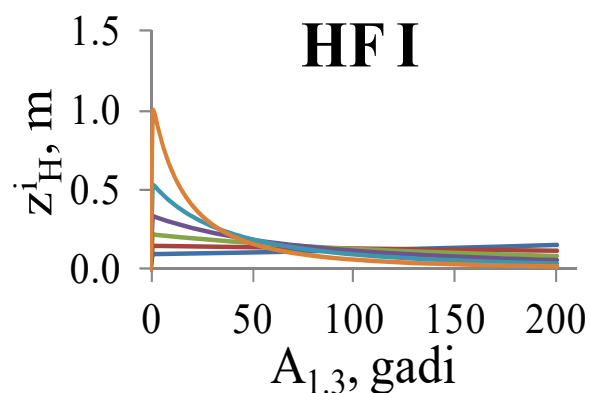
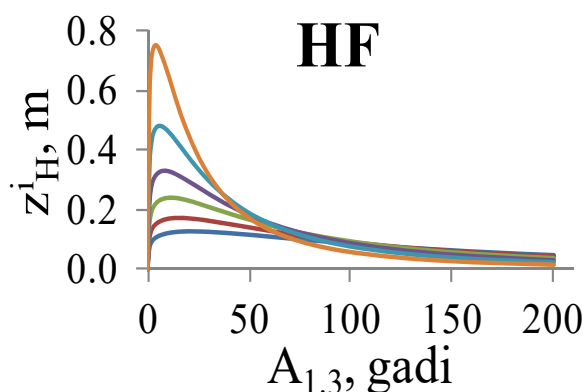
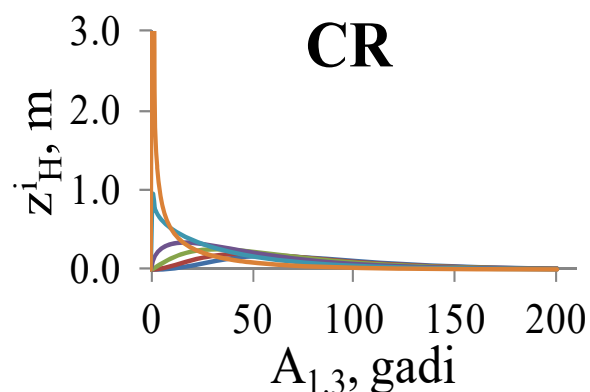
# Rezultāti — SI (1)



Priedes virsaugstuma augšanas gaitas modeļu aproksimētās koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji silā ( $N=55$ ;  $H_2=16.93$  m)

| Modelis          | MRES,<br>m | MRES<br>% | RMSE,<br>m | RMSE<br>% | MSE,<br>m | R     | AIC    | $A_{1.3}$ ,<br>gadi | $H_{100}$ ,<br>m |
|------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------|--------|---------------------|------------------|
| Chapman-Richards | 0.02       | 0.12      | 0.431      | 2.54      | 0.18      | 0.995 | -90.78 | 5...200             | 15..27           |
| Hossfeld         | 0.06       | 0.35      | 0.457      | 2.70      | 0.20      | 0.995 | -84.35 | 5...200             | 15..30           |
| Hossfeld I       | 0.04       | 0.23      | 0.447      | 2.64      | 0.20      | 0.995 | -87.54 | 5...160             | 15..27           |
| Hossfeld IV      | 0.06       | 0.37      | 0.467      | 2.76      | 0.21      | 0.994 | -81.87 | 5...200             | 15..30           |
| Lunqvist-Korf    | 0.05       | 0.32      | 0.473      | 2.80      | 0.22      | 0.994 | -80.40 | 5...160             | 15..30           |
| Strand           | 0.02       | 0.10      | 0.439      | 2.59      | 0.19      | 0.995 | -88.82 | 5...160             | 15..27           |

