

Meža resursu modelēšana un prognozēšana

(LVMI Silava pieeja)

15.02.2022.

Jānis Donis

Guntars Šņepsts

LVMI «Silava»

janis.donis@silava.lv

Prezentācijas saturs



- Vispārēji termini
- Mērījumi un to raksturojošie rādītāji
- Pieejas meža resursu modelēšanā
- Stāvokļa modeļi
 - Augstuma-caurmēra attiecību modelēšana
 - Vietas kvalitātes novērtēšana (bonitēšana)
- Kokaudzes (meža elementa) vidējo parametru izmaiņu modelēšana
- Atsauces reakcijas uz mežsaimnieciskajiem pasākumiem

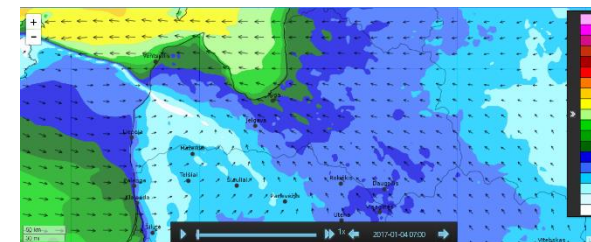
VISPĀRĒJIE TERMINI

Termini

- **Mežs** — ekosistēma visās tās attīstības stadijās, kur galvenais organiskās masas ražotājs ir koki, kuru augstums konkrētajā vietā var sasniegt vismaz **piecus metrus** un kuru pašreizējā vai potenciālā vainaga projekcija ir vismaz **20 procentu** no mežaudzes aizņemtās platības (Meža likums)

(Minimālā platība 0.1ha)

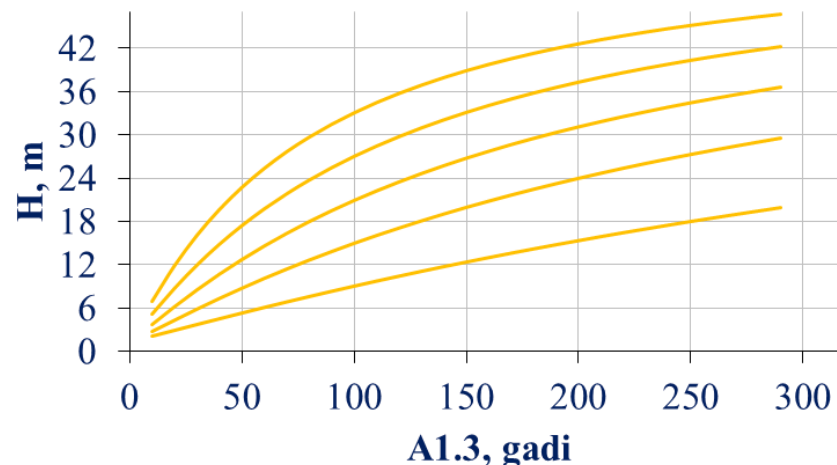
- **Meža resursi** – koksnes apjoma un meža nekoksnes produktu, kā arī meža derīgo dabisko īpašību kopums (GOST 18486-87) (FRA2015, FRA2020)
- **Modelis** - grafiska, **matemātiska** (simboliska), fiziska vai vārdiska **vienkāršota** koncepta, fenomena, attiecību, struktūras, sistēmas **realitātes atspoguļojuma versija**
- **Prognoze** (grieķu πρόγνωσις «paredzēt») objekta (parādības vai procesa) pašreizējā stāvokļa **iespējamās** attīstības, iznākuma vai nākotnes stāvokļa novērtējums



Modelis - grafiska, matemātiska (simboliska), fiziska vai vārdiska **vienkāršota** koncepta, fenomena, attiecību, struktūras, sistēmas **realitātes atspoguļojuma versija**

| A_{1.3}, gadi | H₁₀₀, m | | | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 |
| 10 | 2.1 | 2.8 | 3.8 | 5.1 | 6.9 |
| 20 | 2.9 | 4.4 | 6.3 | 8.7 | 11.8 |
| 30 | 3.7 | 5.9 | 8.6 | 11.9 | 16.0 |
| 40 | 4.5 | 7.4 | 10.8 | 14.8 | 19.6 |
| 50 | 5.3 | 8.8 | 12.8 | 17.4 | 22.7 |
| 60 | 6.0 | 10.2 | 14.7 | 19.7 | 25.3 |
| 70 | 6.8 | 11.5 | 16.4 | 21.8 | 27.6 |
| 80 | 7.6 | 12.7 | 18.1 | 23.7 | 29.6 |
| 90 | 8.3 | 13.9 | 19.6 | 25.4 | 31.4 |
| 100 | 9.0 | 15.0 | 21.0 | 27.0 | 33.0 |
| 110 | 9.7 | 16.1 | 22.3 | 28.4 | 34.4 |
| 120 | 10.4 | 17.1 | 23.6 | 29.8 | 35.7 |
| 130 | 11.0 | 18.1 | 24.7 | 31.0 | 36.8 |
| 140 | 11.7 | 19.1 | 25.8 | 32.1 | 37.9 |
| 150 | 12.3 | 20.0 | 26.9 | 33.1 | 38.8 |
| 160 | 13.0 | 20.8 | 27.8 | 34.1 | 39.7 |

$$H_2 = 1.3 + \frac{b_1 + \frac{H_1 - b_1}{1 - b_2 \cdot H_1 \cdot A_1^{-b_3}}}{1 + b_2 \cdot \left(\frac{H_1 - b_1}{1 - b_2 \cdot H_1 \cdot A_1^{-b_3}} \right) \cdot A_2^{-b_3}}$$



Meža inventarizācija un taksācija



- **Meža inventarizācija** (*inventarium* - latīņu val. «saraksts, apraksts») informācijas iegūšana par mežu un tam piegulošiem purviem, meža infrastruktūras objektiem, mežā ietilpstošiem pārplūstošiem klajumiem, purviem un laucēm konkrētā meža īpašumā vai valdījumā un iegūtās informācijas dokumentēšana (*Meža likums*)
- **Meža taksācija** (*taxatio* – latīņu val. «novērtēšana») ir viena no **mežzinātnes** disciplīnām, kas pētī un noskaidro **metodes**, ar kurām noteikt augošu, nocirstu un pārstrādātu koku dimensijas un **tilpumu**, tāpat arī noteikt koku un mežaudžu **vecumu**, **pieaugumu**, krāju un arī **augšanas gaitu** un mežaudžu struktūras likumības (*P.Sarma, 1948*).
- **Meža taksācija (2)** - mežaudzes, meža masīva, cirmsas, mežā augošu koku, nozāģētu koku un sagatavotu kokmateriālu koksnes daudzuma, labuma un vērtības noteikšana (*P.Skudra, 2005*).
- **Mežierīcība** - meža inventarizācijas un apsaimniekošanas plānošanas sistēma, kas nodrošina racionālu meža fonda izmantošanu, kokaudzes ražības un kvalitātes paaugstināšanu, mežam piemītošo funkciju nepārtrauktību (*P.Skudra, 2005*)

Definīcijas



- **Meža elements** – vienādos augšanas apstākļos augšanā un attīstībā savstarpēji mijiedarbojušos vienas sugas, vienas paaudzes, vienādas izcelsmes un vienlīdz attīstītu koku kopums. Pie vienas paaudzes pieskaita kokus, kuru vecums atšķiras ne vairāk kā par 2 vecumklasēm. **Vienvecuma tīraudze ir speciāls meža elementa gadījums.**
- **Valdošā koku suga** - koku suga (**meža elements**), kurai mežaudzes I stāvā ir vislielākā koksnes krāja.
- **Valdaudze** - kokaudzes koki ar lielāko koksnes krāju, kuru augstums neatšķiras vairāk par 10 procentiem no to vidējā augstuma
- **Mežaudzes stāvs** - koku kopa, kuras augstumu atšķirības no koku vidējā augstuma nepārsniedz 20 %. Otro stāvu izdala, ja tā koku vidējais augstums ir vismaz par 21 % mazāks nekā pirmā stāva koku vidējais augstums, bet nav mazāks par sešiem metriem
- **Normālas biezības audze** – tāda audze, kuras šķērslaukums ir vienāds ar normālo šķērslaukumu.

Definīcijas (turpinājums)



- **Bonitāte** - iedalījuma vienība mežaudzes ražīguma raksturošanai, ko nosaka pēc koku augstuma noteiktā vecumā.
- **Virsaugstuma bonitāte** - iedalījuma vienība mežaudzes ražīguma raksturošanai, ko nosaka pēc I stāva valdošās koku sugas virsaugstuma noteiktā vecumā.

Definīcijas (turpinājums)



- D_{vid} - **vidējais aritmētiskais caurmērs** vidējam aritmētiskajam diametram atbilstoša koka caurmērs
- D_g - **vidējais kvadrātiskais caurmērs** (vidējam šķērslaukumam atbilstoša koka caurmērs), kur vidējais šķērslaukums ;
- D_{vald} - **valdaudzes koku vidējais kvadrātiskais caurmērs**;
- D_{dom} – **kokaudzes I stāva valdošās koku sugas 100 resnāko koku uz ha koku vidējais kvadrātiskais caurmērs**
- H_g – I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;
- H_{vald} – valdaudzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;
- H_{dom} – virsaugstums, kas aprēķināts kā 100 resnāko koku ha^{-1} vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums.
- A - **bioloģiskais jeb hronoloģiskais vecums** – laiks no sēklas dīgšanas vai atvašu pumpura saplaukšanas.
- $A_{1,3}$ - **krūšaugstuma vecums** - laiks no brīža, kad tika sasniegts augstums 1.3 m virs sakņu kakla vai augsnes virsmas.

Definīcijas (turpinājums)



- **Šķērslaukuma (G) definīcijas**
- **Maksimālais (dabiskais) šķērslaukums** – šķērslaukums kādu konkrētajos apstākļos un ar konkrēto sākotnējo koku skaitu nekopta audze sasniedz jebkurā tās attīstības posmā. (Skovsgaard, Vanclay, 2007)
- **Optimālais šķērslaukums** – šķērslaukums, pie kura audze dod maksimālo pieaugumu (Matuzānis, 1975).
- **Kritiskais šķērslaukums** – šķērslaukums, līdz kuram izretinot paliekošās audzes pieaugums ir 95% no maksimāli iespējamā pieauguma. (Matuzānis, 1975)
- **Normālais šķērslaukums** (Normālo audžu šķērslaukums) – šķērslaukums, pie kura attiecīgās sugas, vecuma un bonitātes audzei ir vislielākā krāja (Анучин, 1977)
- (**Kritiskais šķērslaukums** - mežaudzes šķērslaukuma robežvērtība, par kuru mazākas vērtības gadījuma nav iespējama mežaudzes apmierinošana attīstība un mežaudze ir atjaunojama)
- (**Minimālais šķērslaukums** — mazākais mežaudzes šķērslaukums, kāds nepieciešams, lai būtu iespējama turpmāka produktīva mežaudzes attīstība)
- (**Normālais šķērslaukums** (m^2ha^{-1}) - šķērslaukuma skaitliskā vērtība pilnas biezības (biezība 1,0) mežaudzēs)

MĒRĪJUMI UN TO RAKSTUROJOŠIE RĀDĪTĀJI

Mērījumi un to nenoteiktība (1)

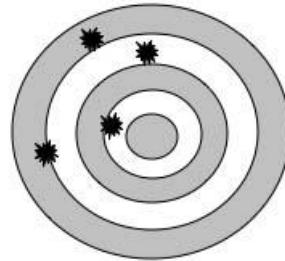


- LVS ISO 5725-1 2006 Mērīšanas metožu un rezultātu pareizība (patiesums un precizitāte)
 - **Pareizība** (*accuracy*) – sakritība starp mērīšanas rezultātu un pieņemto references vērtību
 - **Patiesums** (*trueness*) – sistemātiskā kļūda (*bias*) starp pieņemto references vērtību un sagaidāmo uzmērīšanas rezultātu vērtību
 - **Precizitāte** (*precision*) – atkārtotu mērījumu mainības raksturojošs rādītājs
 - Atkārtojamības apstākļi – mērījumu veikšanas apstākļi nemainīgi!
 - Reproducejamības apstākļi – mērījumu veikšanas apstākļi mainīgi!

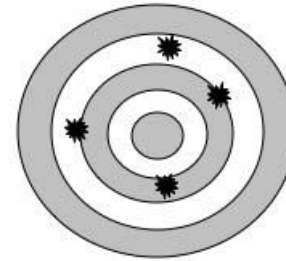
Ikdienā (un arī citos standartos) **pareizība** tiek saukta par **precizitāti**!

Mērījumu nenoteiktība (2)

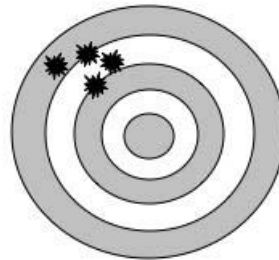
- Mērīšanas metožu pareizums (patiesums un precizitāte)



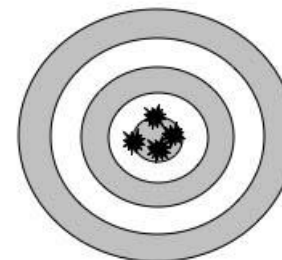
Nav pareizs
Nav precīzs



Pareizs
Nav precīzs



Nav pareizs
Precīzs



Pareizs
Precīzs

Mērījumu nenoteiktība (3)



- LVS ENV 13005 2007 T Norādījumi mērījumu nenoteiktības izpausmei
 - **Mērāms lielums** – parādība, ķermeņa vai vielas īpašība, kuru iespējams atšķirt kvalitatīvi un noteikt kvantitatīvi (piem., garums, masa)
 - **Lieluma vērtība** – konkrēta lieluma vērtība, kas izteikta kā mērvienības reizinājums ar skaitli. Piem., koka garums 5,00 m vai 500 cm
 - **Lieluma pieņemtā patiesā vērtība** – vērtība attiecināta uz konkrētu lielumu ar nenoteiktību, kas ir vispārpieņemta
 - **Mērīšana** – darbību kopums, lai noteiktu kāda lieluma vērtību
 - **Mērīšanas princips** – mērīšanas zinātniskais pamats. Piem., skaņas/ gaismas izplatīšanas ātrums
 - **Mērīšanas metode** – vispārīgi aprakstītas loģiskas darbības mērīšanas veikšanai

Mērījumu nenoteiktība (4)

- LVS ENV 13005 2007 T Norādījumi mērījumu nenoteiktības izpausmei
 - **Mērlielums** – mērīšanai pakļauts konkrēts lielums, piem., koka caurmērs
 - **Ietekmējošais lielums** – lielums, kas nav mērlielums, bet ietekmē mērīšanas rezultātu. (piem., gaisa temperatūra, ja mēra ar ultraskaņas attālummēru)
 - **Mērīšanas rezultāts** – mērlielumam piedēvētā vērtība, kas iegūta mērīšanā
 - **Mērīšanas precizitāte** – mērīšanas rezultāta un mērlieluma patiesās vērtības sakritības pakāpe
 - **Mērīšanas kļūda** = mērīšanas rezultāts - mērlieluma patiesā vērtība
 - **Relatīvā kļūda** = mērīšanas kļūda dalīta ar mērlieluma patieso vērtību.
- Ikdienā (un arī citos standartos) **pareizība** tiek saukta par **precizitāti**!

