

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

Zinātniskā pētījuma

**Koku stumbra formas veidules un
sortimentu iznākuma prognožu noteikšana**
2.etapa starpatskaite

Projekta vadītājs: Dr.silv. Dagnis Dubrovskis

Projekta izpildes grupa:

<i>Ziedonis Sarmulis</i>	<i>Dr. sc.ing., LLU Asoc.profesors</i>
<i>Salvis Daģis</i>	<i>Mg.sc.ing., LLU doktorants</i>
<i>Agris Zimelis</i>	<i>Mg.sc.ing., LLU MF lektors, LLU doktorants</i>
<i>Ingus Šmits</i>	<i>Mg.sc.ing., LLU ITF lektors, LLU doktorants</i>
<i>Mārtiņš Krūmiņš</i>	<i>Bc.sc.ing., LLU MF maģistrants</i>
<i>Raivis Baltmanis</i>	<i>Bc.sc.ing., LLU ITF maģistrants</i>

JELGAVA 2012

Saturs

1. Stumbra veidules vienādojumu piemēri no harvesteru mērījumu datiem, ievērtējot celma un galotnes daļas parametrus	3
2. Iegūto stumbra veiduļu salīdzinājums ar R.Ozoliņa stumbra veidulēm	10
3. Stumbra resgaļa pirmo 10% no stumbra garuma prognozēšanas modelis, lietojot zemes lāzerskenera iegūtos mērījumus	12
4. Veikt priekšizpēti Latvijas kokiem atbilstošu stumbra pirmā nogriežņa un galotnes daļas modelēšanas algoritmu izstrādei izmantošanai harvesteru programmās.....	14
5. Latvijas kokiem atbilstošu stumbra pirmā nogriežņa un galotnes daļas modelēšanas algoritmu izstrāde izmantošanai harvesteru programmās	16
6. Metodikas izstrāde STM failu uzkrāšanai un izmantošanai liela datu apjoma ieguvei un precīzāku veiduļu sagatavošanai pa reģioniem.....	20
Secinājumi	24

1. Stumbra veidules vienādojumu piemēri no harvesteru mērījumu datiem, ievērtējot celma un galotnes daļas parametrus

Lauku darbos ievāktie dati tika apstrādāti un kopā iegūti 766 koku mērījumi, no tiem priedei 240, eglei 192, bērzam 171, apsei 56 un melnalksnim 84 (atlikušajām koku sugām ierīkotie parauglaukumi vēl nav nocirsti). Šie mērījumi satur gan harvestera STM failā iegūto stumbra pamata daļu (sortimentos izmantoto), gan atsevišķi veiktus koka celma daļas un galotnes daļas mērījumus. Mērījumu dati apstrādāti tālākai izmantošanai, konkrēti, sākotnējās stumbra veidules iegūšanai un pašreiz lietotās stumbra veidules precizēšanai. Apstrādes gaitā atšķiroti kvalitatīvāko stumbru mērījumi, tad stumbra reālais garums mērogojots intervālā no 0 līdz 1 (resgalī vērtība 0 un stumbra galotnes vērtība 1), caurmērs mērogojots intervālā no 0 līdz 100, jeb procentos. Identiski to bija darījis R.Ozoliņš pašreiz lietotajos stumbra veidules modeļos(3.1.;3.2.):

$$v^* = \frac{\pi * D^2}{4 * 10^4 * (P_6(\frac{1,3}{H}))^2} * \int_{h_1}^{h_2} (P_6(\frac{h}{H}))^2 dh, \quad (3.1.)$$

$$v = \frac{\pi * D^2}{4 * 10^4 * (P_6(\frac{1,3}{H}))^2} * \int_{h_1}^{h_2} \left[P_6\left(\frac{h}{H}\right) * \left[1 - \frac{Q_4\left(\frac{h}{H}\right)}{100} \right] \right]^2 dh, \quad (3.2.)$$

kur v un v^* - tilpumi ar un bez mizas, m^3 ;

D - krūšaugstuma caurmērs ($D_{1.3m}$), cm ;

h - brīvi izvēlēts griezuma augstums jeb aplūkojamās koka stumbra vietas attālums līdz sakņu kaklam, metros; $0 < h < H$;

h_1 - apaļkoka resnā gala attālums līdz stumbra resgaļa griezumam, dm ;

h_2 - apaļkoka tievā gala attālums līdz stumbra resgaļa griezumam, dm ;

H - koka garums, m .

Sortimentu un to tilpuma aprēķināšanai tiek izmantoti R. Ozoliņa ieteiktie raukuma līkņu vienādojumi.

Malkai minimālais tievgaļa caurmērs noteiktam augstumam tiek aprēķināts ar mizu:

$$d = D * \frac{P_6(\frac{h}{H})}{P_6(\frac{1,3}{H})}, \quad (3.3)$$

Pārējiem sortimnetiem, tādiem kā zāgbaļķiem, sīkbaļķiem un papīrmalkai minimālais tievgaļa caurmērs noteiktam augstumam tiek rēķināts bez mizas:

$$d^* = D \cdot \frac{P_6\left(\frac{h}{H}\right)}{P_6\left(\frac{1,3}{H}\right)} \cdot \left[1 - \frac{Q_4\left(\frac{h}{H}\right)}{100} \right], \quad (3.4)$$

kur: D - stumbra krūšaugstuma caurmērs;

H - tieši izmērītais vai izlīdzinātais koka augstums atbilstošajā caurmēra pakāpē, m;

h - brīvi izvēlēts griezuma augstums jeb aplūkojamās koka stumbra vietas attālums līdz sakņu kaklam, metros; $0 < h < H$;

d - brīvi izvēlētajam augstumam h atbilstošais stumbra caurmērs ar mizu, cm;

d^* - stumbra caurmērs bez mizas brīvi izvēlētajā augstumā h , cm;

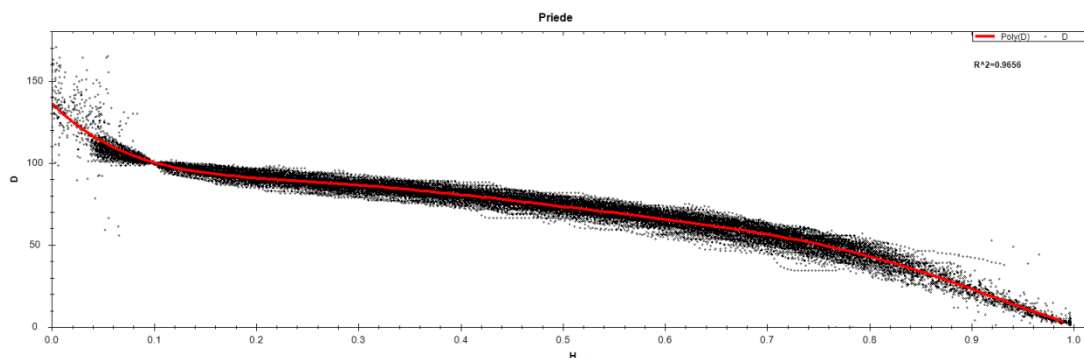
$P_6(x)$ - sestās kārtas polinoms, kas raksturo transformēta statistiski vidējas formas koka stumbra formu (3.5.):

$$P_6(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_6 \cdot x^6, \quad (3.5.)$$

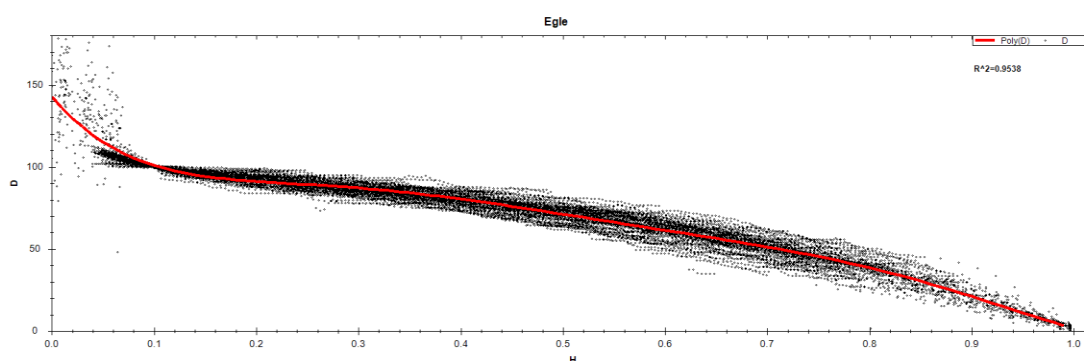
kur x - relatīvais augstums ($x = h/H$, $0 < x < 1$).