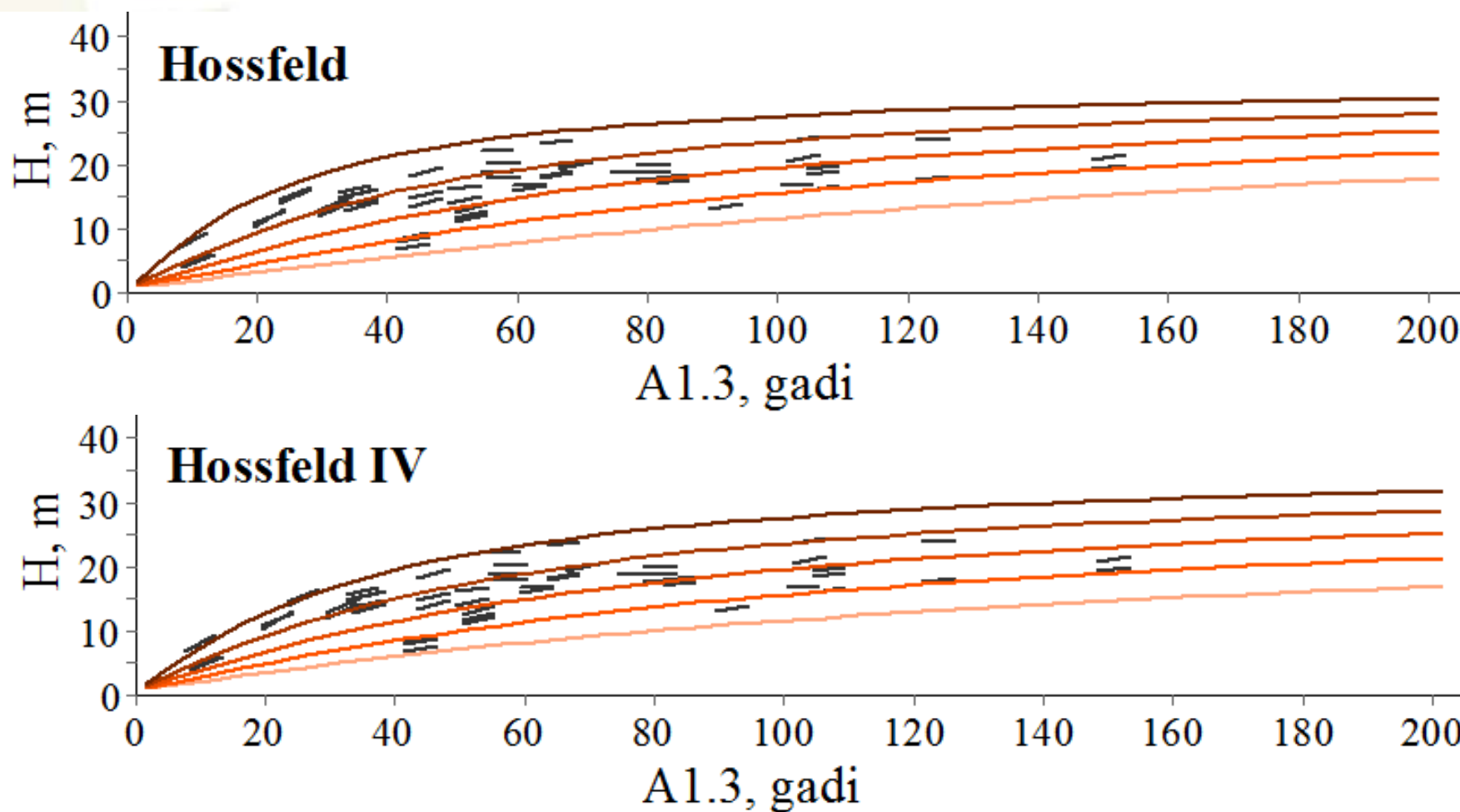
# Rezultāti — SI (2)



**3. att. Priedes virsaugstuma  
augšanas gaitas modeļu  
prognozētais tekošais  
ikgadējais augstuma  
pieaugums dažādās  
virsaugstuma bonitātēs  
silā:**

—  $H_{100}=12$  m, —  $H_{100}=15$  m,  
—  $H_{100}=18$  m, —  $H_{100}=21$  m,  
—  $H_{100}=24$  m, —  $H_{100}=27$  m.