Mērījumu nenoteiktība (5)



- ***Faktori, kas var ietekmēt rezultātu (mērījuma apstākļi)***
 - Mērītājs (t.sk. viņa (-as) kvalifikācija)
 - Lietotie instrumenti
 - Instrumentu kalibrēšana
 - Vide (temperatūra, mitrums, vējš utt.)
 - Laiks, kas pagājis starp mērījumiem

Uzmērīšanas metožu izvēle

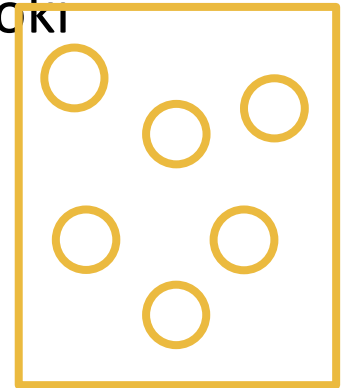


- Mērķis iegūt pietiekami precīzu un pareizu novērtējumu ar pieņemamām izmaksām
- Parasti uzmēra paraugkopu, izmantojot dažādus paraugkopā ietilpstošus elementu atlases dizainus

Statistiskie rādītāji (1)



- Statistiskā kopa
 - **Generālkopa** – piem., visi Latvijas mežos augošie koki (MSI); visi nogabalā augošie koki (nogabalu taksācija/ inventarizācija)
 - **Paraugkopa** - uzmērītie parauglaukumi/paraugkoki
- Statistiskās kopas statistiskie rādītāji
 - **Vidējās vērtības**
 - (aritm. vidējais, vidējais kvadrātiskais, mediāna, moda u.c.)
 - **Izkliedes rādītāji**
 - Izkliedes intervāls, standartnovirze, variācijas koeficients, asimetrija, ekscesa rādītājs u.c.
 - **Reprezentivitātes rādītāji**
 - Piem., standartkļūda



Statistiskie rādītāji (4)

- Rerezentivitātes rādītāji

- Standartklūda : $S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$

- Rerezentācijas klūda

- $S_{\bar{x}}\% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} 100$

- U.C.

Kreisā asimetrija
 $Mo < Me < X_{vid}$

| x | |
|-------------------------|------|
| Mean | 5 |
| Standard Error | 0.75 |
| Median | 4.5 |
| Mode | 4 |
| Standard Deviation | 2.13 |
| Sample Variance | 4.57 |
| Kurtosis | 0.94 |
| Skewness | 0.82 |
| Range | 7 |
| Minimum | 2 |
| Maximum | 9 |
| Sum | 40 |
| Count | 8 |
| Confidence Level(95.0%) | 1.78 |

Rerezentācijas klūdas atspoguļo to, cik liela klūda tiek pieļauta, ģenerālkopu aizstājot ar paraugkopu.

Statistiskie rādītāji (5)

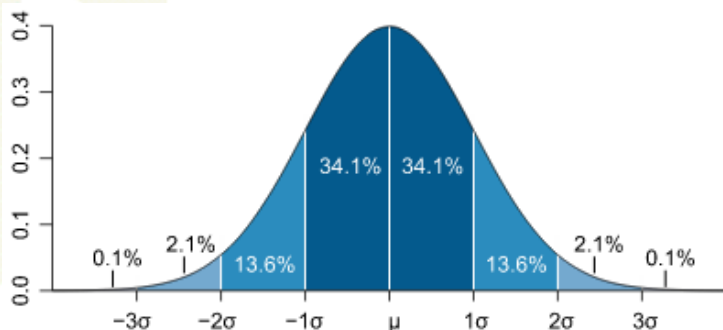
- Rerezentācijas jeb ticamības intervāls (1- α)
- Aritm.vidējā reprezent. intervāls

- $\bar{x} - \Delta_x < \mu < \Delta_x + \bar{x}$

- $\Delta_x = t_{\alpha; \nu} S_{\bar{x}}$

Stand.kļūda

- Būtiskuma līmenis α



| $z\sigma$ | % ticamības intervālā | % ārpus ticamības intervāla |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 0.674490 σ | 50% | 50% |
| 0.994458 σ | 68% | 32% |
| 1σ | 68.27% | 31.73% |
| 1.281552 σ | 80% | 20% |
| 1.644854 σ | 90% | 10% |
| 1.959964 σ | 95% | 5% |
| 2σ | 95.45% | 4.55% |
| 2.575829 σ | 99% | 1% |
| 3σ | 99.73% | 0.27% |
| 3.290527 σ | 99.9000% | 0.100% |
| 3.890592 σ | 99.9900% | 0.010% |
| 4 σ | 99.9937% | 0.006% |

Statistiskie rādītāji (6)

- Paraugkopas lieluma aprēķināšana

– Jāpieņem, α 95,99,68%

$$n = (t_{(1/2 \alpha; \vartheta)} * s_{\%} / E)^2$$

| | s% | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 40 |
|-------------|----|-----|-----|-----|------|----|-----|
| | E% | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| t=1 (68%) n | | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 2.3 | 4 | 16 |
| t=2 (95%) n | | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 9.0 | 16 | 64 |
| t=3 (99%) n | | 2.3 | 4.4 | 9.0 | 20.3 | 36 | 144 |

, kur

S% - variācijas koeficients %,

E-pieļaujamā reprezentācijas intervāla vērtības starpība %

Audzū taksācija

- Vidējā caurmēra noteikšanas pareizība/precizitāte
 - Variācijas koeficients CV= **±25%** n=7; 25; 57 (t=1,2,3)
 - Nekoptās audzēs **±30-32%**
 - Koptās audzēs **± 20-24%**
 - Jaunaudzēs **± 40-60%**.
- Ja $D_m=1$, tad $R_d=0.4-1.7-1.8$ (jaunaudzēs līdz **2.0-2.5** D_m)

| | s% | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 40 | 50 | 60 |
|--------------|----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | E% | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| t=1 (67%) | n | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 16 | 25 | 36 |
| t=2 (95%) | n | 1 | 2 | 4 | 9 | 16 | 25 | 64 | 100 | 144 |
| t=3 (99%) | n | 3 | 5 | 9 | 21 | 36 | 57 | 144 | 225 | 324 |
| t=1,64 (90%) | n | 1 | 2 | 3 | 7 | 11 | 17 | 44 | 68 | 97 |

Audzū taksācija



- Vidējā augstuma noteikšanas pareizība, precizitāte
- Variācijas koeficients P,E CV= $\pm 6-8\%$, B CV = $\pm 8-10\%$
 - Priedei I-II vec.kl. CV $\pm 30-40\%$ (ja $H_m=1$, $R_h=no$ $0.4-0.5$ līdz $1.5-2.0$ H_m)
 - III – CV= $\pm 20-25\%$,
 - IV vec.kl. CV= $\pm 10-15\%$
 - Pieaugušās audzēs $R_h=0.67-1.2H_m$

| | s% | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | E% | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| t=1 (67%) | n | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 9 | 16 |
| t=2 (95%) | n | 2 | 3 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 64 |
| t=3 (99%) | n | 4 | 6 | 9 | 21 | 36 | 57 | 81 | 144 |
| t=1,64 (90%) | n | 1 | 2 | 3 | 7 | 11 | 17 | 25 | 44 |



MEŽA RESURSU MODELĚŠANA

Problēmas pamatnostādnes



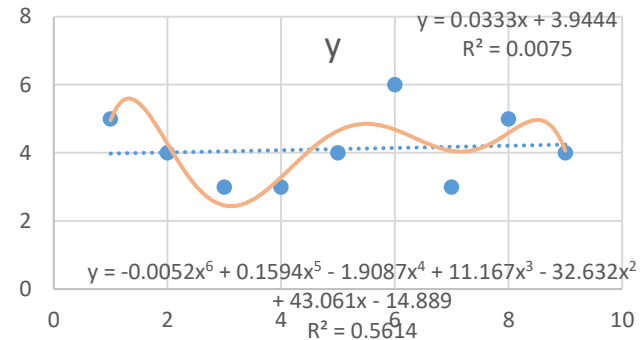
- Modeļu izmantošanas jomas:
 - Audzes struktūras (stāvokļa) novērtēšanai;
 - Audzes ražības novērtēšanai;
 - Inventarizācijas datu aktualizācijai;
 - Mežkopības alternatīvu izvērtēšanai;
 - (Saimnieciskās darbības regulēšanai);
 - Utt.
- Augšanas gaitas modeļi

Nav ideāla modeļa, kas derētu visām situācijām

Pieejas meža resursu modelēšanā



- **Ideālistiskā** – koncentrējas uz teoriju kā mentālu procesu
- **Radikāli pragmatiskā** – koncentrējas uz līkņu «atbilstības» noteikšanu datiem
- **Reālistiskā** – ņem vērā vispārējās likumsakarības, kuras mēģina aproksimēt ar pieejamajiem datiem



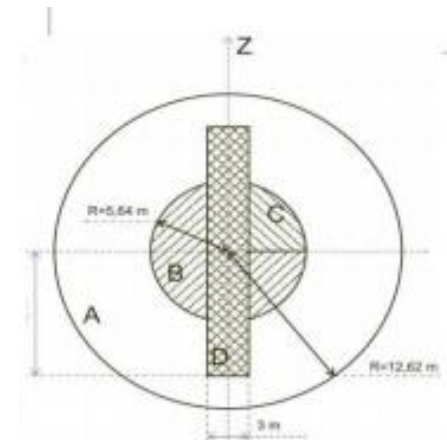
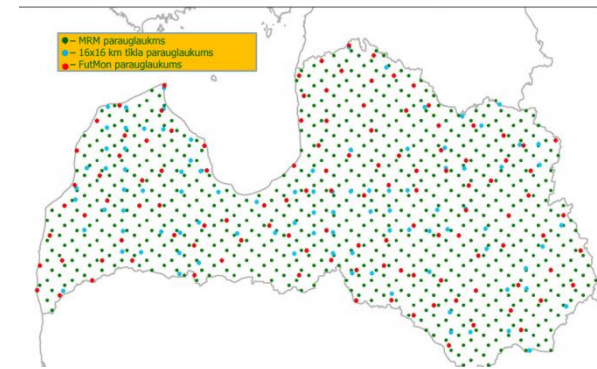
Informācija avoti par Latvijas mežiem



- VMD uzturētais Meža valsts reģistrs
- LVMI Silava Meža statistiskās inventarizācijas dati
- LVMI Silava iekārtotie pētījumu parauglaukumi
- Citi informācijas avoti

Informācija par Latvijas mežiem (2)

- 2004. gadā Latvijā tika uzsākta MSI
- Pastāvīgie Pl 4*4 km tīklā (traktā pa 4)
 - 16157
 - No tiem apm. 8000 meža zemē
- I cikls 2004.-2008.
- II cikls 2009.-2013.
- III cikls 2014.-2018.
- IV cikls 2019.-2024.
- Aprēķinu pamatā
 - Prof. I. Liepas stumbra tilpuma formulas
 - Prof. I. Liepas pieaugumu aprēķinu metodika (I cikls)
 - Prof. R. Ozolina augstumlīknes

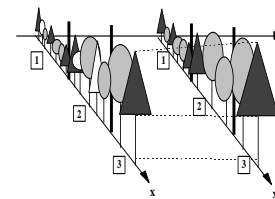


Materiāls un metodika

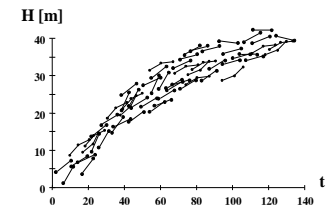
- 5458 MSI parauglaukumi
 - Priedes audzēs – 1745
 - Egles audzēs – 983
 - Bērza audzēs – 1500
 - Melnalkšņa audzes – 262
 - Apšu audzes – 391
 - Baltalkšņa audzes – 427
 - Citas sugas – 129

Pieauguma urbumi

- 1249 parauglaukumi
- Koki – 16 876
- Gadskārtas – ca. 700 000



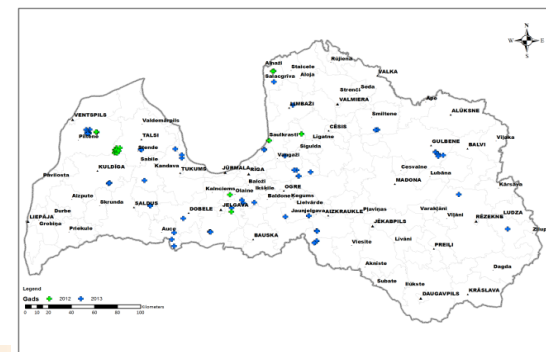
Interval sample plots



Materiāls un metodika



- Kopšanas parauglaukumi 120 gab.
- Meža selekcijas parauglaukumi
- Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtēšanas parauglaukumi 33 gab.
- Dabiskos traucējumos cietušu audžu parauglaukumi (97 gab.)
 - Parauglaukumi (2011.-2013.) - 172, (platība 8,6 ha (koki samērīti koordinātēs)).