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_6$ - sestās kārtas polinoma koeficienti (1. vai 2. tabulu):

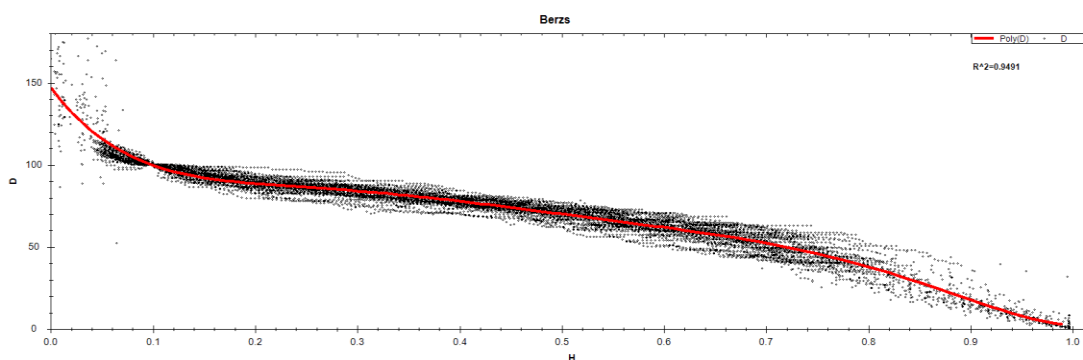
Mērogojot stumbra caurmēru, galotnes vērtība ir 0. Resgalis tiek mērogots pie 10% no stumbra garuma, jeb pie koeficienta 0.1, kur tā vērtība pieņemta vienāda ar 100%, tādēļ celma daļā caurmērs ir ievērojami lielāks par 100%. Šāda caurmēru mērogošanas metodika lietota, jo celma daļas caurmērs vienādiem stumbriem mēdz būt atšķirīgs.



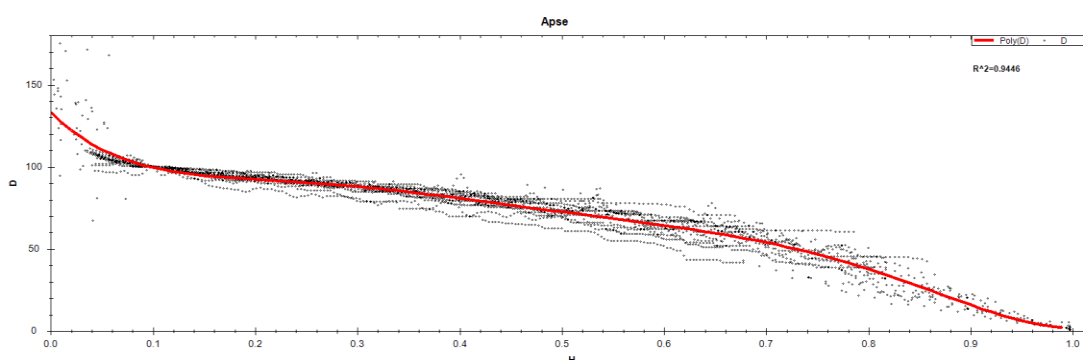
1. att. Priedes stumbru mērogotie dati un 6.kārtas polinoma aproksimācija



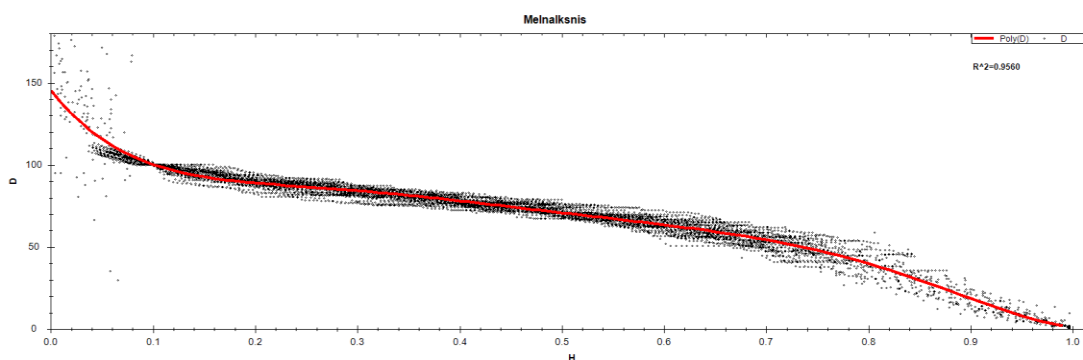
2. att. Egles stumbru mērogotie dati un 6.kārtas polinoma aproksimācija



3. att. Bērza stumbru mērogotie dati un 6.kārtas polinoma aproksimācija



4. att. Apses stumbru mērogotie dati un 6.kārtas polinoma aproksimācija



5. att. Melnalkšņa stumbru mērogotie dati un 6.kārtas polinoma aproksimācija

Grafiski attēlotajos datos (1.-6.att.) var redzēt, ka salīdzinoši liela izkliede ir stumbra celma daļā. To var izskaidrot ar faktu, ka harvesters pirmo mērījumu veic tikai 60-100 cm attālumā (atkarībā no harvestera galvas modeļa) no pirmā sortimenta resgaļa griezuma vietas, tāpēc resgaļa caurmēru nevis fiziski nomēra, bet aprēķina pēc formulām. Šī mērīšanas specifika ir lielācai daļai harvesteru modeļu, jo pirmie atzarošanas naži ir ar lielāku saspiešanas spiedienu, kā rezultātā ir iegūstami precīzāki caurmēra mērījumi. Līdz ar to vienīgais veids, kā uzprojicēt stumbra iepriekšējo daļu ir matemātiski aprēķināt. Pēc paraugkoku pilnas uzmērīšanas tika secināts, ka šīs harvesteros pielietotās resgaļa aprēķina formulas dod samazinātu koka stumbra resgaļa caurmēra skaitlisko lielumu, kas arī ir cēlonis

salīdzinoši lielajai resgali raksturojošo datu izkliedei. Lai praktiski pārlicinātos un izvērtētu stumbra raukuma pielietotos koeficientus Latvijas apstākļiem, būtu nepieciešams manuāli pārmērīt pirmo sagatavoto sortimentu.

No šiem veidules datiem ar regresijas analīzi iegūti 6. kārtas polinoma koeficienti ar augstiem determinācijas rādītājiem.