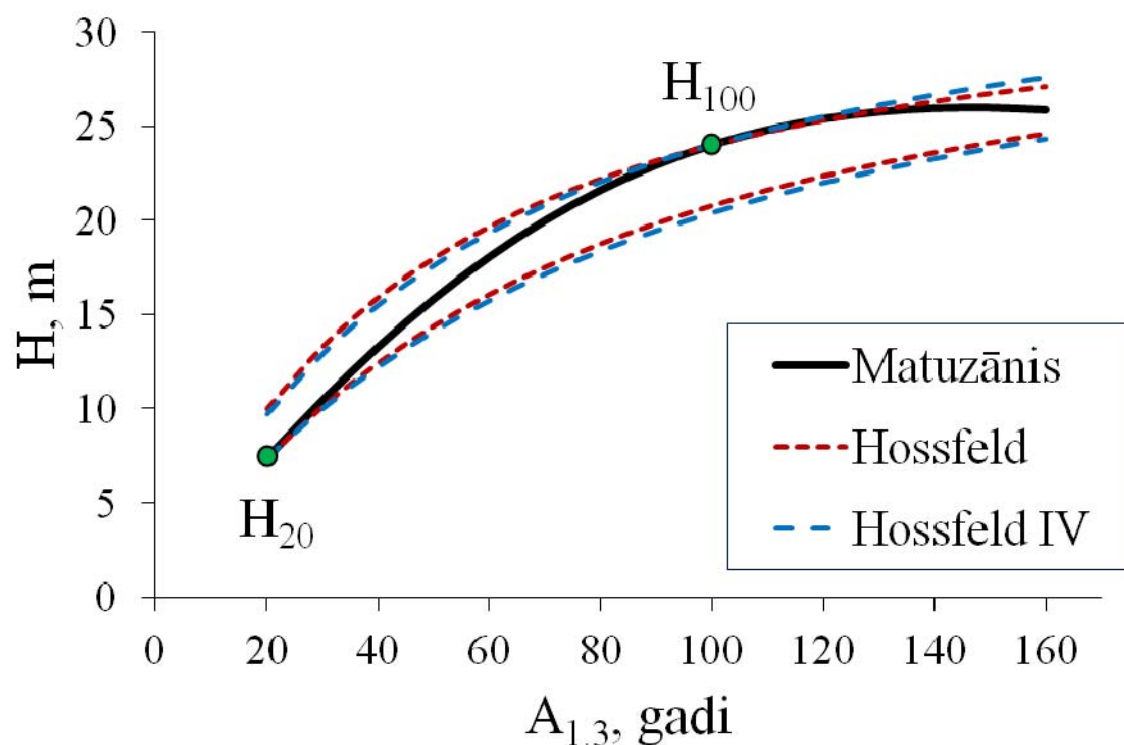
# Rezultāti — SI (3)



4. att. Uzmērītās virsaugstuma izmaiņas un ar GADA modeļiem aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita priedēm silā

H100 — 12 — 16 — 20 — 24 — 28 — MSI koki

# Rezultāti — SI (4)



5. att. Šobrīd lietotā Dr.silv. Jāņa Matuzāņa vadībā izstrādātā augstuma prognožu modeļa (Matuzānis) salīdzinājums ar maģistra darbā izstrādātajiem Hossfelda un Hossfelda IV modeļiem silā

| Modelis     | A1.3, gadi |      |      |
|-------------|------------|------|------|
|             | 20         | 100  | 160  |
| Matuzānis   | 7.4        | 24.0 | 25.9 |
| Hossfeld    | 7.4        | 20.8 | 24.6 |
|             | 10.0       | 24.0 | 27.1 |
| Hossfeld IV | 7.4        | 20.4 | 24.3 |
|             | 9.7        | 24.0 | 27.6 |