Materiāls un metodika



- Regresijas vienādojumi:
 - Meža elementu stāvokļa (sadalījuma novērtēšanai
 - meža elementu vidējo vērtību izmaiņu novērtēšanai

Vienādojumu koeficientu vērtību aprēķināšana un ticamības izvērtējums



Vienādojumu atbilstības izvērtēšanai izmantoti sekojoši statistiskie rādītāji:

- Vidējā novirze (MRES)

$$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}; \quad (1.11)$$

- Vidējā absolūtā novirze (AMRES)

$$ARMS = \frac{\sum|y_i - \hat{y}_i|}{n}; \quad (1.12)$$

- Standartklūda (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1-p}}; \quad (1.13)$$

- Vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE)

$$MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}; \quad (1.14)$$

- Modeļa efektivitāte (MEF)

$$MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}; \quad (1.15)$$

- Dispersijas attiecība (VR)

$$VR = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}; \quad (1.16)$$

- Determinācijas indekss (R^2)

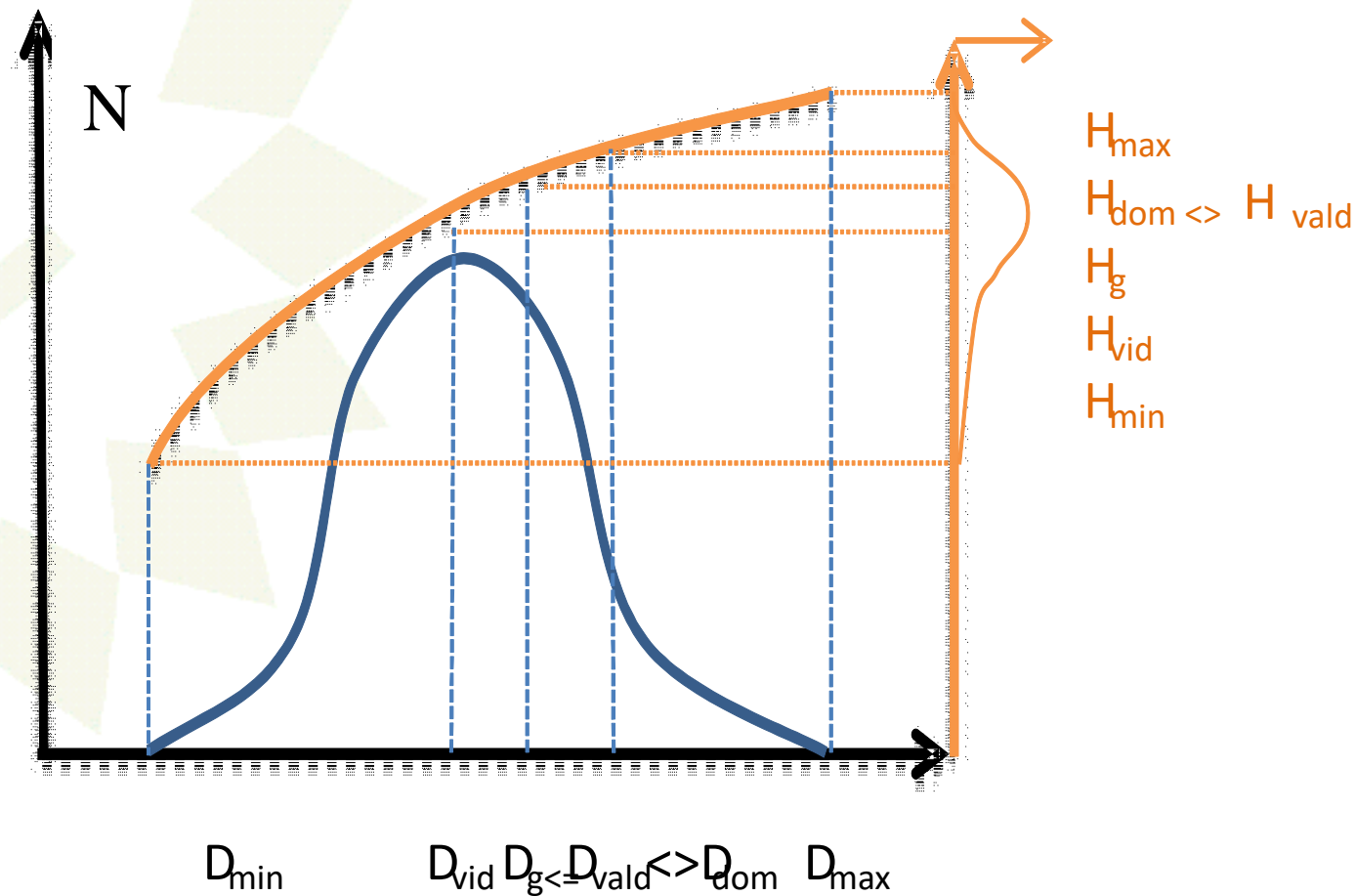
$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (1.17).$$

AIC, BIC

Von Gadow, Hui, 1999)

KOKAUDZES STĀVOKĻA MODEĻI

Sadalījuma (stāvvokļa) modeļi



Sadalījums pa caurmēra pakāpēm



- Kāpēc?
 - Sortimentu iznākums lielā mērā ir atkarīga no koku dimensijām, vidējās vērtības ne vienmēr ir pietiekamas.
 - Līdz šim modelēšanā izmantots R. Ozoliņa kvazinormālais sadalījums (no kreisās puses pārtraukts normālais sadalījums (Ozoliņš, 2002)
 - Koku skaita sadalījums virknē gadījumu ir asimetrisks
- Kas darīts!
 - No MSI PL datiem (500m²) izveidota matrica, atkarībā no valdošās sugas D un H.
 - 1.stāva valdošajai sugai aprēķināti caurmēru sadalījumu vērtības gradācijas klasēm - normālā, Veibula 2 parametru un 3 parametru, Džonsona SB teorētisko sadalījumu koeficientu vērtības
 - Pēc koku skaita caurmēra pakāpēs
 - Pēc koku šķērslaukuma caurmēra pakāpēs

Caurmēra sadalījuma modeļi



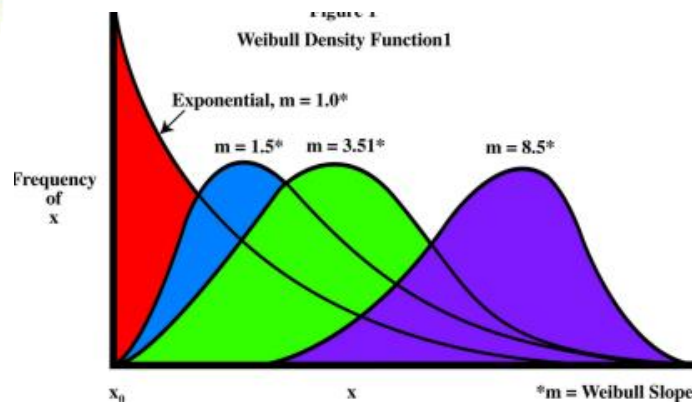
- Koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm
 - Normālais sadalījums
 - Šķībnormālais sadalījums
 - **Veibula sadalījums**
 - Džonsona SB sadalījums

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

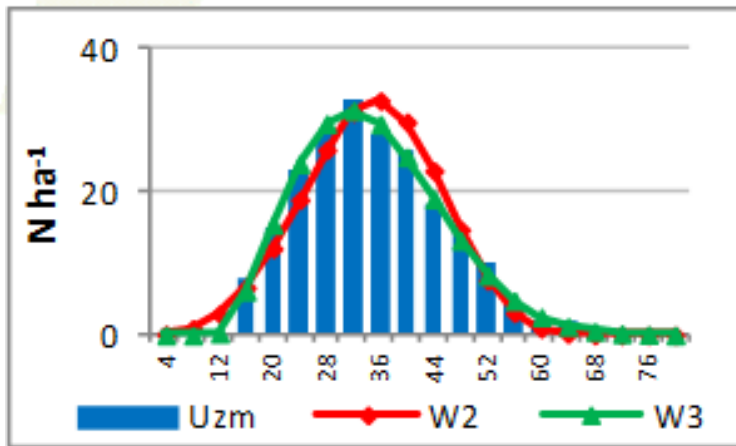
$$f(x) = \frac{2}{\omega} \phi\left(\frac{x-\xi}{\omega}\right) \Phi\left(\alpha\left(\frac{x-\xi}{\omega}\right)\right)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left[\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \right]$$

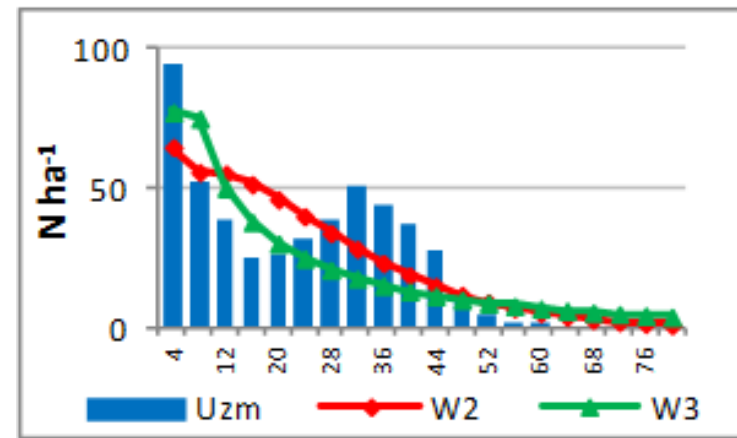
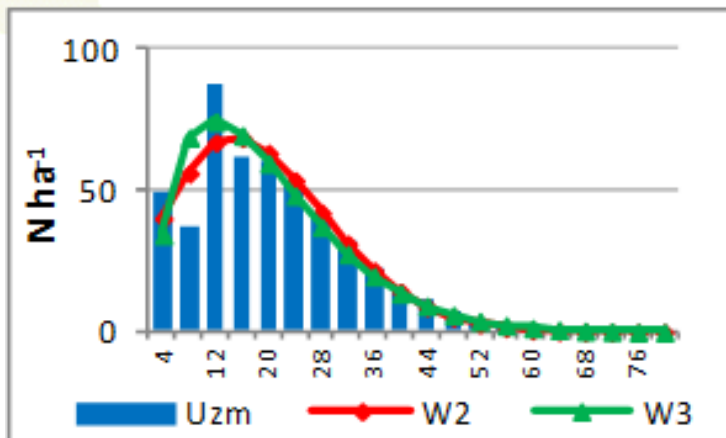
$$f(d) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(d-\xi)(\xi+\lambda-d)} \exp(0.5z^2)$$



Koku skaita sadalījuma aproximācija



1 suga, visi stāvi kopā



Augstuma sadalījuma modeļi



- Augstuma sadalījuma modeļu precizēšana

- **Stāvoklis** - sakarība starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un audzes virsaugstumu (stāvokļa raksturojums)

- Konkrētā augstumlīkne

- Polinoms
- Logaritmiskā funkcija
- Pakāpes funkcija $h=a_1 \cdot d^{b_1}$
- Pašreiz R.Ozoliņa augstumlīkne (vienādsānu hiperbola)
- **Petersena/Naslunda augstumlīkne**

$$h=a_1+a_2 \cdot d+a_3 \cdot d^2$$

$$h= a_1+a_2 \cdot \ln(d)$$

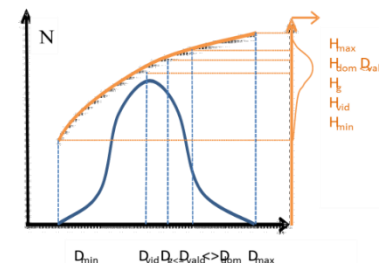
$$H = 1,3 + \frac{D}{K \cdot D + C}$$

$$h = \frac{d^\alpha}{(\beta_0 + \beta_1 d)^\alpha} + 1.3$$

- Vispārējā augstumlīkne

- **Gafreja vispārējā augstumlīkne**
- **Kuļiešis vispārējā augstumlīkne**

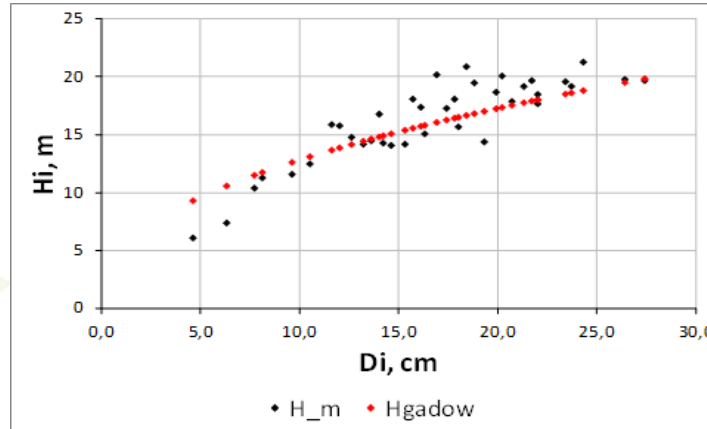
$$h = 1.3 + (h_m - 1.3) e^{[a_1(1-d_q/d) + a_2(1/d_q - 1/d)]}$$



Vispārējo augstumlīkņu aproksimācija

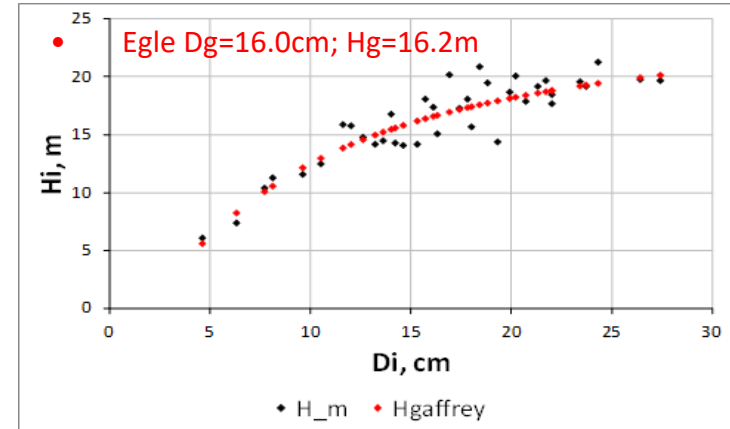


- Kāpēc?



- Kā?