1.tabula

Stumbra veidules 6.kārtas polinoma koeficienti (modelim ar celmu)

Suga	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	R ²
Priede	136.571	-628.139	3564.806	-10674.937	16541.898	-12807.118	3868.249	0.966
Egle	142.991	-741.527	4300.255	-12744.430	19184.088	-14313.274	4173.588	0.954
Bērzs	147.186	-834.110	4861.477	-14746.473	23224.505	-18305.228	5654.550	0.949
Apse	133.451	-629.113	4022.127	-13295.360	22330.403	-18516.729	5957.243	0.945
Melnalksnis	145.581	-794.108	4613.213	-14119.612	22534.192	-17988.157	5610.015	0.956

2.tabula

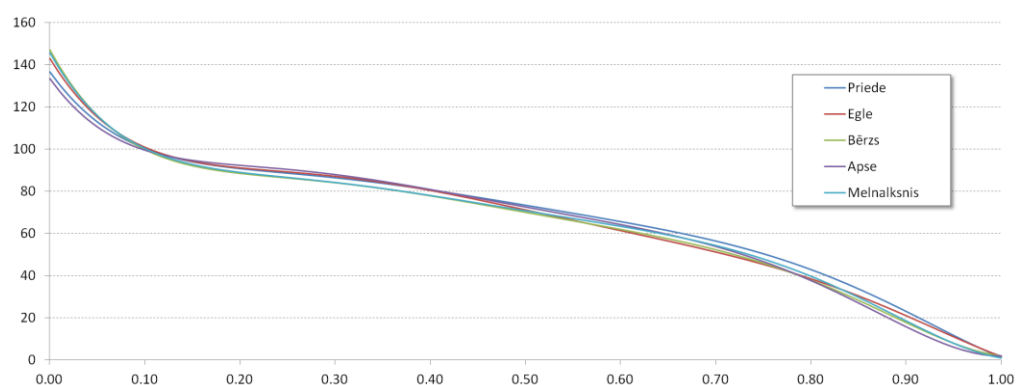
Stumbra veidules 6.kārtas polinoma koeficienti dažādos meža tipos (modelim ar celmu)

Suga	Augšanas tipu grupa	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Priede	Sausieņi	137.551	-644.117	3628.958	-10809.564	16733.554	-12962.779	3917.609
Priede	Āreņi	133.030	-564.897	3198.571	-9736.762	15321.342	-12048.508	3698.475
Priede	Kūdreņi	140.121	-685.925	4003.732	-11854.095	17867.250	-13379.921	3912.060
Egle	Sausieņi	144.762	-772.997	4506.594	-13365.719	20139.975	-15045.313	4394.664
Egle	Āreņi	131.071	-512.962	2783.721	-8023.298	11773.765	-8630.582	2479.836
Egle	Kūdreņi	155.612	-999.711	6112.977	-18722.534	28965.784	-22012.642	6500.995
Bērzs	Sausieņi	146.136	-815.805	4646.921	-13801.275	21398.786	-16759.255	5186.542
Bērzs	Āreņi	143.824	-796.137	4934.999	-15770.745	25752.754	-20724.063	6462.448
Bērzs	Kūdreņi	148.298	-803.819	4379.406	-12396.085	18284.029	-13603.292	3992.351

Stumbra veidules koeficientu pielietošanas formula (6.kārtas polinoms):

$$D(h) = h^0 * A0 + h^1 * A1 + .. + h^6 * A6,$$

kur, koeficienti **A0 līdz A6** no 1. tabulas vai 2.tabulas un **h** - aprēķināmā stumbra vieta garuma mērogā no 0 līdz 1



6.att. Visu sugu mērogotās stumbra veidules kopā

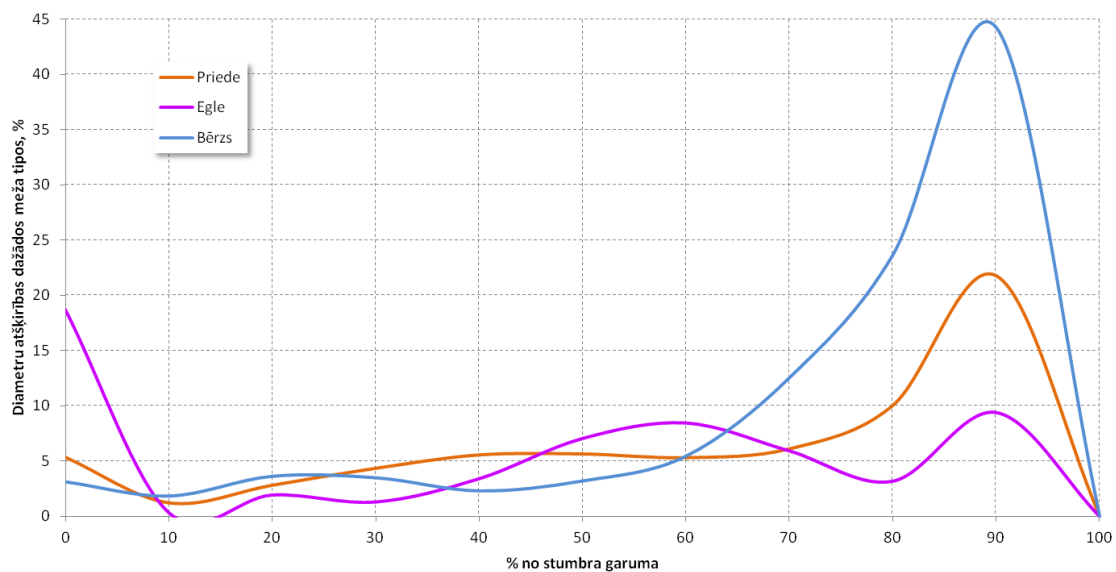
Lai pārbaudītu meža tipu ietekmi uz stumbru veiduli, dati tika sagrupēti (3.tabula) pa meža tipu grupām: sausieņi, slapjeņi, purvāji, āreņi un kūdreņi.

Analizējot sagrupētos datus pa meža tipiem, tika noskaidrots, ka pietiekams skaits ievāktu datu ir sausieņos, āreņos un kūdreņos - kopā sastāda 86%, bet slapjajņos un purvajos datu apjoms - vien 14 % no kopējiem datiem. Veicot kvalitatīvāko mērījumu filtrēšanu slapjajņu un purvāju dati sarūk līdz 6% pārstāvniecībai, jeb 6-9 uzmērītie koki atsevišķā tipu grupā. Uz patreizējo brīdi šo datu apjoms ir nepietiekams, lai veiktu analīzi šajos meža tipos.