# Rezultāti – Mr, Ln, Dm (1)

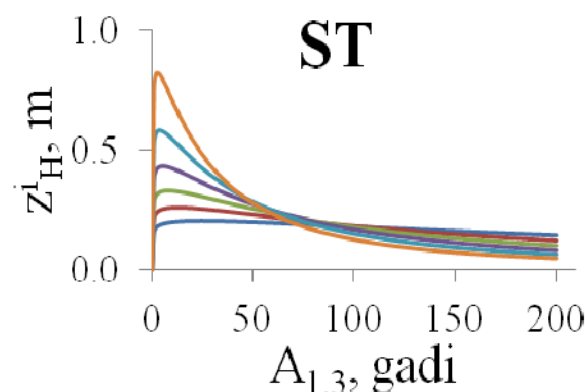
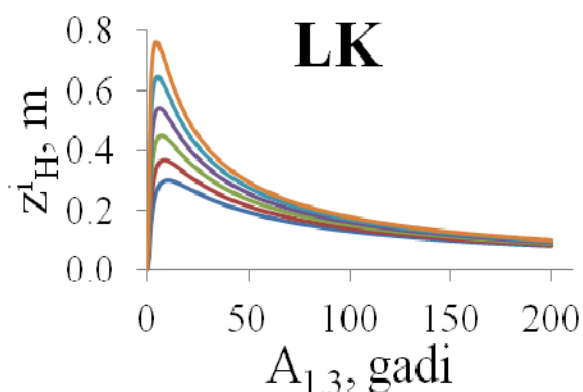
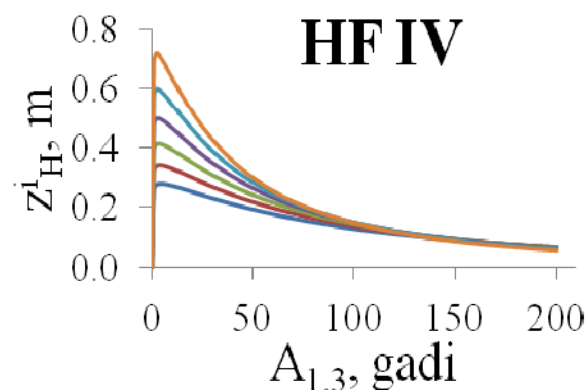
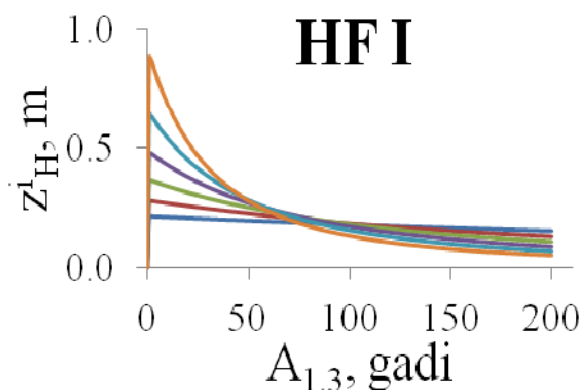
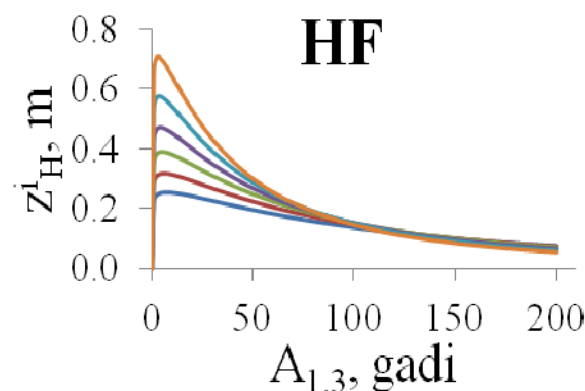
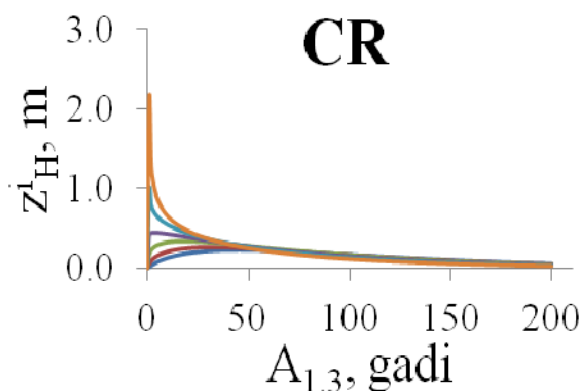