- Izmantoti 15 tūkst. koku augstumu mērījumi (260 pētījumu objektos katram elementam vismaz 15 h mērījumi)
- Pārbaudītas 8 augstumlīkņu formulas t.sk. 4 vispārējās augstumlīknes



- Konstatēts, ka vidējā augstuma aprēķināšanai vispiemērotākā ir logaritmiskā funkcija, bet kā vispārēja augstumlīkne izmantojama Gaffrey augstumlīkne
- Aprēķināti šīs līknes koeficienti P, E, B, A, Ma, Ba, citiem lapu kokiem

$$H_i = 1.3 + (H_\tau - 1.3) e^{\left[a_1 \left(1 - \frac{D_g}{D_i} \right) + a_2 \left(\frac{1}{D_g} - \frac{1}{D_i} \right) \right]}$$

LVMĪ SILAVA modeļi - Augstums

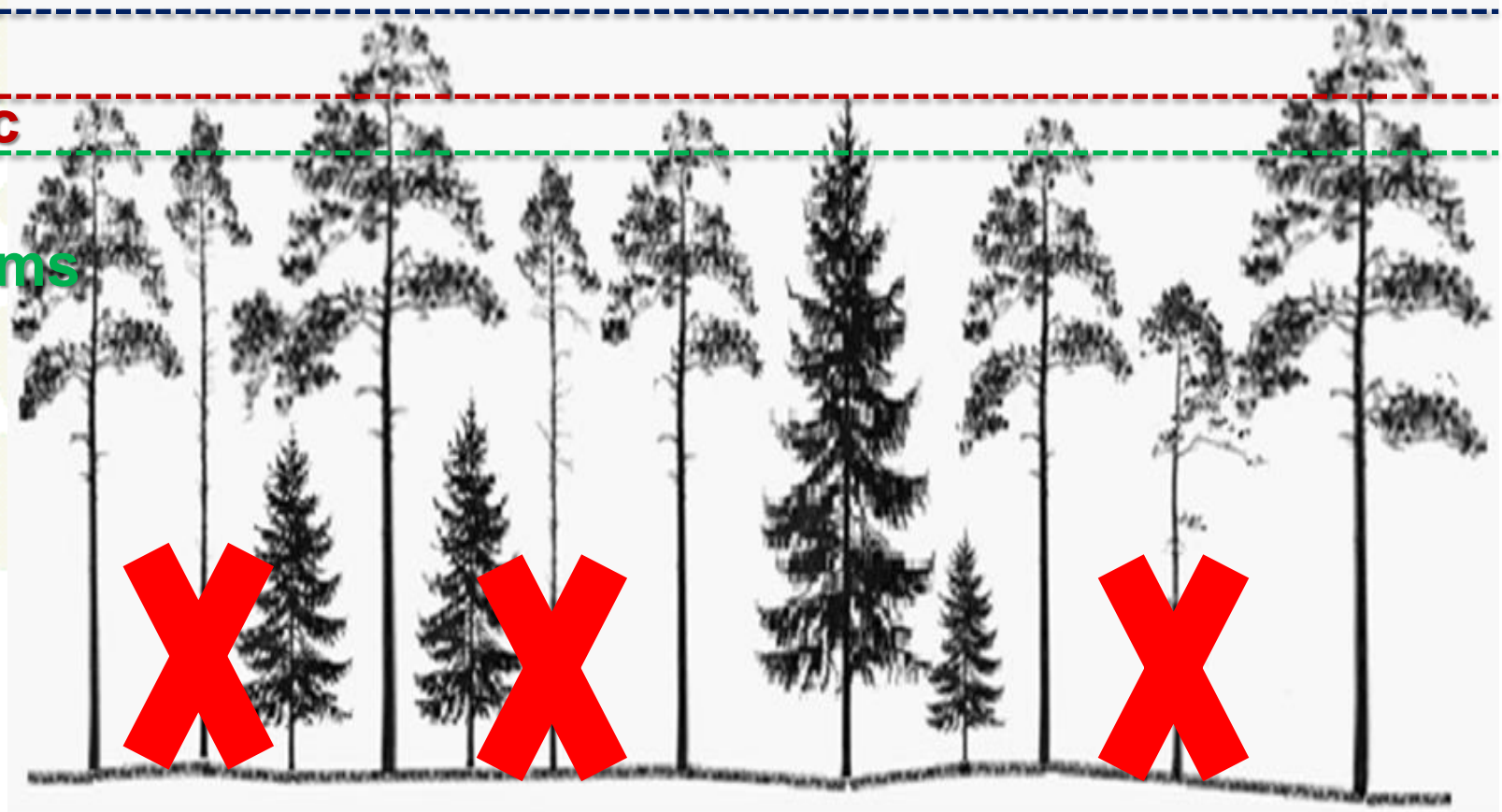


Hdom pirms = H dom

pēc

Hg pēc

Hg pirms



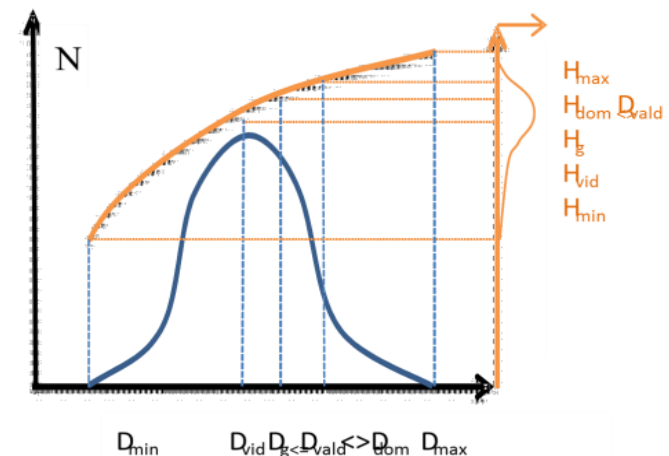
Dažādu augstumu saistību modeļu precizēšana



- sakarība starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un audzes virsaugstumu (stāvokļa raksturojums)
 - Aprēķina sakarības starp d un h (augstumlīkne)
 - H_{dom} jeb 100 lielāko uz ha koku vidējais augstums
 - Valdaudzes koku augstums pēc augstumlīknes ($0.8H_{max} <$)

$$H_g = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \quad \text{jeb} \quad H_{dom} = \left(\frac{H_g}{a_1 N^{a_3}} \right)^{\frac{1}{a_2}}$$

$$H_{vald} = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \quad \text{jeb} \quad H_{dom} = \left(\frac{H_{vald}}{a_1 N^{a_3}} \right)^{\frac{1}{a_2}}$$



LVMI SILAVA modeļi – Hg vs Hdom



J. Matuzānis 1983

$$H_g = b_0 + b_1 \cdot H_{dom} + b_2 \cdot H_{dom}^2 + b_3 \cdot H_{100}$$

$$H_g = b_0 + b_1 \cdot H_{dom} + b_2 \cdot H_{dom}^2$$

Donis et al. 2015.

$$H_g = b_1 H_{dom}^{b_2} N^{b_3} \quad \text{jeb} \quad H_{dom} = \left(\frac{H_g}{b_1 N^{b_3}} \right)^{\frac{1}{b_2}}$$

LVMI SILAVA modeļi – Hg vs Hdom



Vidējais augstums (Hg) atkarībā no virsaugstuma (Hdom) un koku skaita (N) *Donis et al. 2015*

| N | Hdom | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 |
| 250 | 2.7 | 5.5 | 8.4 | 11.3 | 14.2 | 17.2 | 20.1 | 23.1 | 26.0 | 29.0 | 32.0 | 35.0 |
| 500 | 2.6 | 5.4 | 8.2 | 11.0 | 13.8 | 16.7 | 19.6 | 22.5 | 25.3 | 28.2 | 31.1 | 34.1 |
| 1000 | 2.6 | 5.3 | 8.0 | 10.7 | 13.5 | 16.3 | 19.0 | 21.8 | 24.7 | 27.5 | | |
| 2000 | 2.5 | 5.1 | 7.8 | 10.4 | 13.1 | 15.8 | 18.5 | 21.3 | 24.0 | | | |
| 3000 | 2.5 | 5.0 | 7.6 | 10.3 | 12.9 | 15.6 | 18.2 | 20.9 | | | | |
| 4000 | 2.4 | 5.0 | 7.5 | 10.1 | 12.8 | 15.4 | 18.0 | | | | | |
| 5000 | 2.4 | 4.9 | 7.5 | 10.1 | 12.6 | 15.3 | | | | | | |
| 10000 | 2.4 | 4.8 | 7.3 | 9.8 | 12.3 | | | | | | | |
| 20000 | 2.3 | 4.7 | 7.1 | 9.5 | | | | | | | | |

LVMI SILAVA modeļi – Hg vs Hdom



Vidējais augstums (Hg) atkarībā no virsaugstuma (Hdom) un koku skaita (N) statistiskie rādītāji *Donis et al. 2015*

| Suga | MRES | AMRES | RMSE | MSE | R | N | Ierobežojumi |
|-------------|-------|-------|------|------|-------|------|------------------|
| Priede | 0.03 | 0.45 | 0.59 | 0.35 | 0.996 | 2359 | Hdom = 3...39 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |
| Egle | 0.04 | 0.52 | 0.70 | 0.49 | 0.993 | 1374 | Hdom = 3...39 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |
| Bērzs | -0.02 | 0.56 | 0.75 | 0.57 | 0.993 | 1906 | Hdom = 3...39 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |
| Melnalksnis | -0.01 | 0.45 | 0.64 | 0.41 | 0.990 | 384 | Hdom = 3...36 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |
| Apse | 0.01 | 0.48 | 0.66 | 0.43 | 0.997 | 290 | Hdom = 3...39 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |
| Baltalksnis | -0.01 | 0.61 | 0.87 | 0.76 | 0.982 | 423 | Hdom = 3...27 |
| | | | | | | | N = 120...10 000 |



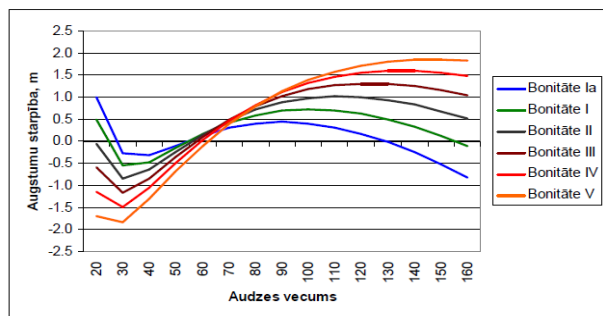
VIETAS BONITĀTE

Vietas kvalitātes novērtēšana

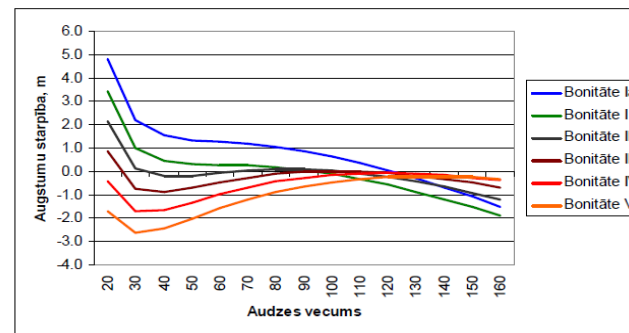


- Bonitātes Orlova (1911) koriģēts 1931 (pēc vecuma un vidējā augstuma)
 - Sēklaudži
 - Atvasāji
 - Vienota sistēma visai Krievijas impērijai/PSRS
 - LV lieto kopš 1986. gada.
 - ātraudzīgajām sugām kopš 2013.g.
- Bonitātes pēc normālu audžu augšanas gaitas tabulām 1924.g.
 - P,E,B,A,M (Ba)
 - kombinēts no Prūsijas un Sanktpēterburgas guberņas (Krievija) datiem (19.gs. dati)

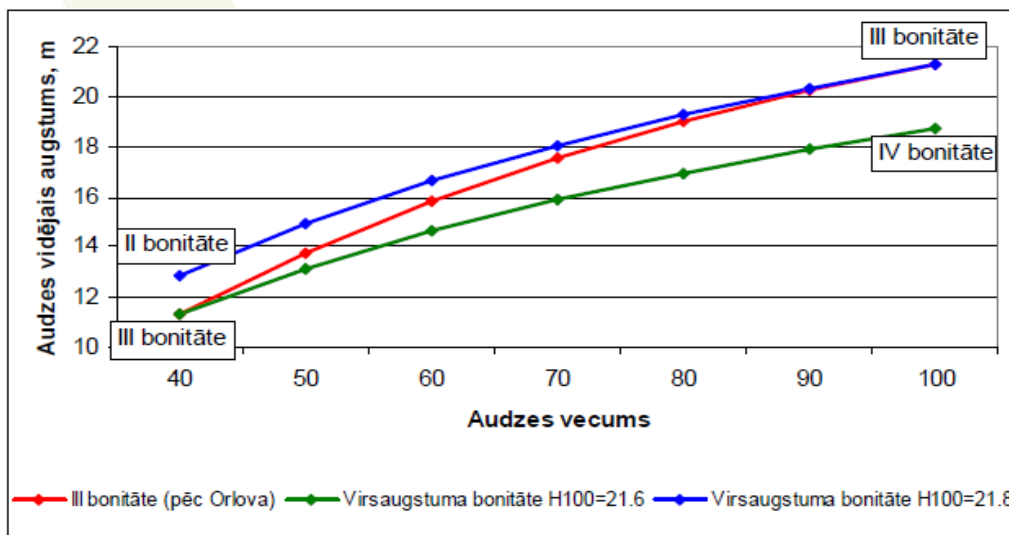
“Orlova bonitāte” vs virsaugstuma bonitāte (Matuzānis 1986)



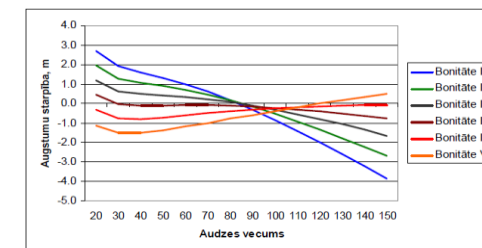
1.1.9.att. Priežu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un vidējo augstumu aprēķinātu no Hdom pēc H100 virsaugstuma bonitātes



1.1.12.att. Egļu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un vidējo augstumu aprēķinātu no Hdom pēc H100 virsaugstuma bonitātes

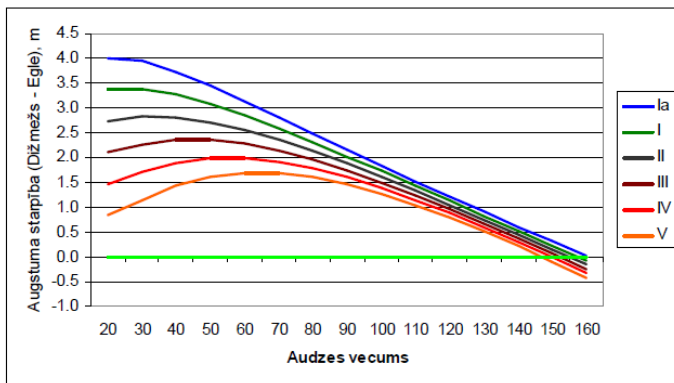


1.1.10.att. III bonitātes pēc Orlova bonitāšu skalas un virsaugstuma bonitātes H22 sakarība

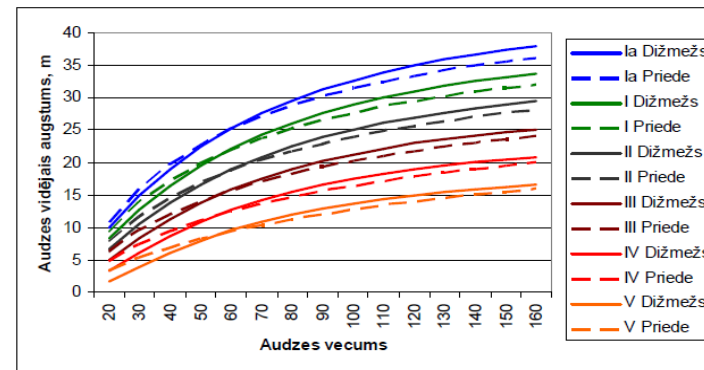


1.1.14. Bērzu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un vidējo augstumu aprēķinātu no Hdom pēc H100 virsaugstuma bonitātes

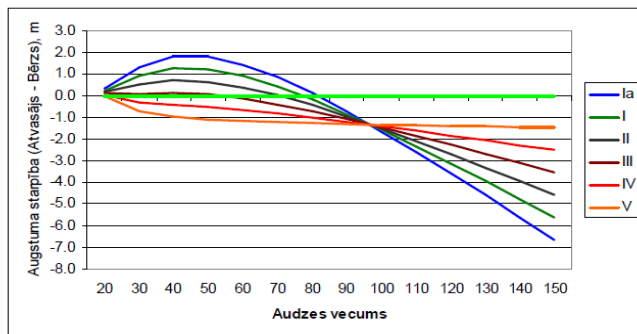
Orlova bonitāte" vs 1924. pagaidu augšanas gaitas tabulas (J. Bisenieka aproksimācija, 1988)



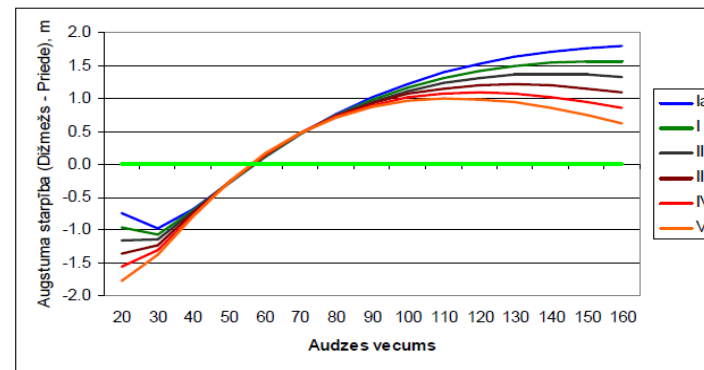
1.1.5. att. Egļu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un 1924. gada pagaidu augšanas gaitas tabulu aproksimāciju pa bonitātēm atkarībā no vecuma



1.2. att. Priežu audzes vidējie augstumi pa bonitātēm atkarībā no vecuma - Orlova skalas aproksimācija; Priede - 1924. gada papildināto pagaidu augšanas gaitas tabulu aproksimācija.