3.tabula

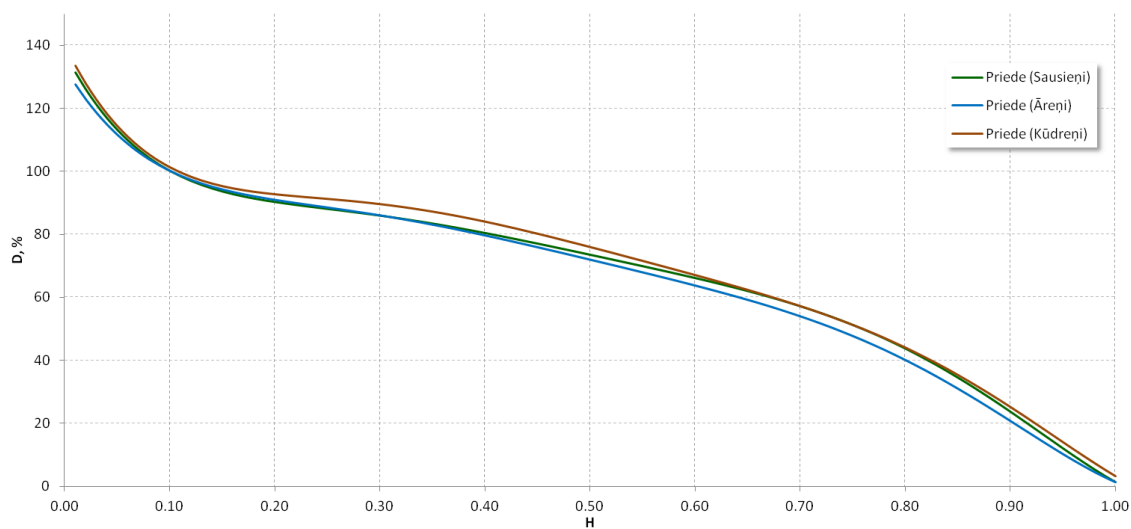
Meža tipu grupēšana	
Meža tipu grupa	Meža tips
Sausieņi	Sils
	Mētrājs
	Lāns
	Damaksnis
	Vēris
	Gārša
Slapjaini	Grīnis
	Slapjais mētrājs
	Slapjais damaksnis
	Slapjais vēris
	Slapja gārša
Purvāji	Purvājs
	Niedrājs
	Dumbrājs
	Liekņa
Āreņi	Viršu ārenis
	Mētru ārenis
	Šaurlapju ārenis
	Platlapju ārenis
Kūdreņi	Viršu kūdrenis
	Mētru kūdrenis
	Šaurlapju kūdrenis
	Platlapju kūdrenis

Stumbra veiduļu atšķirību noteikšanai stumbra veidules tika salīdzinātas ar maksimālo noviržu metodi, sadalot stumbru 10 vienādās daļās pēc to garumiem. Katrā desmitdaļā tika noteikta maksimālā atšķirība starp stumbra veidulēm dažādos meža tipos (6.att). Atšķirība ir izteikta procentuāli un, kā var redzēt, vidēji šī atšķirība nav liela. Tomēr 3-7% caurmēra atšķirība stumbra daļā, kur iznāk lietderīgais sortiments, ir novērojama, un šīs atšķirības var atstāt būtisku ietekmi uz sortimentu iznākumu. Lielākas atšķirības ir novērojamas celma daļā 5-18% no stumbra diametra un vislielākās stumbra diametru svārstības ir stumbra galotnes daļā - pie 80-90% no stumbra garuma šīs atšķirības sastāda 10-44% no stumbra galotnes daļas diametra.

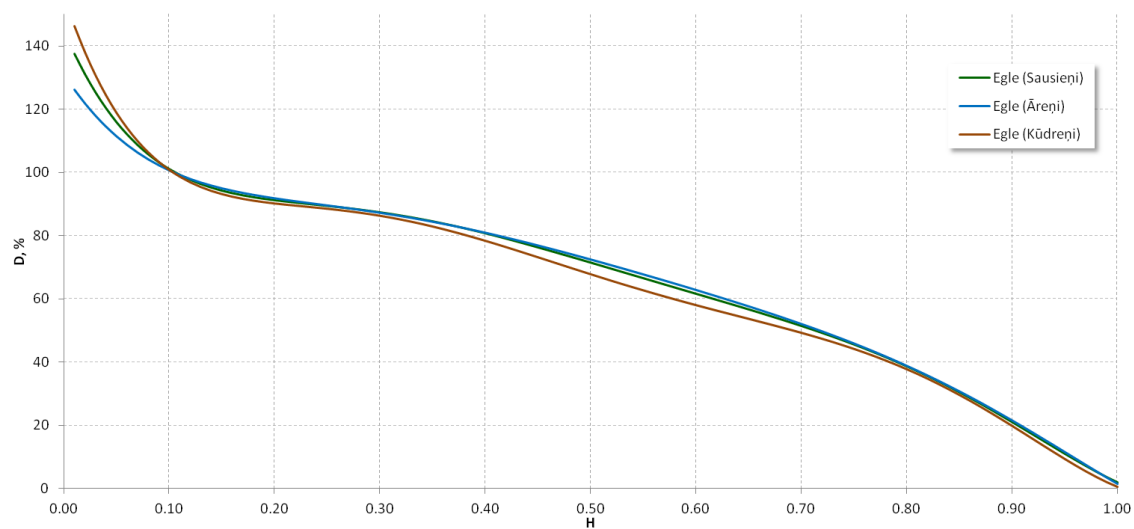


6. Koku stumbru veiduļu atšķirības dažādos meža tipos

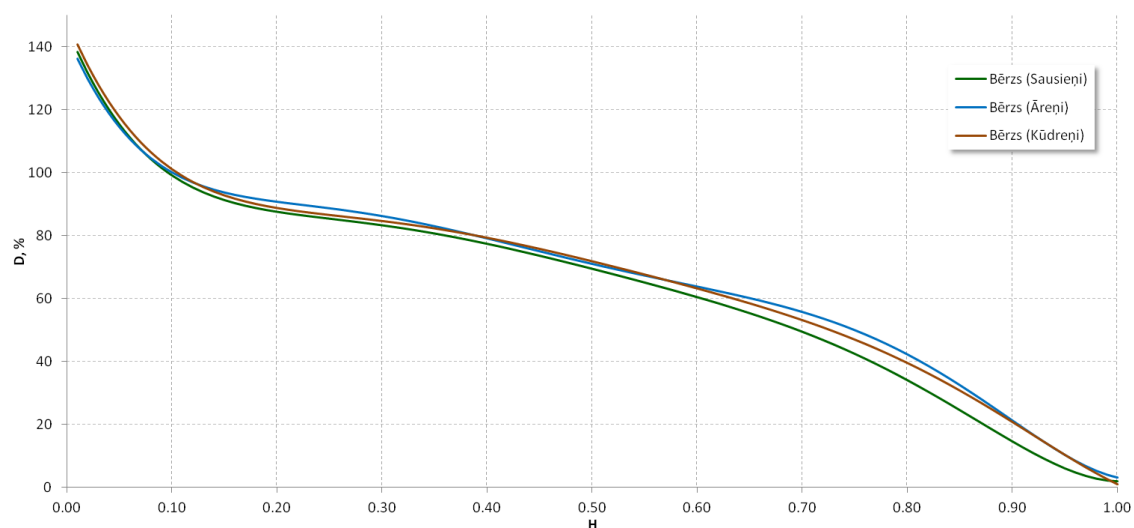
Aplūkojot konkrētās stumbra veidules (7.-9.attēlos) šīs atšķirības ir grūtāk pamanāmas, kā (6.attēlā), bet ļoti izteikta atšķirība novērojama bērzam sausienos (9.att.), kur galotnes daļa ir ievērojami smailāka.