Priedes virsaugstuma augšanas gaitas modeļu aproksimētās koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji mētrājā, lānā un damaksnī

$(N=55; H_2=16.93 \text{ m})$

| Modelis          | MRES, MRES |      | RMSE, RMSE |      | MSE, m | R     | AIC     | A <sub>1.3</sub> , gadi | H <sub>100</sub> , m |
|------------------|------------|------|------------|------|--------|-------|---------|-------------------------|----------------------|
|                  | m          | %    | m          | %    |        |       |         |                         |                      |
| Chapman-Richards | 0.00       | 0.01 | 0.61       | 2.36 | 0.37   | 0.991 | -611.21 | 5...160                 | 21..39               |
| Hossfeld         | 0.03       | 0.13 | 0.62       | 2.39 | 0.38   | 0.991 | -593.47 | 5...200                 | 18..39               |
| Hossfeld I       | 0.00       | 0.02 | 0.61       | 2.35 | 0.37   | 0.991 | -617.34 | 5...160                 | 21..39               |
| Hossfeld IV      | 0.05       | 0.21 | 0.62       | 2.41 | 0.39   | 0.991 | -584.16 | 5...200                 | 18..39               |
| Lunqvist-Korf    | 0.04       | 0.15 | 0.62       | 2.40 | 0.38   | 0.991 | -588.21 | 5...160                 | 18..39               |
| Strand           | 0.00       | 0.00 | 0.61       | 2.35 | 0.37   | 0.991 | -616.40 | 5...160                 | 21..39               |