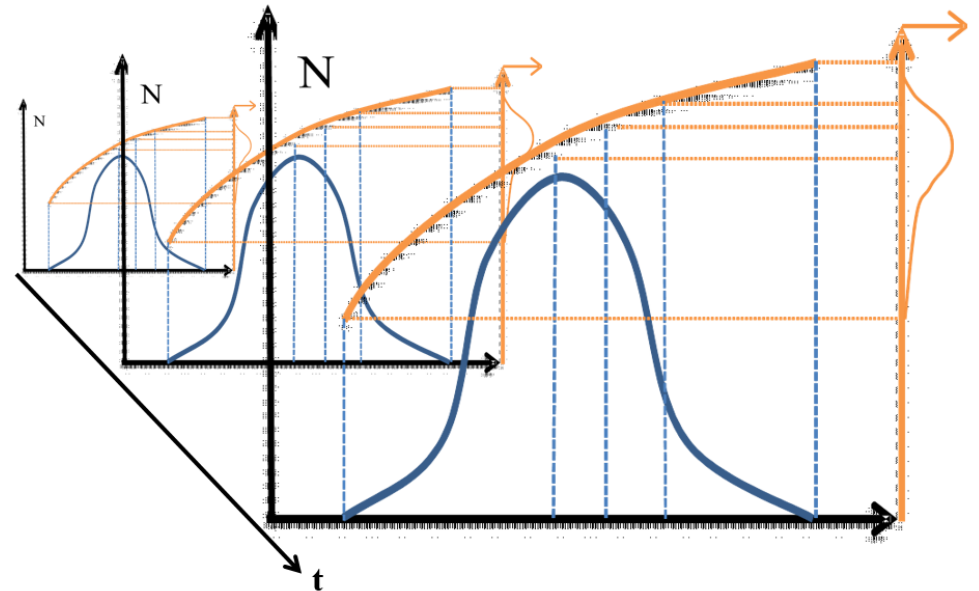
1.1.7. att. Bērzu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un 1924. gada pagaidu augšanas gaitas tabulu aproksimāciju pa bonitātēm atkarībā no vecuma



1.3. att. Priežu audzes vidējo augstumu starpība starp Orlova bonitāšu skalas aproksimāciju un 1924. gada pagaidu augšanas gaitas tabulu aproksimāciju pa bonitātēm atkarībā no vecuma

KOKAUDZES IZMAINU MODEĻI

Augšanas gaitas modeļu vispārīgie principi



Mežaudžu augšanas gaitas modelēšanas skolas Latvijā



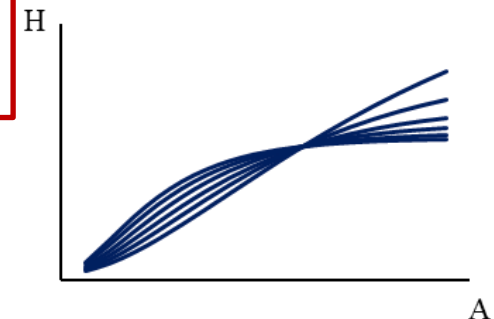
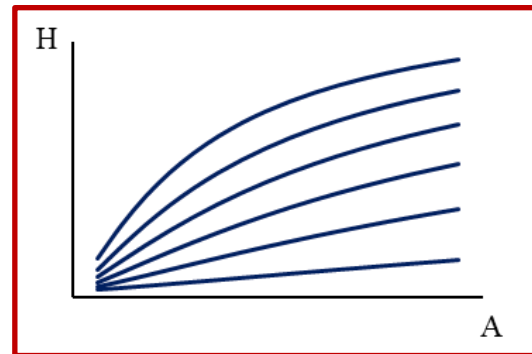
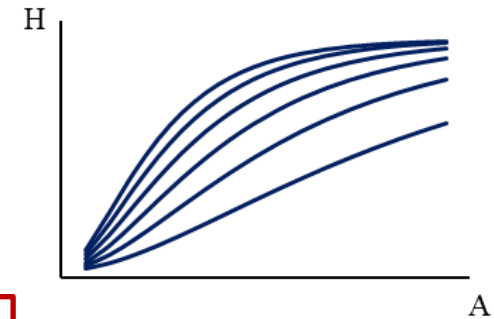
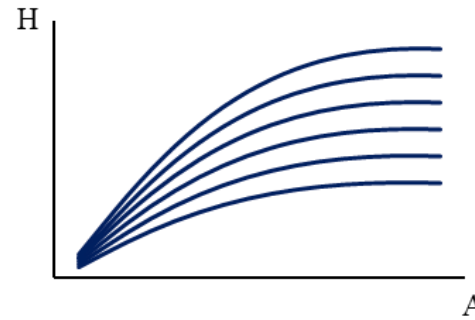
- **Nav izstrādāta vienota, vispāratzīta mežaudžu augšanas gaitas teorija**
- R.Sacenieks, J.Matuzānis, J.Bisenieks (Asmaņa krājas līmeņa teorija un dab., opt., krit. šķērslaukuma teorija)
 - Virsaugstuma bonitātes **priedei** (Matuzānis, Tauriņš, 1973, Ģērķis, 1976, **eglei** (Matuzānis, Tauriņš, 1970, Bisenieks, 1974), **bērzam** (Tauriņš, 1968) un **apsei** (Rubenis, 1979)
 - Optimālu audžu augšanas gaitas modeļi (P, E, B)
 - Papildinātie norādījumi par kopšanas cirtēm Latvijas PSR mežos (1985)
 - **Audžu taksācijas rādītāju aktualizācijas modeļi (1983)**
- Prof. P.Zālītis, J.Jansons (Eihorna teorija)
 - **Mērķtiecīgi izveidotu kokaudžu augšanas gaitas modeļi**
- Prof. I.Liepa (diferenciālvienādojumu teorija un audzes reakcijas novērtēšanas teorija)
 - Pieaugumu mācība (**stumbra tilpumi**, audžu krājas, veidaugstumi, **pieaugumi**)
- Prof. R.Ozoliņš, D.Dubrovskis
 - **Stumbra veidules, stumbru tilpumi, koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm (2002)**

Augšanas gaitas modeļu forma



Augšanas gaitas modeļus atkarībā no formas:

- A. anamorfiskas līknes,
- B. vienotās polimorfiskas līknes ar vienu asimptotu,
- C. vienotās polimorfiskas līknes ar dažādām asimptotām,
- D. dalītas polimorfiskas līknes ar dažādām asimptotām.

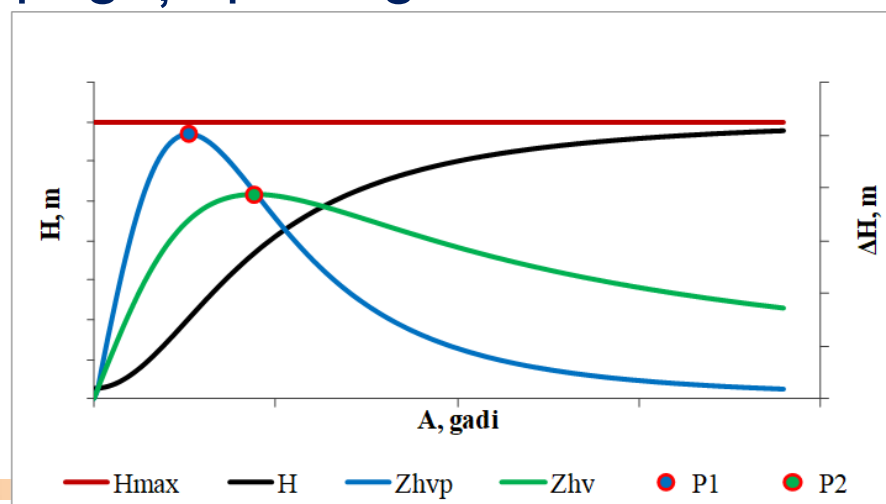


Augšanas gaitas modeļu kritēriji



Nozīmīgākie augšanas gaitas modeļu kritēriji (Liepa, 1996):

- augšanas gaitas modelim jānodrošina vēlamā precizitāte (tā ir atkarīga no taksācijas vienības, prognozes perioda garuma u.c.);
- augšanas gaitas modelim jāraksturo koku sugas bioloģiskās īpašības;
- augšanas gaitas modelim jānodrošina objektivitāte;
- augšanas gaitas modelim jāatspoguļo pieauguma struktūra un dinamika;



Augšanas gaitas modeļu kritēriji



Nozīmīgākie augšanas gaitas modeļu kritēriji (Liepa, 1996):

- augšanas gaitas modelim jāatspoguļo dažādu taksācijas rādītāju savstarpēja atkarība;
- augšanas gaitas modelim jānodrošina adekvātums un dažādu autoru datu salīdzināmība;
- augšanas gaitas modelim jābūt ērtam un pēc iespējas vienkārši un ātri lietojamam.

Augšanas gaitas ietekmējošie faktori



- koku sugas bioloģiskās īpašības;
- mežaudzes vai atsevišķu koku izcelsme;
- mežaudzes un atsevišķu koki fizioloģiskais stāvoklis;
- atsevišķu koku, mežaudzes vai tās daļu (mistrotās audzēs) vecums;
- augšanas vieta;

(visu abiotisko faktoru kopums, kas sevī ietver gan klimatiskos faktorus (gaisma, aktīvās veģetācijas temperatūra, ūdens u.c.), gan edafiskos faktorus (augšnes trūdvielu saturs, augšnes fizikālās un ķīmiskās īpašības u.c.), gan ortogrāfiskos faktorus (nogāzes slīpums, ekspozīcija, augstums virs jūras līmeņa u.c.), gan visu šo faktoru savstarpējo mijiedarbību)

- mežsaimnieciskā darbība

(augšnes sagatavošana, dažādas kopšanas cirtes, augošu koku atzarošana, meža mēslošana, hidrotehniskā meliorācija u.c.)

Augšanas gaitas modeļu iedalījums (3)



Modeļu iedalījums pēc uzdevuma:

- prognožu modeļi;
- izpratnes jeb procesu modeļi;
- **hibrīdie modeļi.**

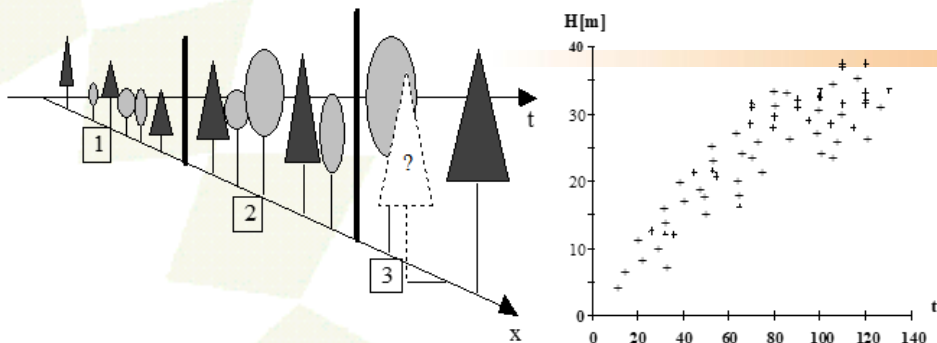
Modeļu iedalījums pēc veida:

- deterministiskie modeļi
- stohastiskie modeļi

Šobrīd pasaulē aktuāli:

atsevišķu koku – distances atkarīgie – hibrīdie modeļi

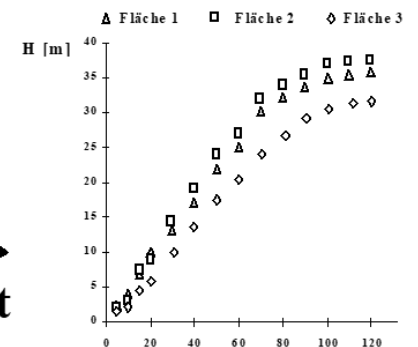
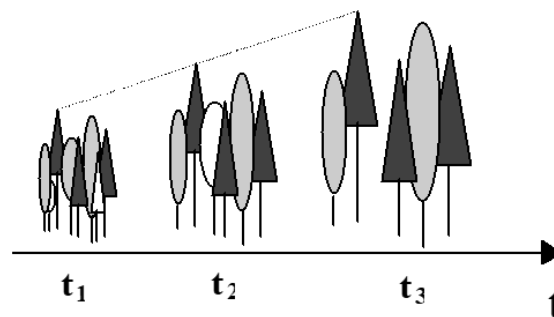
Augšanas gaitas modeļos izmantotie dati