7. Priedes stumbu veidules dažādos meža tipos



8. Egles stumbru veidules dažādos meža tipos

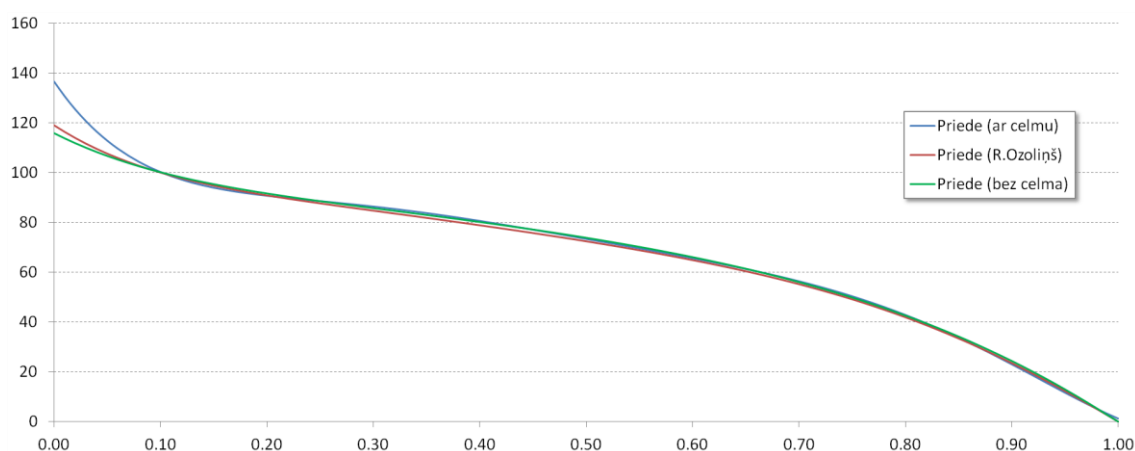


9. Bērza stumbru veidules dažādos meža tipos

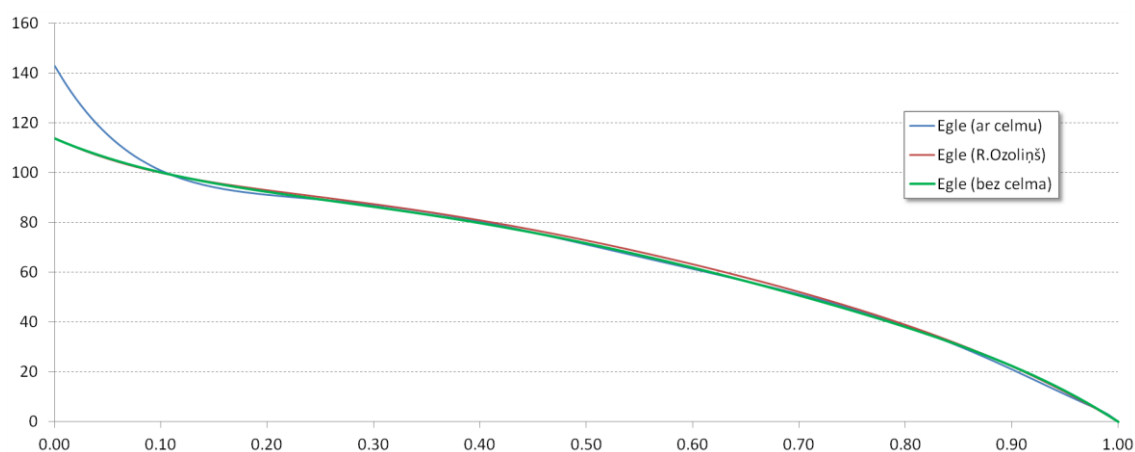
2. Iegūto stumbra veiduļu salīdzinājums ar R.Ozoliņa stumbra veidulēm

Salīdzinot trīs pārstāvētāko sugu stumbra veidules var redzēt, ka lielākās atšķirības ir stumbra resgalī, kur R.Ozoliņa stumbra veidulēm ir ievērojami mazāks caurmērs. Šo faktu var izskaidrot ar iespējamību, ka iepriekšējos pētījumos nav ņemta vērā celma daļa, jo R.Ozoliņš veicis aprēķinus nogāztu koku stumbra mērījumiem. Lai pārliecinātos par šo faktu, grafikos ievietotas trīs stumbra veidules (10.-12.att.):

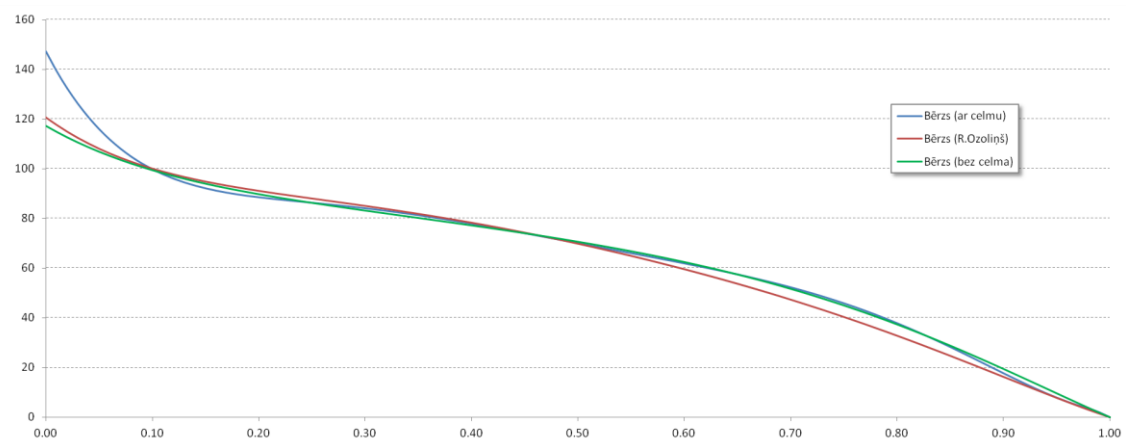
- 1) Stumbra veidule ar celma daļu
- 2) Stumbra veidule bez celma daļas (atmesti celma daļas mērījumi)
- 3) R.Ozoliņa stumbra veidule



10.att. Priedes stumbra veiduļu grafiskais salīdzinājums



11.att. Egles stumbra veiduļu grafiskais salīdzinājums



12.att. Bērza stumbra veiduļu grafiskais salīdzinājums

3. Stumbra resgaļa pirmo 10% no stumbra garuma prognozēšanas modelis, lietojot zemes lāzerskenera iegūtos mērījumus

Koka stumbra 10% garuma mērījumi, sākot no zemes , veikti ar zemes lāzerskeneri, jo tika konstatētas problēmas harvestera stumbra resgaļa mērījumos un instrumentālos mērījumos ar dastmēru. Stumbra uzmērīšanā ar dastmēru un mērlenti celma daļai veikta uzmērīšana (2 perpendikulāri celma caurmēra mērījumi un celma augstuma mērījums). Harvestera mērījumos no pirmā resgaļa zāgējuma vietas tiek aprēķināts pirmo 60-100 cm garuma stumbra caurmērs, un tikai tad turpinās reālie harvestera mērījumi. Pa vidu starp celmu un 1. sortimenta resgaļa griezumam ir iespējams viens vai pat vairāki nelikvīda (bojātas) koksnes zāgējumi. Pastāv iespēja kļūdīties, sajaucot mērījumu numuru, kādu nelikvīda nogriezni pievienojot citam stumbra veidulei u.tml., kas var būt par cēloni neprecizitātēm, apvienojot visus datus pilna garuma stumbra raksturošanai. Galvenokārt precizitātes problēma var rasties pirmajos 1.5 m stumbra resgalī. Kā problēmas risinājums pieņemts lēmums pirmajiem 10% no stumbra garuma izmantot zemes skenera mērījumus. Tā kā zeme skeneris netiek lietots tiem pašiem stumbriem un cirsām, kur darbojas harvesters un tiek veikti fiziski mērījumi ar dastmēru, tad datu apvienošana tiek veikta pēc datu mērogošanas. No lauku darbos iegūtajiem mērījumiem tiek izveidots 6 kārtas polinoma vienādojums un iegūts pamata stubrs 10-100% augstumā, bet stumbra resgalis 0-10% garumā tiek pievienots no zemes skenera datiem aproksimētā 3. kārtas polinoma modeļa veidā (2.formula). Apvienojot kopā abus šos modeļus, izveidojas viens vesels stubrs (13.-15.attēls), kur jauniegūtā līkne nosaukta par "ar lāzerskenēto celmu".