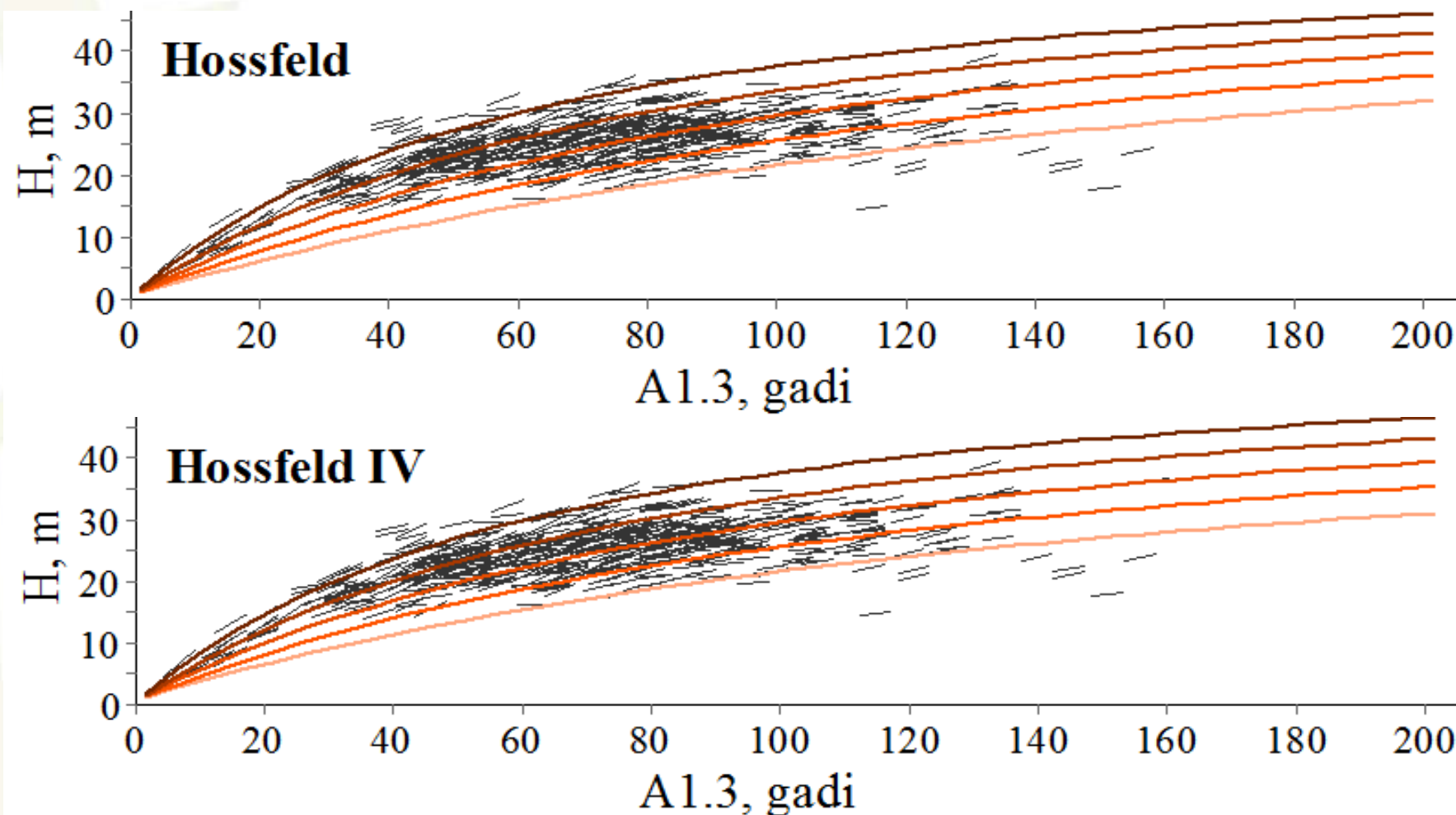
# Rezultāti – Mr, Ln, Dm (2)



**6. att. Priedes virsaugstuma augšanas gaitas modeļu prognozētais tekošais ikgadējais augstuma pieaugums dažādās virsaugstuma bonitātēs mētrājā, lānā un damaksnī:**

—  $H_{100}=21 \text{ m}$ , —  $H_{100}=24 \text{ m}$ ,  
—  $H_{100}=27 \text{ m}$ , —  $H_{100}=30 \text{ m}$ ,  
—  $H_{100}=33 \text{ m}$ , —  $H_{100}=36 \text{ m}$ .

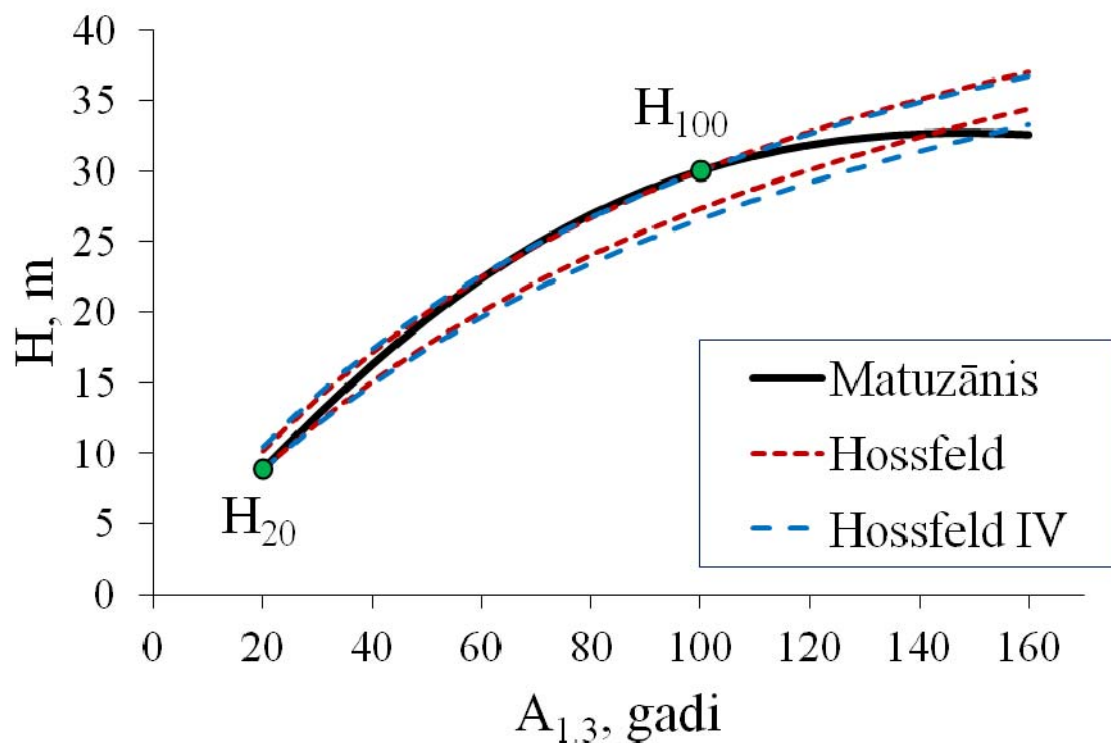
# Rezultāti — Mr, Ln, Dm (3)