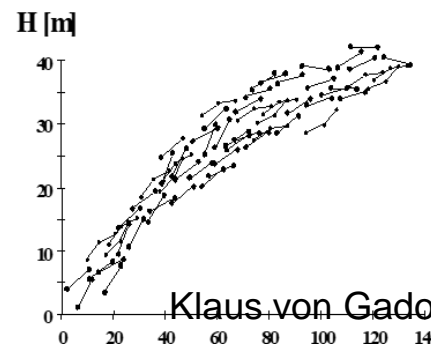
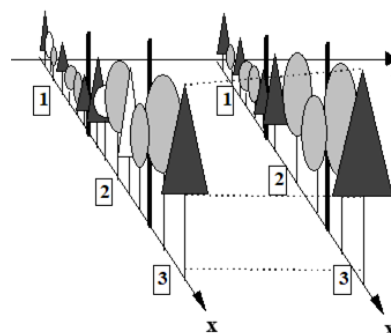
Laika aizvietošana telpā

vienreiz uzņēmītie parauglaukumi

Laika skala
ilglaicīgie parauglaukumi



intervāla parauglaukumi

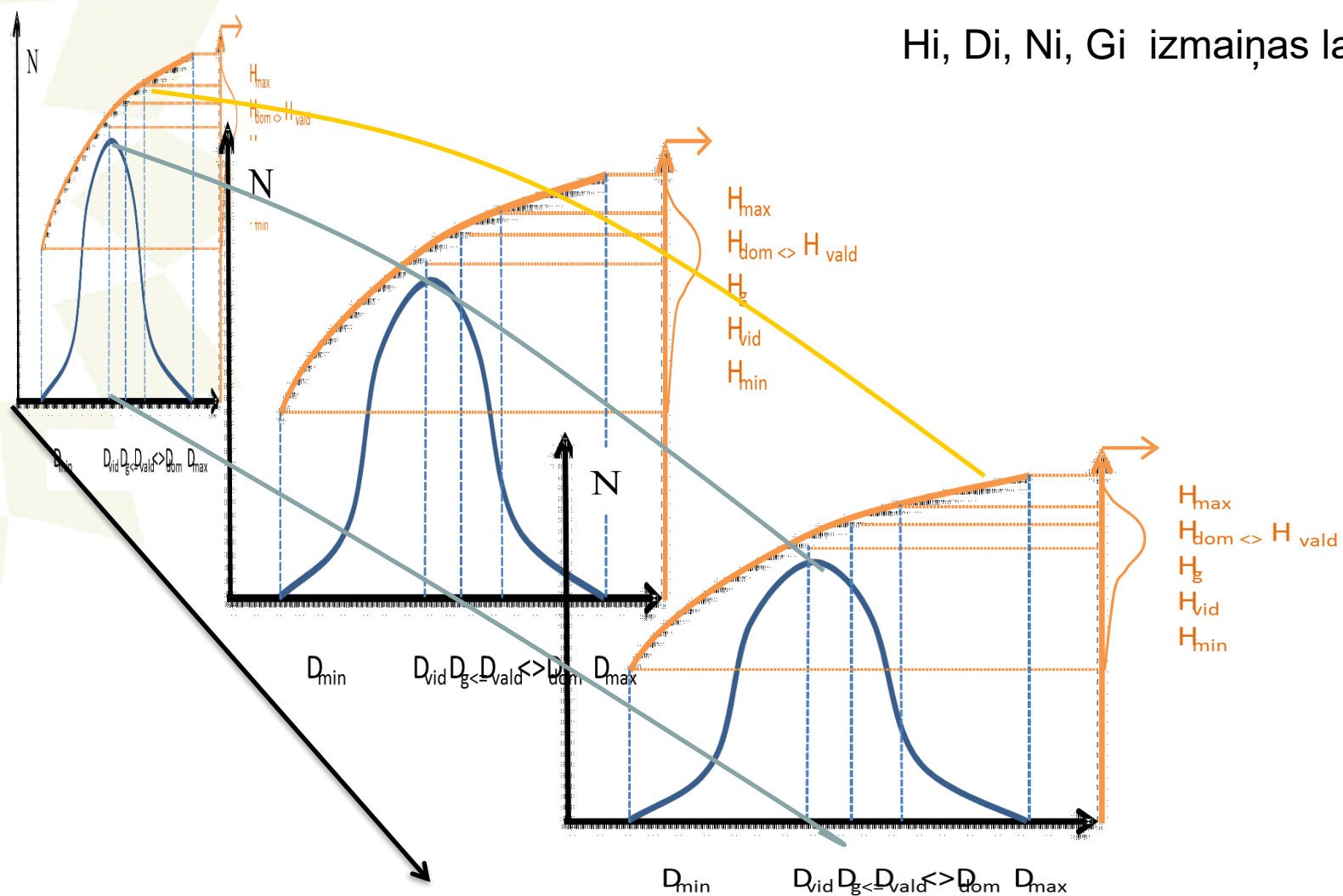


Klaus von Gadow

Augšanas gaitas modelēšana



Hi, Di, Ni, Gi izmaiņas laikā



LVTI SILAVA modeļi - Augstums



Izstrādāti

- Hg un Hdom modeļi – GADA (vispārinātās algebriskās differences pieeja) modeļi (2068 meža elementi):
 - Chapman-Richards
 - **Hossfeld IV**
- vienādojumi Hg vs Hdom (6736 meža elementi)

Kas labāks Hg vai Hdom?

Hg – audzes krājas aprēķināšanai

Hdom – audzes augšanas gaitas raksturošanai, vietas / audzes ražības raksturošanai

LVMI SILAVA modeļi - Augstums



Hossfeld IV (King-Prodan)

- Bāzes modelis

$$H = 1.3 + \frac{A^{a_1}}{a_2 + a_3 \cdot A^{a_1}}$$

- Vietas parametrs

$$a_2 = b_2 + b_3 \cdot \chi$$

$$a_3 = \chi$$

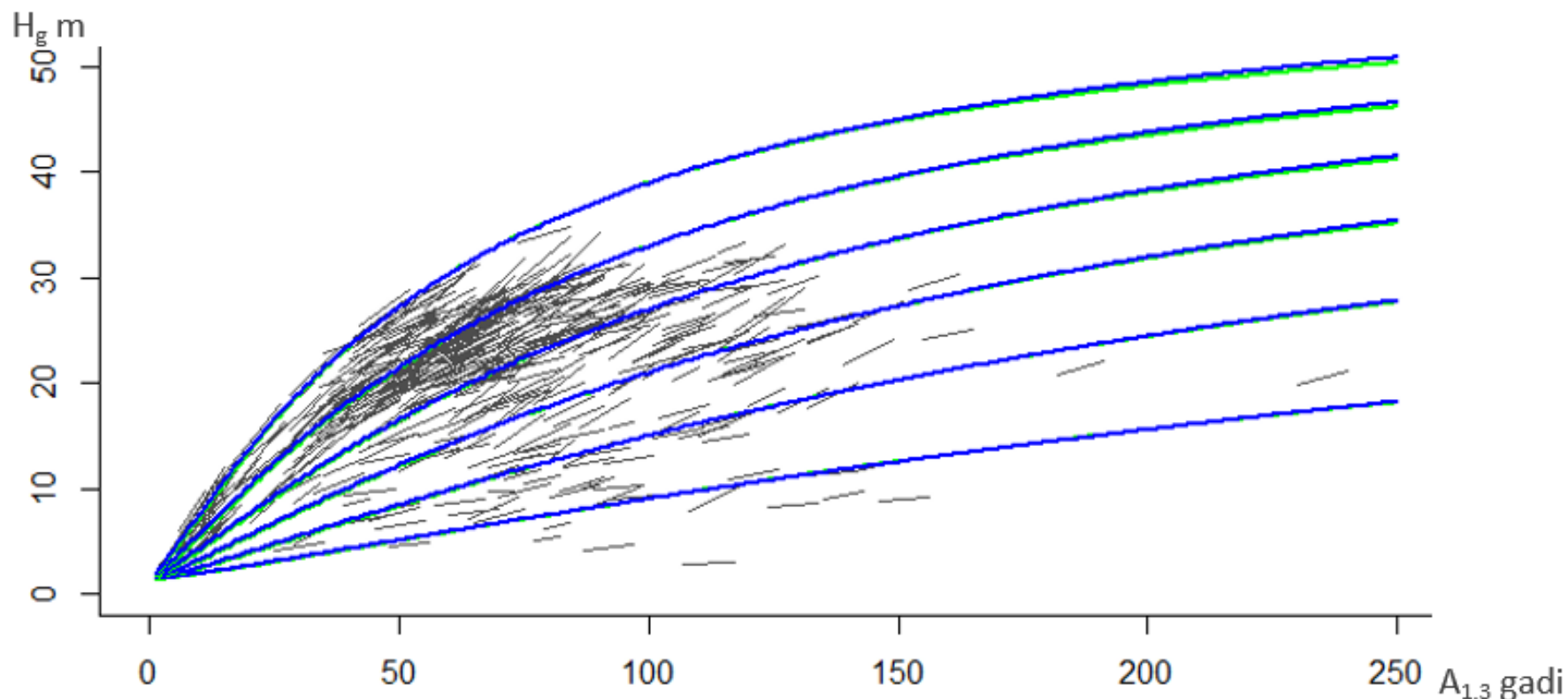
- Teorētiskās vērtības χ modelis

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

- GADA modelis (*Krumland & Eng, 2005*)

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

LVMI SILAVA modeļi - Hg



2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).

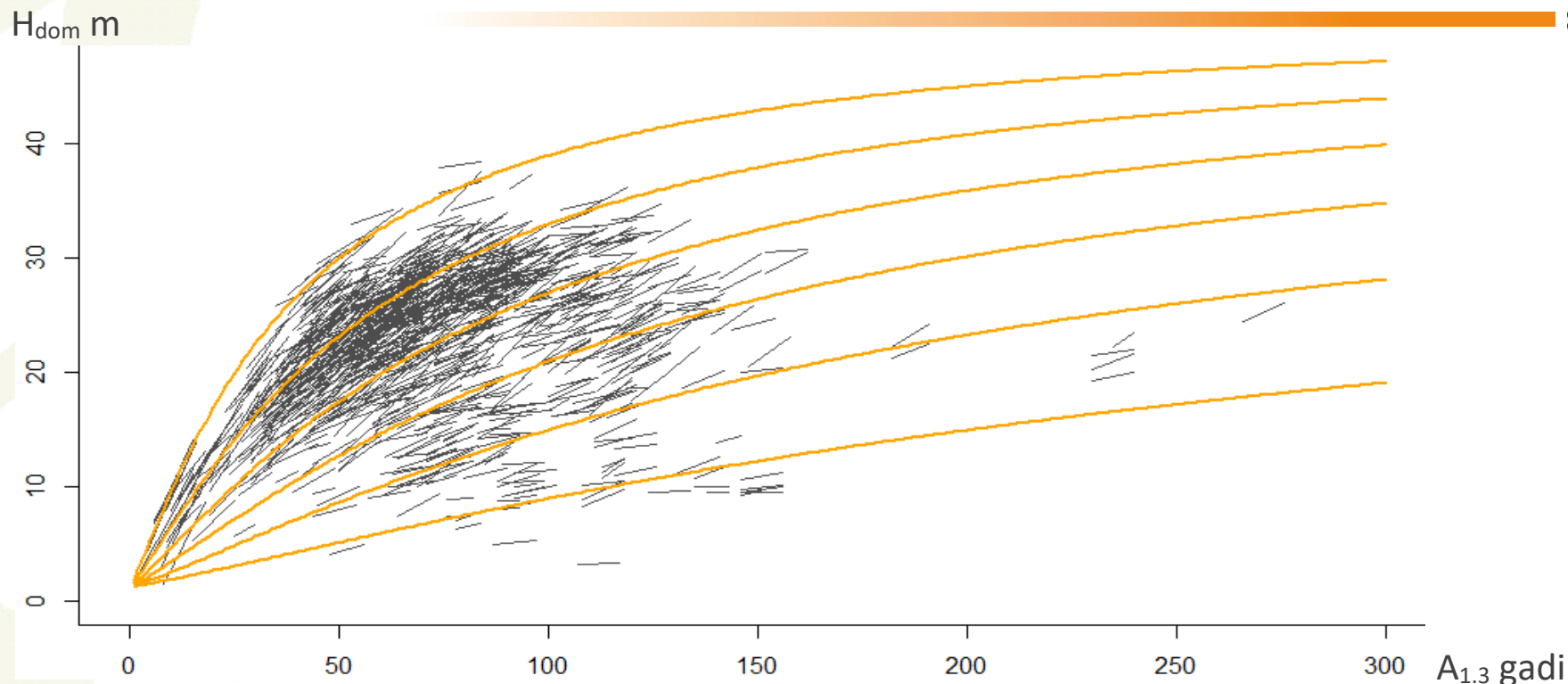
Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

LVMI SILAVA modeli - Hg



| Suga | Vid | MRES | MRES % | A MRES | RMSE | RMSE % | R | N | AIC |
|-----------|------|------|--------|--------|------|--------|-------|-----|-------|
| P | 0.25 | 0.01 | 4.57 | 0.08 | 0.10 | 40.11 | 0.708 | 482 | -2208 |
| E | 0.33 | 0.02 | 5.66 | 0.10 | 0.12 | 38.00 | 0.647 | 373 | -1550 |
| B | 0.36 | 0.02 | 4.47 | 0.12 | 0.16 | 43.98 | 0.702 | 543 | -1994 |
| M | 0.36 | 0.02 | 4.99 | 0.11 | 0.14 | 37.95 | 0.672 | 119 | -470 |
| A | 0.57 | 0.01 | 2.02 | 0.16 | 0.21 | 36.41 | 0.707 | 104 | -326 |
| Ba | 0.43 | 0.02 | 4.82 | 0.13 | 0.16 | 38.11 | 0.694 | 108 | -388 |

LVMI SILAVA modeļi - H_{dom}



2.8. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).