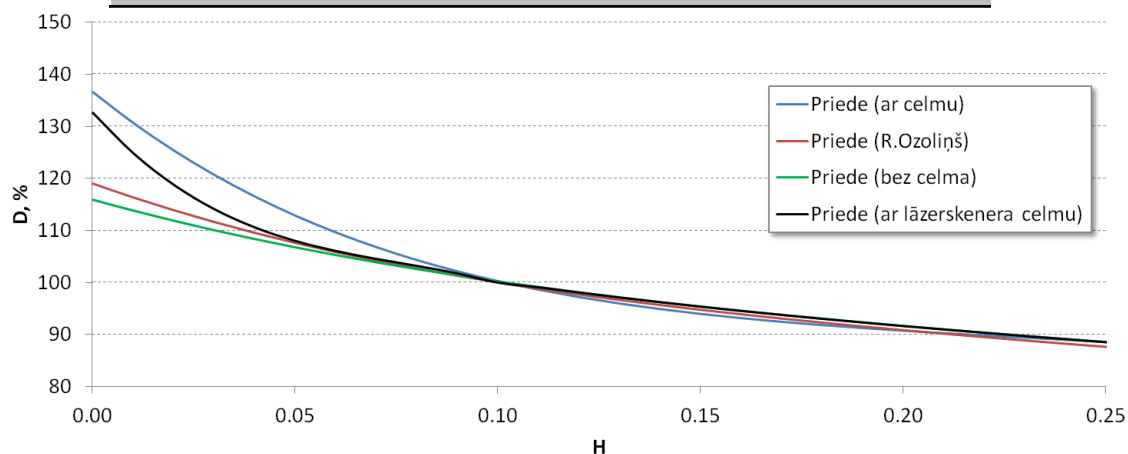
Stumbra veidules celma daļas, jeb stumbra daļas pirmo 10% no garuma, aprēķina formula:

$$D(h) = B_0 + h^1 * B_1 + h^2 * B_2 + h^3 * B_3$$

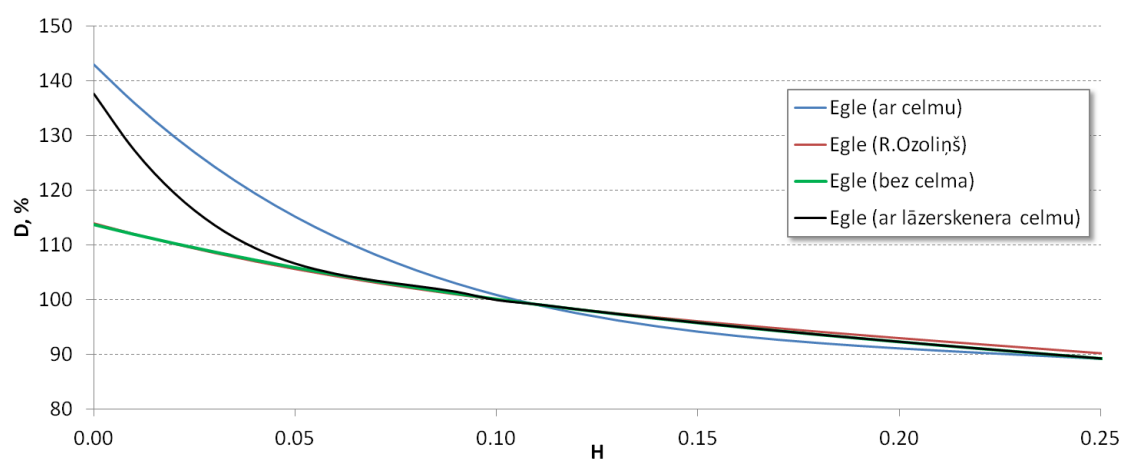
kur koeficienti B_0, B_1, B_2, B_3 atrodami 4. tabulā un h vērtība ir intervālā $[0 - 0.1]$ (intervāls attiecās uz koka apakšējo daļu līdz 10% no kopējā koka augstuma).

4.tabula

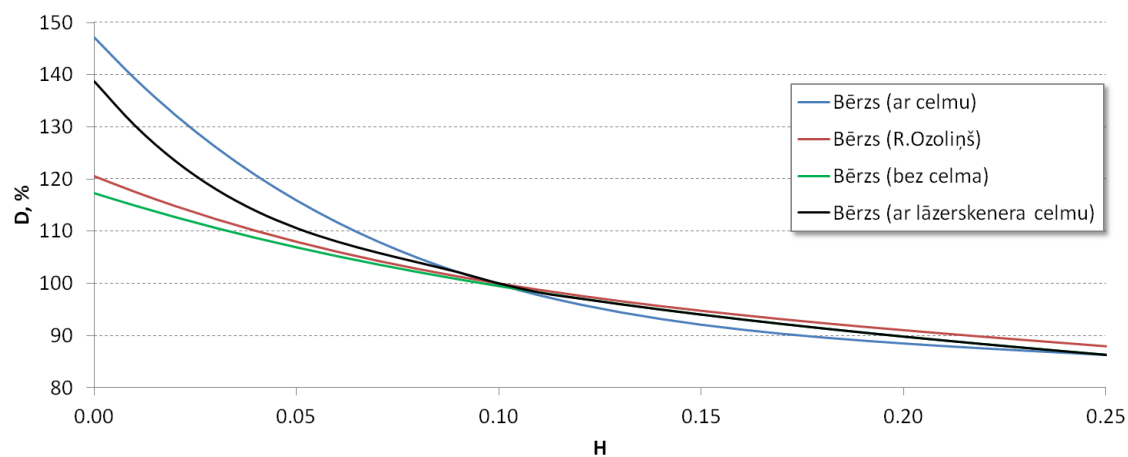
Stumbra veidules koeficienti (modelim ar lāzerskenera celmu)					
	B0	B1	B2	B3	R ²
Priede	132.62	-866.93	9578.55	-41713.14	0.86
Egle	137.68	-1158.97	13710.44	-58896.53	0.83
Bērzs	138.71	-934.49	9405.65	-39322.95	0.75



13.att. Lāzerskenera modeļa dati pirmajos 10% no priedes stumbra garuma



14. att. Lāzerskenera modeļa dati pirmajos 10% no egles stumbra garuma



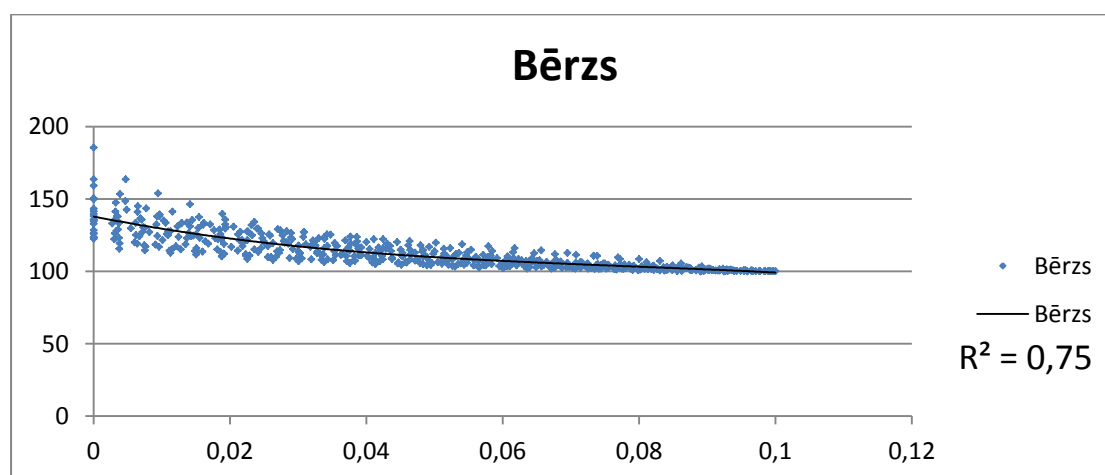
15. att. Lāzerskenera modeļa dati pirmajos 10% no bērza stumbra garuma