7. att. Uzmērītās virsaugstuma izmaiņas un ar GADA modeļiem aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita priedēm mētrājā, lānā un damaksnī:

H100 — 22 — 26 — 30 — 34 — 38 — MSI koki

# Rezultāti — Mr, Ln, Dm (4)



8. att. Šobrīd lietotā Dr.silv. Jāņa Matuzāņa vadībā izstrādātā augstuma prognožu modeļa (Matuzānis) salīdzinājums ar maģistra darbā izstrādātajiem Hossfelda un Hossfelda IV modeļiem mētrājā, lānā un damaksnī.

| Modelis     | A1.3, gadi |      |      |
|-------------|------------|------|------|
|             | 20         | 100  | 160  |
| Matuzānis   | 8.8        | 30.0 | 32.6 |
| Hossfeld    | 8.8        | 27.3 | 34.4 |
|             | 10.1       | 30.0 | 37.0 |
| Hossfeld IV | 8.8        | 26.6 | 33.2 |
|             | 10.4       | 30.0 | 36.8 |

# Secinājumi (1)



1. Šobrīd Latvijā mežaudzes raksturošanai un saimnieciskās darbības plānošanā un regulēšanā tiek izmantots mežaudzes vidējais augstums, tomēr Latvijas likumdošanā nav pietiekami precīzi un atbilstoši starptautiskajām normām definēts mežaudzes vidējā augstuma jēdziens.
2. Mežaudzes un meža elementa augstuma augšanas gaitas modelēšanai un mežaudzes produktivitātes raksturošanai par vispiemērotāko uzskatāms mežaudzes virsaugstums vai dominējošo koku augstums.
3. Atsevišķu koku un mežaudzes augstuma pieaugumu ietekmē virkne dažādu faktoru un to savstarpējā mijiedarbība, bet nozīmīgākie ir: koku sugas bioloģiskās īpašības; koku izcelsme; fizioloģiskais stāvoklis; koku vecums; augšanas vieta un mežsaimnieciskā darbība.
4. Mežaudzes augstuma augšanas gaitas modelēšanā pēdējos gados plaši tiek izmantoti bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļi jeb tā saucamie GADA (*generalized algebraic difference approach*) modeļi, kas ir s veida polimorfiski modeļi ar dažādām asimptotām.