LVMI SILAVA modeli - Hdom



| Suga | Vid | MRES | MRES % | A MRES | RMSE | RMSE % | R | N | AIC |
|-----------|------|------|--------|--------|------|--------|-------|------|-------|
| P | 0.20 | 0.00 | 0.58 | 0.08 | 0.09 | 46.39 | 0.639 | 1472 | -6932 |
| E | 0.33 | 0.02 | 5.82 | 0.10 | 0.13 | 38.31 | 0.701 | 844 | -3493 |
| B | 0.30 | 0.00 | -0.75 | 0.12 | 0.15 | 50.60 | 0.636 | 944 | -3544 |
| M | 0.29 | 0.00 | -0.31 | 0.09 | 0.11 | 38.65 | 0.776 | 162 | -702 |
| A | 0.34 | 0.01 | 2.64 | 0.14 | 0.17 | 49.38 | 0.664 | 261 | -929 |
| Ba | 0.38 | 0.02 | 5.59 | 0.14 | 0.17 | 45.53 | 0.590 | 89 | -309 |

LVMĪ SILAVA modeļi - Caurmērs



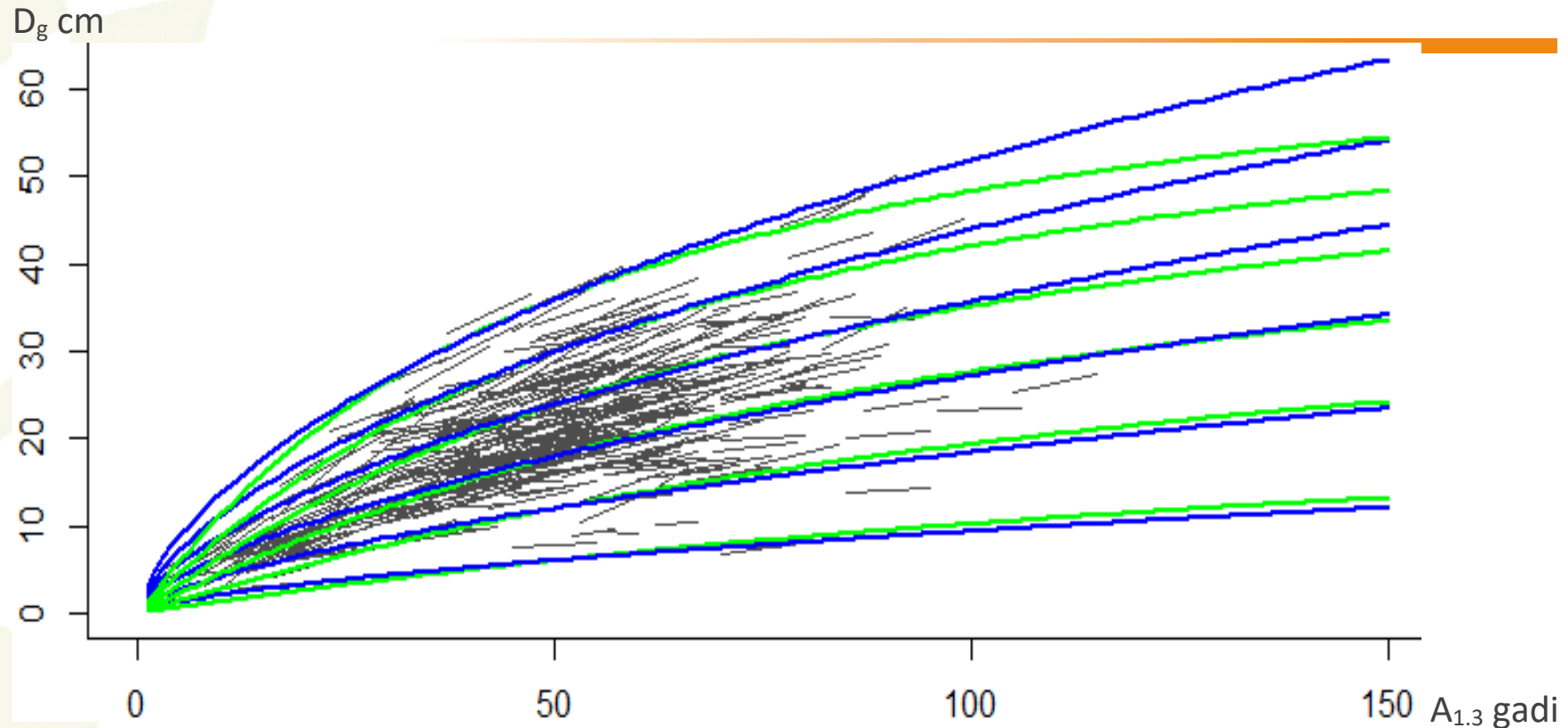
$$D_2 = 1.3 + \frac{A_2^{\alpha_1}}{\alpha_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} + 100 \cdot \alpha_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{\alpha_1}}$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{\alpha_1}}{D_1 - 1.3} - \alpha_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}}}{100 \cdot \alpha_3 + A_1^{\alpha_1}}$$

$$N_{max} = \sum ip_i \cdot n_{max\ i} \quad n_{max} = \beta_1 \cdot D_1^{\beta_2} \cdot H_1^{\beta_3}$$

- D_2 —meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm;
- D_1 —meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm;
- A_1 —meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;
- A_2 —meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;
- N_1 —kokaudzes 1. stāva koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha^{-1} ;
- N_{max} —kokaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha^{-1} ;
- n_{max} —atsevišķa 1. stāva meža elementa maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha^{-1} ;
- ip —atsevišķa 1. stāva meža elementa īpatsvars;
- H_1 —meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;
- α_1 – α_3 ; β_1 – β_3 —koeficienti.

LVMI SILAVA modeļi - Caurmērs



2.16. attēls. Bērza uzņēmās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 6; 12; 18; 24; 36$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

LVMI SILAVA modeļi - Caurmērs



| Suga | Vid | MRES | MRES % | A MRES | RMSE | RMSE % | R | N | AIC |
|-----------|------|------|--------|--------|------|--------|-------|-----|-------|
| P | 0.28 | 0.02 | 7.37 | 0.10 | 0.13 | 47.81 | 0.538 | 447 | -1792 |
| E | 0.35 | 0.03 | 8.86 | 0.12 | 0.15 | 43.65 | 0.456 | 323 | -1203 |
| B | 0.29 | 0.03 | 10.69 | 0.12 | 0.16 | 54.38 | 0.405 | 441 | -1617 |
| M | 0.28 | 0.01 | 2.78 | 0.09 | 0.13 | 45.21 | 0.397 | 112 | -461 |
| A | 0.55 | 0.02 | 3.68 | 0.17 | 0.24 | 42.38 | 0.057 | 79 | -227 |
| Ba | 0.31 | 0.02 | 6.29 | 0.10 | 0.13 | 40.25 | 0.480 | 77 | -317 |

LVMI SILAVA modeļi - Šķērslaukums



$$G_2 = G_1 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} + \alpha_4 \cdot \frac{G_1}{A_1} + \alpha_5 \cdot \frac{GL}{A_1} + \alpha_6 \cdot \frac{SI}{A_1} \right) (A_2 - A_1)$$

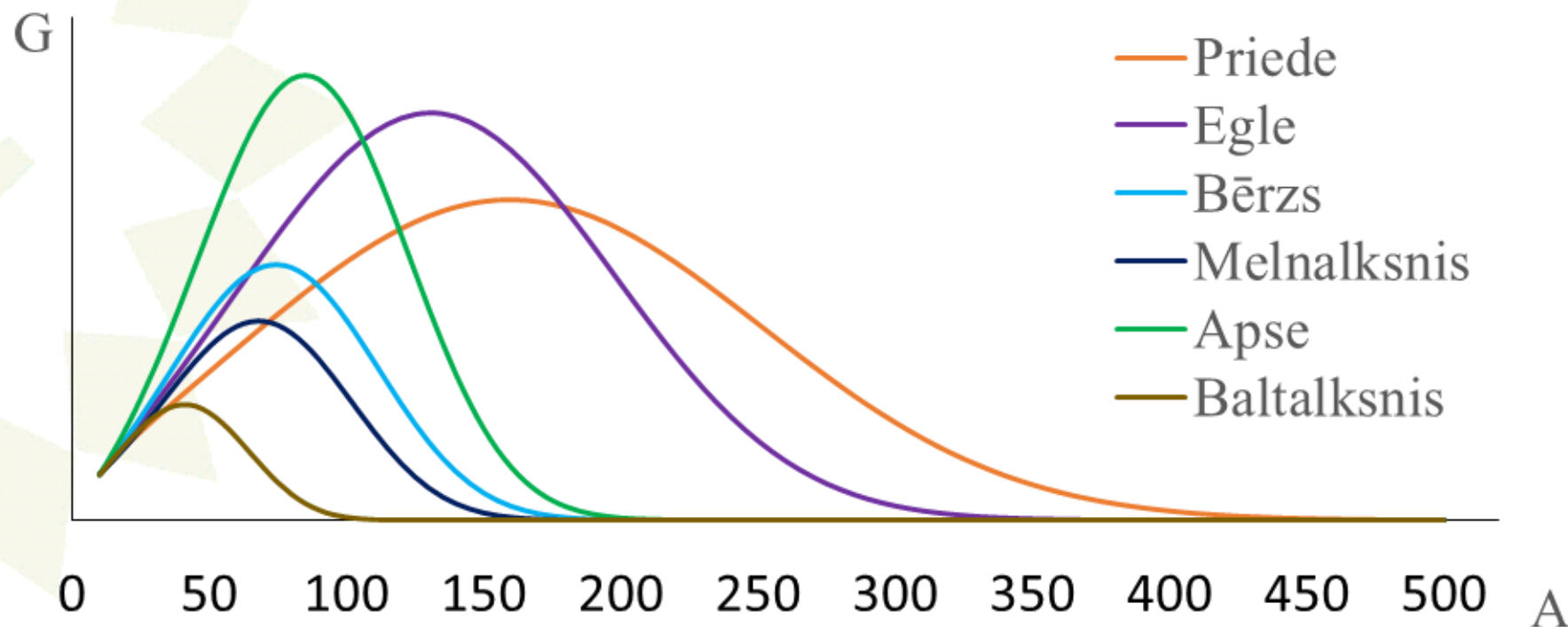
$$G_2 = G_1 + G_1 \cdot \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} \right) (A_2 - A_1)$$

- G_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m^2ha^{-1} ;
- G_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, m^2ha^{-1} ;
- A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
- A_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
- GL – šķērslaukuma summa perioda sākumā meža elementiem, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu (ja 1. stāva meža elements, tad 1. stāva šķērslaukums, ja 2. stāva meža elements, tad 1. un 2. stāva šķērslaukuma summa), m^2ha^{-1} ;
- SI – pēc 1. formulas prognozētais vidējais augstums krūšaugstuma bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi), m;
- α_{1-6} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

LVMI SILAVA modeļi - Šķērslaukums



$$G_2 = G_1 + G_1 \cdot \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} \right) (A_2 - A_1)^\alpha$$

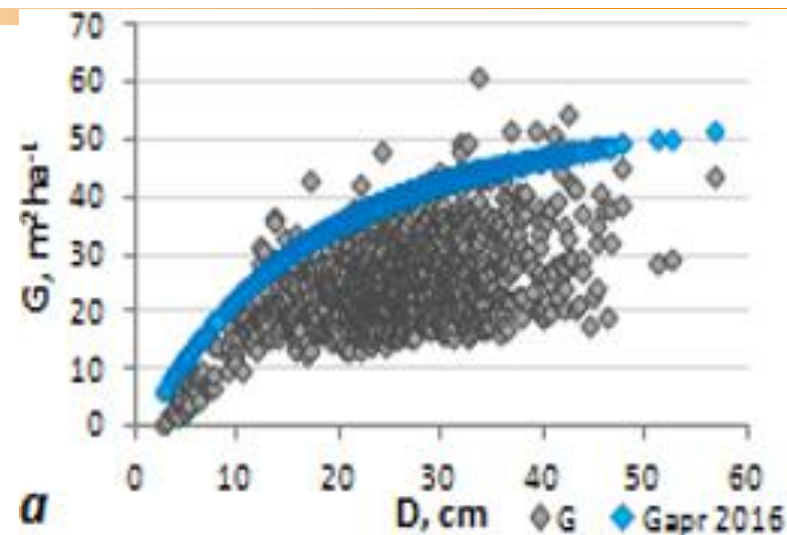


LVMI SILAVA modeļi - Šķērslaukums



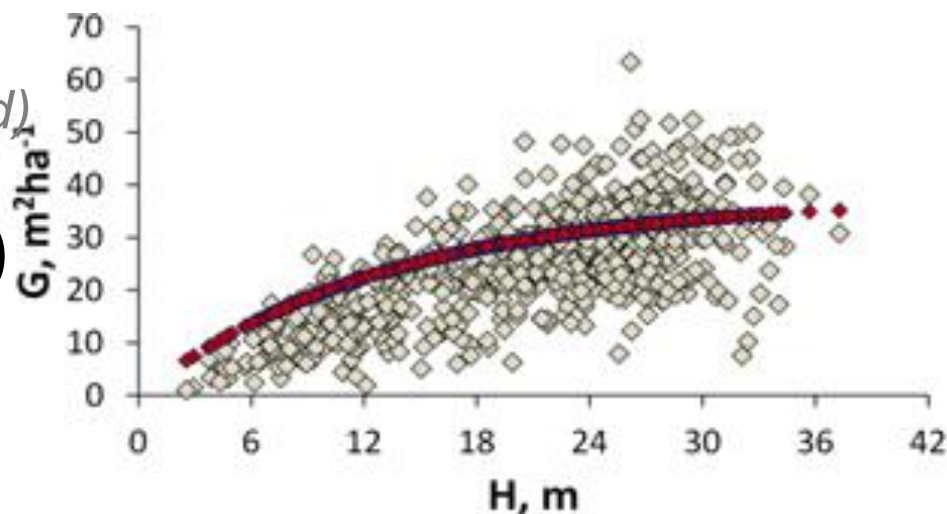
Koptām audzēm ($G_{max} = G_{vid} + 2s$)

$$G_{max} = \frac{\alpha_1}{1 + \left(\frac{D}{\alpha_2}\right)^{\alpha_3}}$$



Nekoptām audzēm ($G_{max} = G_{med}$)

$$G_{max} = \alpha_1 \cdot (1 - \exp(-\alpha_2 \cdot H))$$





KOKAUDZES ATBILDES REAKCIJAS MODEĻI

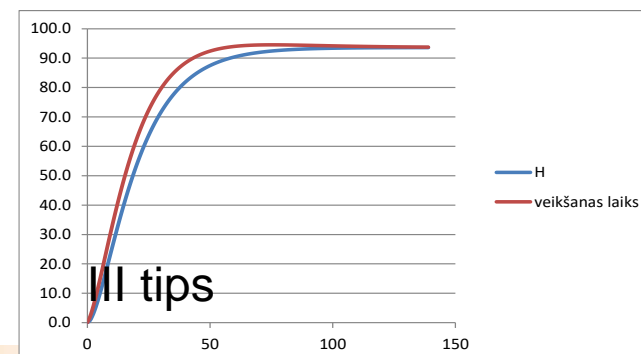
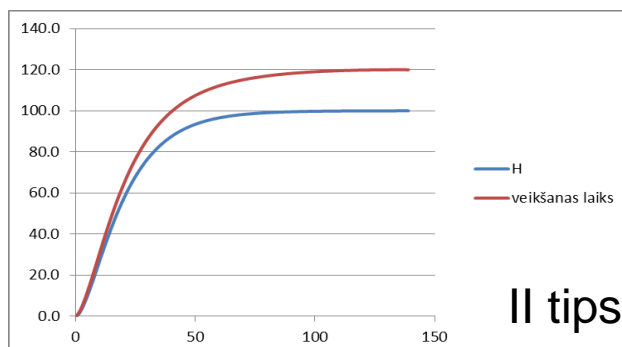
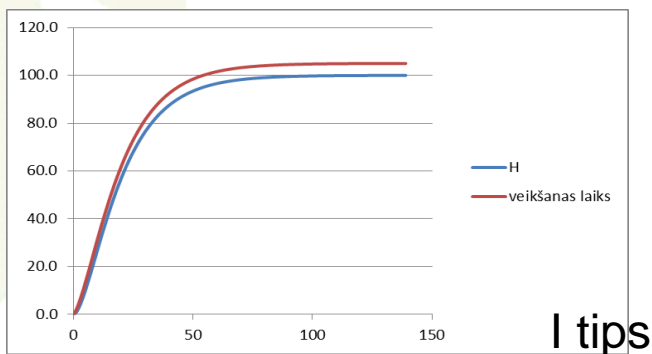
Mežsaimniecisko pasākumu un dabisko traucējumu ietekme uz pieaugumu