4. Veikt priekšizpēti Latvijas kokiem atbilstošu stumbra pirmā nogriežņa un galotnes daļas modelēšanas algoritmu izstrādei izmantošanai harvesteru programmās

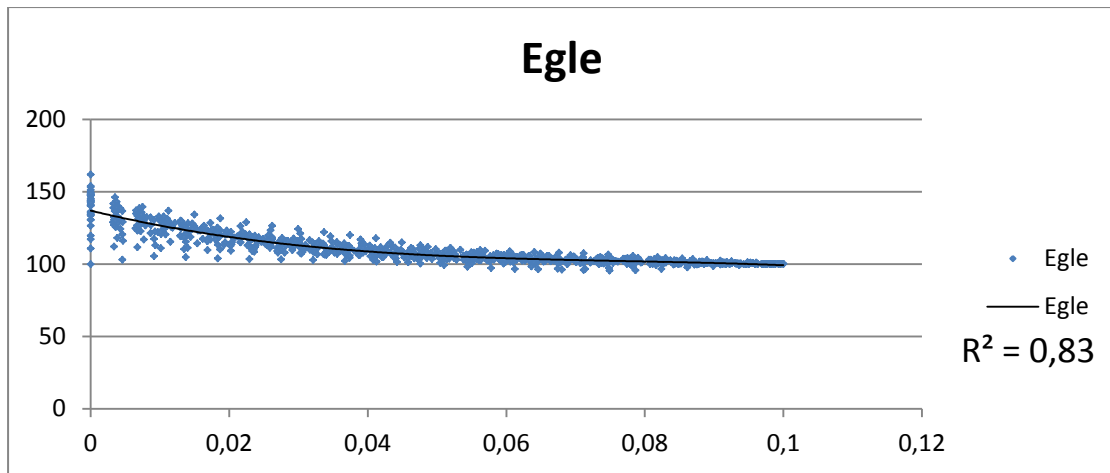
Ierīkoti un noskenēti parauglaukumi Ozolnieku un Cenas pagastos. Pēc noskenēto datu pirmapstrādes tika veikta koku šķirošana, lai turpmākajos aprēķinos varētu izmantot no iegūtās informācijas tālākās apstrādes viedokļa piemērotu koku datus. Par nederīgiem datiem uzskatīti tie, kuros novērojama strauja caurmēra izmaiņa pret salīdzinoši nelielu koka stumbra mērīšanas vietas augstuma izmaiņu. Ja augstumam palielinoties par 10cm, koka caurmērs mainās par vairāk nekā 10%, šāds koks tiek uzskatīts par nederīgu. Tas pārsvarā novērojams koka sakņu kakla tuvumā, kur aprēķinu precizitāti ietekmē koka stumbram tuvumā esošie zemie augi vai vietās, kur koka zari aizsedz tā stumbra lielāko daļu, kā rezultātā rodas grūtības nošķirt koka stumbru no zariem.

Analizējot harvestera un manuālo mērījumu savietotos datus, secināts, ka tajos novērojama problemātiska zona. Tā ir vieta, kur tiek savienoti manuāli veiktie celma mērījumi un harvestera dati, un šis augstums sakrīt ar celma augstumu jeb pirmo stumbra griezuma vietu. Lai aprakstīto zonu nodefinētu vispārīgi, tika pieņemts, ka tā atrodas zemāk par 10% no koka augstuma (20 m augstam kokam tie ir 2 m).

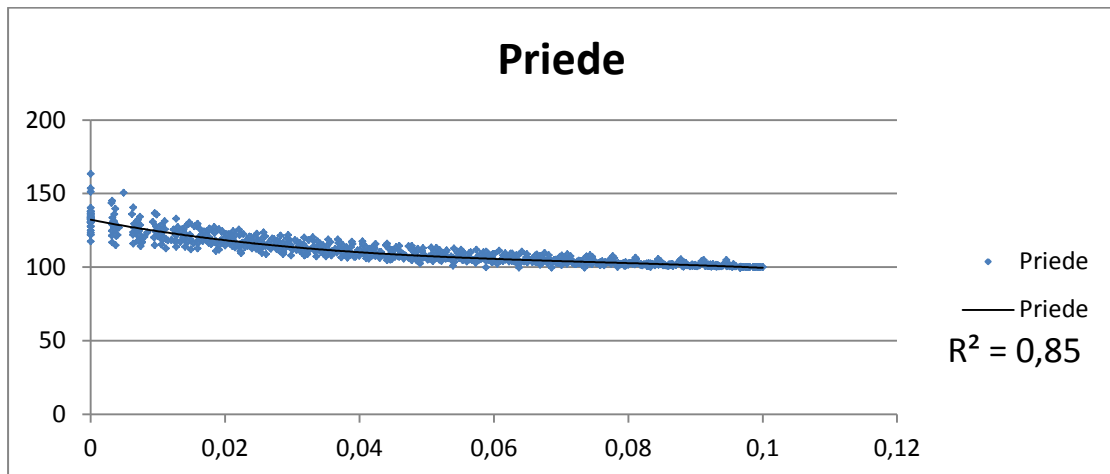
Šīs problēmas novēršanai aplūkota iespēja izmantot ar lāzerskeneri iegūtos datus. Lai izveidotu modeli, kurš aprakstītu pirmos 10% no koka stumbra un nodrošinātu problemātiskās zonas noseģšanu, iepriekš atšķīrotie koki tika vēlreiz pārlūkoti, lai atlasītu tos, kuru augstums pārsniedz 20 m. Rezultātā no kopējiem kokiem bija nepieciešams izdalīt 20 bērzus, 32 egles un 31 priede. Pēc datu mērogošanas, par atskaites punktu pieņemot 10% no stumbra augstuma, tika veikta aproksimācija, pielietojot 3.kārtas polinomu. Datu grafiskais attēlojums kopā ar piemēroto 3.kārtas polinoma līkni un determinācijas koeficientu aplūkojams 13.,14. un 15. attēlā.



13.att. Mērogotie dati bērza stumbru pirmajiem augstuma 10% un 3.kārtas polinoma aproksimācija



14.att. Mērogotie dati egles stumbru pirmajiem augstuma 10% un 3.kārtas polinoma aproksimācija