## Secinājumi (2)



5. Parastās priedes virsaugstuma augšanas gaitas raksturošanai silā, mētrājā, lānā un damaksnī katrā izstrādāti 6 dažādi prognožu modeļi, kas balstīti uz Čapmana-Ričardsa (Chapman-Richards), Hossfelda (Hossfeld), Hossfelda I, Hossfelda IV, Lunkvista-Korfa (Lunqvist-Korf) un Štranda (Strand) bāzes vienādojumu vispārinātās algebriskās differences pieejas (GADA) modeļiem.
6. Mētrājā, lānā un damaksnī parastās priedes virsaugstuma augšanas gaita ir līdzīga, tādēļ šiem meža tipiem virsaugstuma gaitas raksturošanai ir izstrādāti vienoti Čapmana-Ričardsa (Chapman-Richards), Hossfelda (Hossfeld), Hossfelda I, Hossfelda IV, Lunkvista-Korfa (Lunqvist-Korf) un Štranda (Strand) bāzes funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļi.
7. Sausieņu mežos Latvijā bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļi jeb tā saucamie GADA (*generalized algebraic difference approach*) modeļi ir piemēroti parastās priedes virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai.

# Priekšlikumi (1)

1. Ir nepieciešams Latvijas likumdošanā precīzi un atbilstoši starptautiskajām normām definēt mežaudzes vidējā augstuma jēdzienu.
2. Mežaudzes un meža elementa augstuma augšanas gaitas modelēšanai un mežaudzes produktivitātes raksturošanai ieteicams izmantot mežaudzes virsaugstumu, bet mežaudzes un meža elementa krājas aprēķināšanai izmantot vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu.
3. Parastās priedes virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanā silā ieteicams izmantot atsevišķi silam izstrādātos Hossfelda vai Hossfelda IV bāzes vienādojumu vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļus (57. un 58. vienādojums).

$$H_2 = 1.3 + \frac{31.7457 + \frac{H_1 - 31.7457}{1 + 9977.990 \cdot H_1 \cdot A_1^{-1.1775}}}{1 - 9977.990 \cdot \frac{H_1 - 31.7457}{1 + 9977.990 \cdot H_1 \cdot A_1^{-1.1775}} \cdot A_2^{-1.1775}} \quad (57)$$

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{1.1214}}{-26.1666 + 977.190 \cdot \frac{A_1^{1.1214}}{977.190 + A_1^{1.1214}} + \frac{A_1^{1.1214}}{977.190 + A_1^{1.1214}} + 26.1666} \cdot A_2^{1.1214} \quad (58)$$

## Priekšlikumi (2)



4. Parastās priedes *Pinus sylvestris* L. virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanā mētrājā, lānā un damaksnī ieteicams izmantot vienotos Hossfelda vai Hossfelda IV bāzes vienādojumu vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļus (66. un 67. vienādojums).

$$H_2 = 1.3 + \frac{57.1072 + \frac{H_1 - 57.1072}{1 + 6111.539 \cdot H_1 \cdot A_1^{-1.0614}}}{1 - 6111.539 \cdot \frac{H_1 - 57.1072}{1 + 6111.539 \cdot H_1 \cdot A_1^{-1.0614}} \cdot A_2^{-1.0614}} \quad (66)$$

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{1.0426}}{-17.0588 + 1080.620 \cdot \frac{\frac{A_1^{1.0426}}{H_1 - 1.3} + 17.0588}{1080.620 + A_1^{1.0426}} + \frac{\frac{A_1^{1.0426}}{H_1 - 1.3} + 17.0588}{1080.620 + A_1^{1.0426}} \cdot A_2^{1.0426}} \quad (67)$$

5. Ir nepieciešams pārbaudīt virsaugstuma augšanas gaitas bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās differences pieejas modeļus parastajai priedei pārējos meža tipos, kā arī citām Latvijā saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām dalījumā pa meža tipi.

# Paldies par uzmanību!

Maģistra darbs izstrādāts LVMI Silava a/s «Latvijas valsts meži» finansēto pētījumu «**Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus**» un «**Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana**» ietvaros.

Pētījumi veikti a/s «Latvijas valsts meži» un LVMI Silava 2011. gada 11. oktobra memoranda «Par sadarbību zinātniskajā izpētē» ietvaros.