• Atbildes reakcijas veidi:

- Nekavējošās parametru maiņa pēc saimnieciskās darbības
 - $D_{g(\text{pēc cirtes})} = (40000 * (G_{kop} - G_{kop} * rG) / (3.14159 * (N_{kop} - N_{kop} * rG * NG_{attiec})))^{0.5}$
- Īslaicīgas izmaiņas bez nozīmīgas «vietas produktivitātes maiņas (**I tips**), tālākā attīstība atbilstoši normālajam trendam (kopšana)
- Vietas produktivitātes maiņa (**II tips**) (meliorācija)
- Īstermiņa efekts, kurš zūd tālākajā audzes attīstības gaitā (**III tips**)

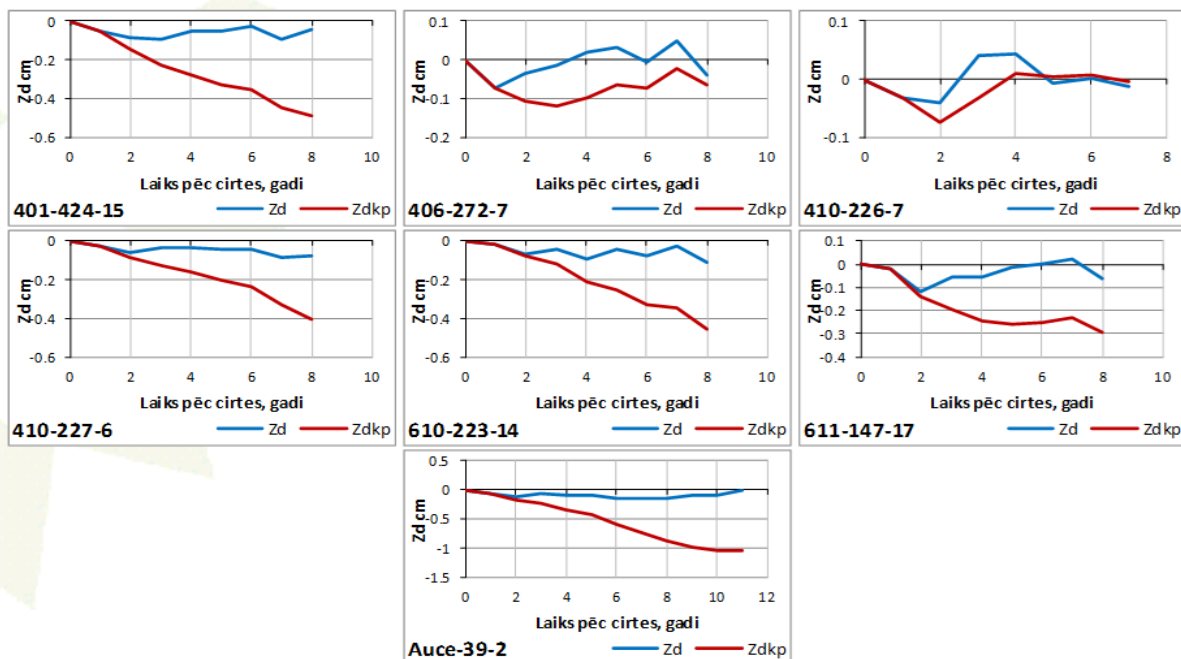
$$H; D = H, D(f(T)) + Zk * (a * (T - T_{ietekm}) * \exp(-b * (T - T_{ietekm})))$$



Pieaugumi novēloti koptos parauglaukumos



- Novērtēta izdzīvošana un noteikts kumulatīvais papildus pieaugums pēc I. Liepas izstrādātās metodikas (Liepa, 1996)



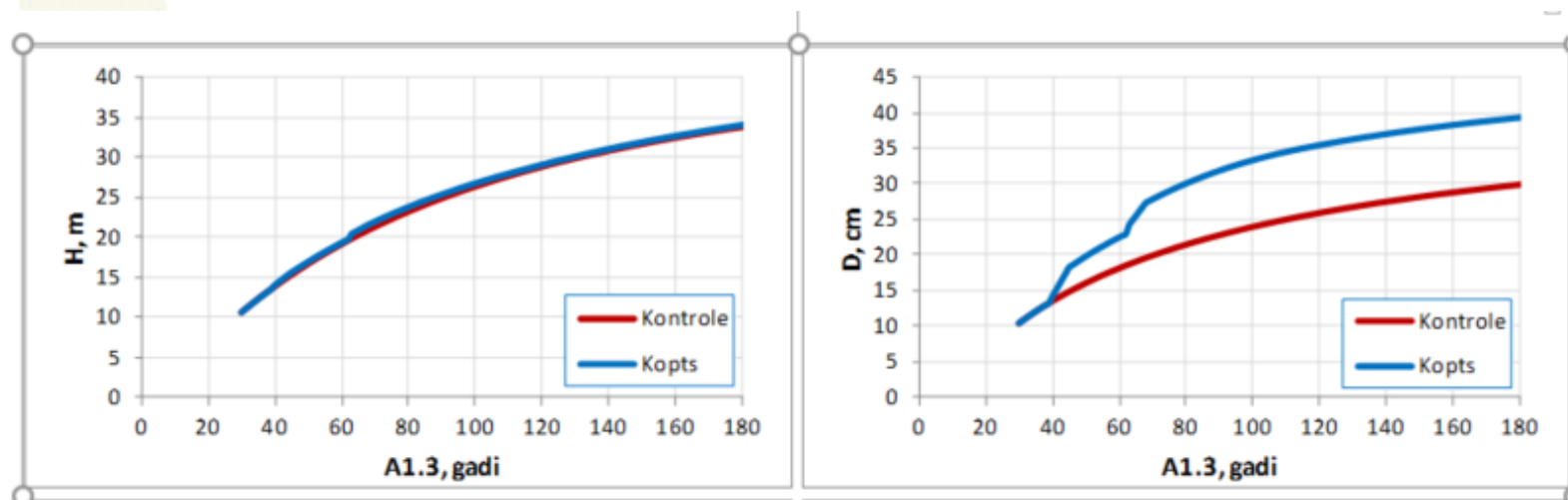
Vecākās audzēs kopšanas cirtei nav vai ir negatīva ietekme uz saglabāto koku radiālo papildus pieaugumu, bet jaunākās audzēs šī ietekme ir pozitīva, kopšanas ciršu papildus pieauguma efekts ir īslaicīgs.

Kopšanas ciršu ietekmes vērtējums uz pieaugumu izmaiņām

$$D_2 = D_1 + (D_2 - D_1)[b_1 \ln(A_1) + b_2] \quad (2.6)$$

kur D_2 – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs pēc kopšanas cirtes, cm;
 D_1 – prognozētais meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, ja netiktu veikta kopšanas cirte (2.2. vienādojums), cm;
 A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums pirms kopšanas cirtes, gadi;
 b_1 un b_2 – empīriskie koeficienti. Priede $b_1 = -0.2744$ $b_2 = 2.5481$; Egle $b_1 = -0.3640$ $b_2 = 2.4277$

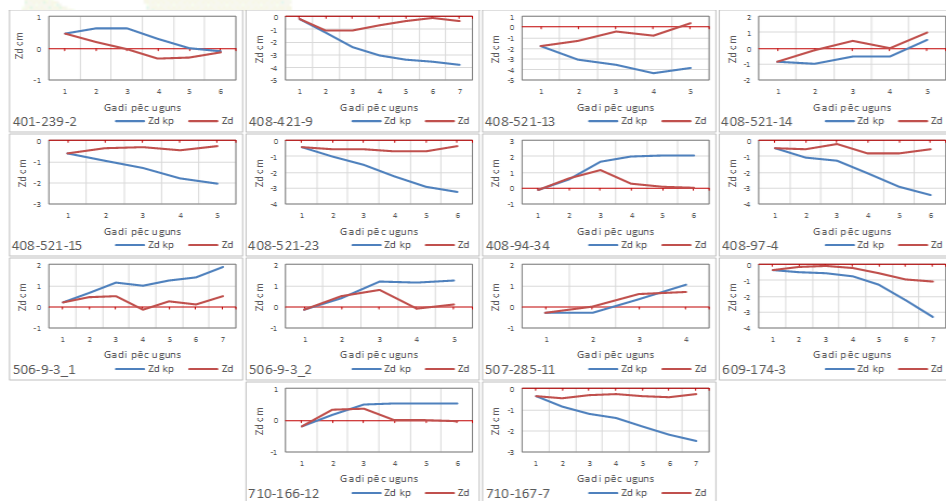
Pašreiz aprēķināts tikai priedei un eglei un uz atsevišķu koku vērtību pamata
 Nepieciešama lielāka paraugkopa



Dabisko traucējumu ietekme uz pieaugumu

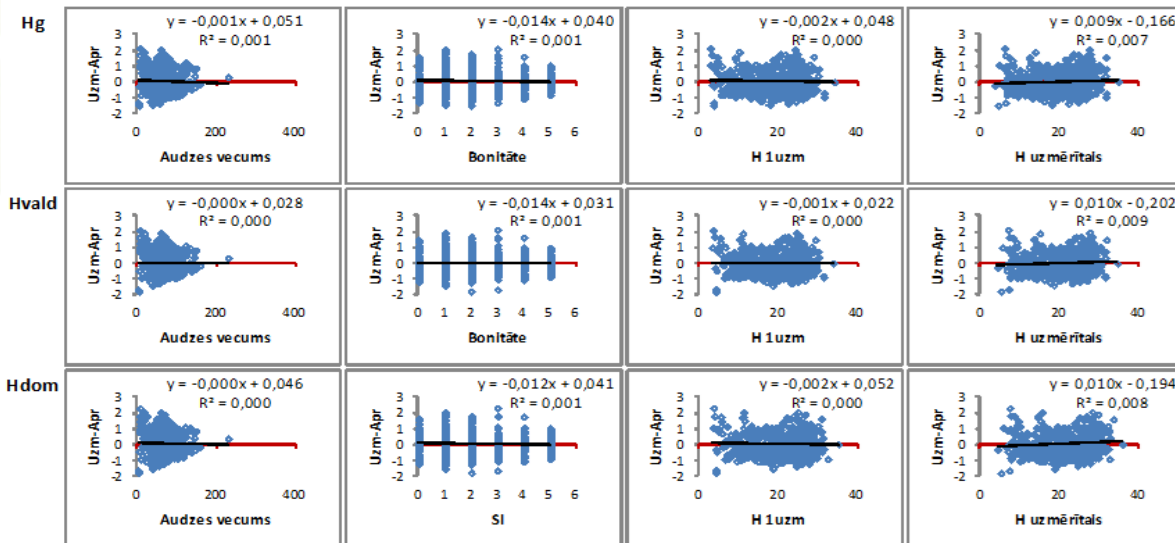
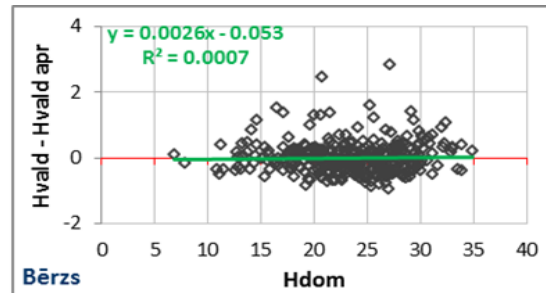
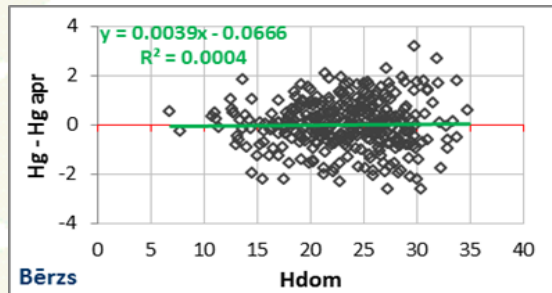


- Pārmērīti laukumi, kuri ierīkoti LVM finansētā projekta «Meža ugunsgrēka ietekmes uz koku dzīvotspēju novērtēšanas metodes izstrāde»
- Ierīkoti parauglaukumi vējgāžu bojātās audzēs bojātajā un neskartajā daļā
- Novērtēta izdzīvošana un noteikts kumulatīvais papildus pieaugums pēc I. Liepas izstrādātās metodikas (Liepa, 1996)



Ietekme uz pieaugumu pamatā negatīva, bet ir objekti, kuros papildus pieaugums ir pozitīvs

MSI datu izmantošanas iespēju novērtējums ticamu augšanas gaitas modeļu iegūšanā koku sugām - priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis



Vienādojumi izstrādāti LVMI „Silava” dažādu pētījumu ietvaros nozīmīgākie no tiem:

- **Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana.** Projekta vadītājs: Jānis Donis. Sākuma datums: 1.1.2016. Beigu datums: 31.12.2020. Pētījuma pasūtītājs – a/s "Latvijas valsts meži".
- **Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus.** Projekta vadītājs: Jānis Donis. Sākuma datums: 13.4.2011. Beigu datums: 1.12.2015. Pētījuma pasūtītājs – a/s "Latvijas valsts meži".
- **Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde.** Projekta vadītājs: Jānis Donis. Sākuma datums: 12.9.2008. Beigu datums: 8.11.2010. Pētījuma finansētājs – Meža attīstības fonds.
- **Inovatīvu meža audzēšanas tehnoloģiju izstrāde mežsaimnieciskās ražošanas produktivitātes un mežsaimniecības konkurētspējas palielināšanai (VPP projekts).** Projekta vadītājs: Jurgis Jansons. Sākuma datums: 4.1.2010. Beigu datums: 30.4.2014. Valsts pētījumu programmas "Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas" (NatRes) pētījums.

- Paldies!
- Jautājumi?