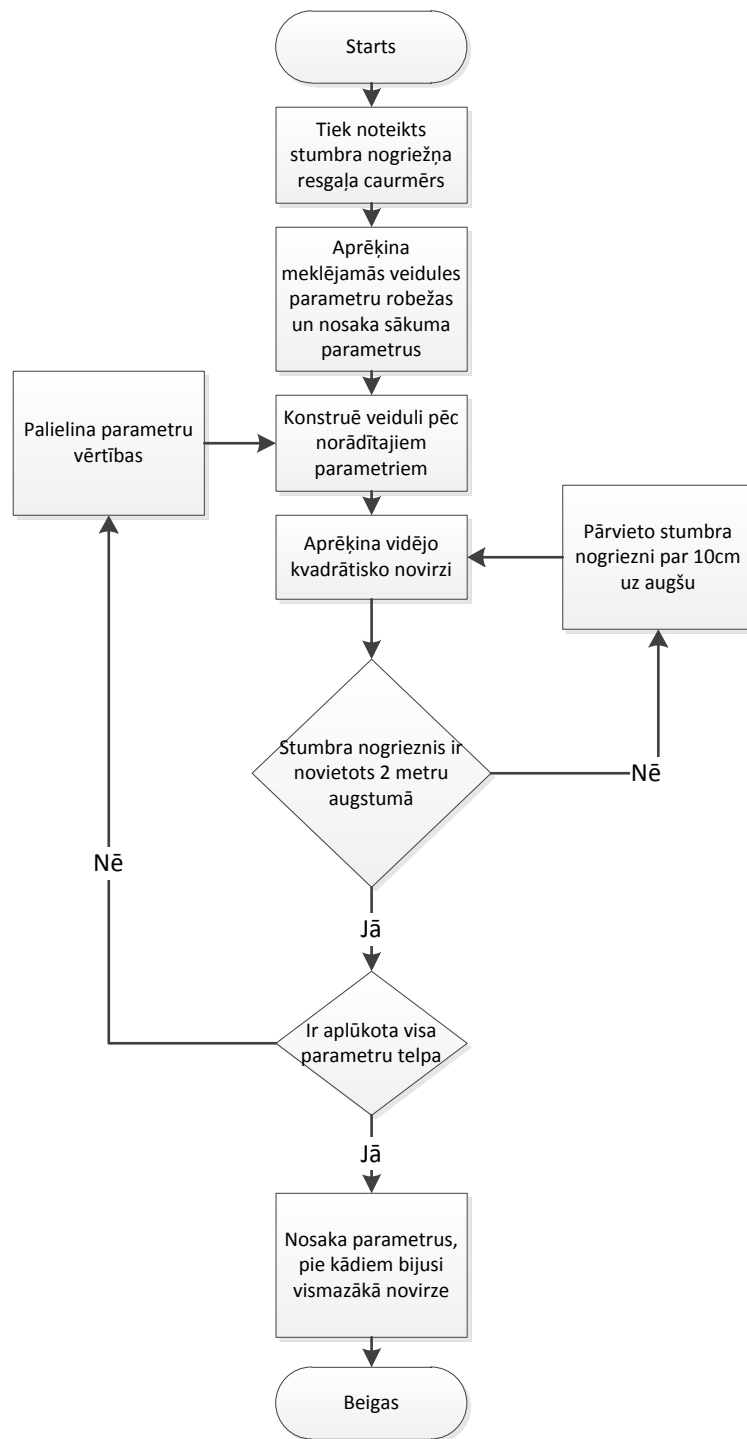
15.att. Mērogotie dati priedes stumbru pirmajiem augstuma 10% un 3.kārtas polinoma aproksimācija

5. Latvijas kokiem atbilstošu stumbra pirmā nogriežņa un galotnes daļas modelēšanas algoritmu izstrāde izmantošanai harvesteru programmās

Lai noteiktu koka stumbra veiduli, kura visprecīzāk atbilst koka stumbra nogriežnim kas iegūts no harvestera datiem, tiek izmantota vidējās kvadrātiskās kļūdas metode. Harvestera dati salīdzināti ar R.Ozoliņa izstrādāto veiduli. Lai to konstruētu, nepieciešams norādīt divus parametrus – koka stumbra augstumu un krūšaugstuma caurmēru. Nevienam no norādītajiem lielumiem nav zināms, jo, harvestera datus nav zināma stumbra pirmā un pēdējā zāgējuma vieta. Tāpēc, lai atrastu veiduli, kas maksimāli atbilstu harvestera datus noteiktajam stumbra nogriežnim, nepieciešams aplūkot visus iespējamus reālos variantus. Lai to izdarītu, tiek izveidota datu kopa ar dažādām veidulēm (atšķirīgi to augstumi un krūšaugstuma caurmēri), un katra no tām salīdzināta ar aplūkojamo stumbra nogriezni. Harvestera datiem visprecīzāk atbilstošā veidule ir tā, kura, salīdzinot ar šiem datiem, dod vismazāko kļūdu.

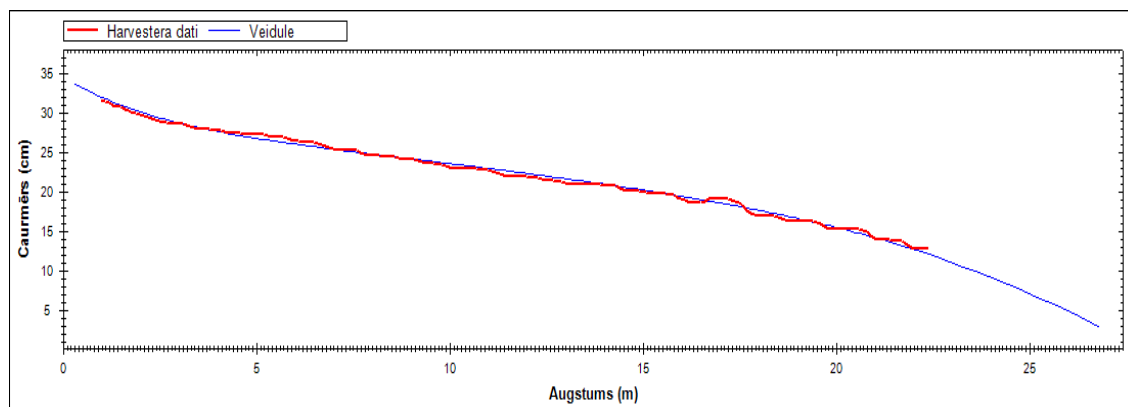
Jānosaka arī tas, kādā augstumā virs zemes atrodas harvestera uzmērītās stumbra daļas resgalis. Tāpēc, aplūkojot katru no datu kopā esošajām veidulēm, vidējā kvadrātiskā kļūda tiek aprēķināta, stumbra nogriezni novietojot uz veidules dažādos attālumos, sākot no 0 līdz 2 m augstumam, ar soli 10cm. Maksimālais attālums, kādā stumbra nogrieznis salīdzināts ar veiduli, norādīts 2 m augstumā, pieņemot, ka harvestera veiktais pirmais griezumam būs zemāk.

Kopumā nogriežnim atbilstošākās veidules meklēšanai tiek mainīti 3 dažādi parametri – koka augstums, krūšaugstuma caurmērs un pirmā zāgējuma augstums. Lai samazinātu pārlūkojamo parametru telpu, kas palielina algoritma ātrdarbību, eksperimentālā kārtā tika noteikti labākie nosacījumi parametru ierobežojumiem. Pirmkārt, ir zināms, ka harvestera uzmērītā stumbra nogriežņa resgalis atrodas salīdzinoši tuvu koka krūšaugstumam. Tāpēc, konstruējot veidules, tiek noteikts, ka krūšaugstuma caurmērs nebūs mazāks par 10% no datu nogriežņa resgaļa caurmēra negatīvā virzienā, kā arī tas nebūs lielāks par 30% pozitīvā virzienā. Balstoties uz šiem lielumiem, tiek noteikti arī veidules augstuma ierobežojumi. Ir zināms, ka pastāv samērā cieša korelācija starp koka krūšaugstuma caurmēru un koka stumbra augstumu. Izmantojot šo sakarību aprakstošos vienādojumus, tiek aprēķinātas aptuvenās veidules augstuma robežvērtības. Tā kā šī sakarība ir aptuvena, aprēķinātais veidules minimālais augstums tiek samazināts par 10%, savukārt maksimālais augstums palielināts par 10%. Algoritma blokshēma aplūkojama 16.attēlā.



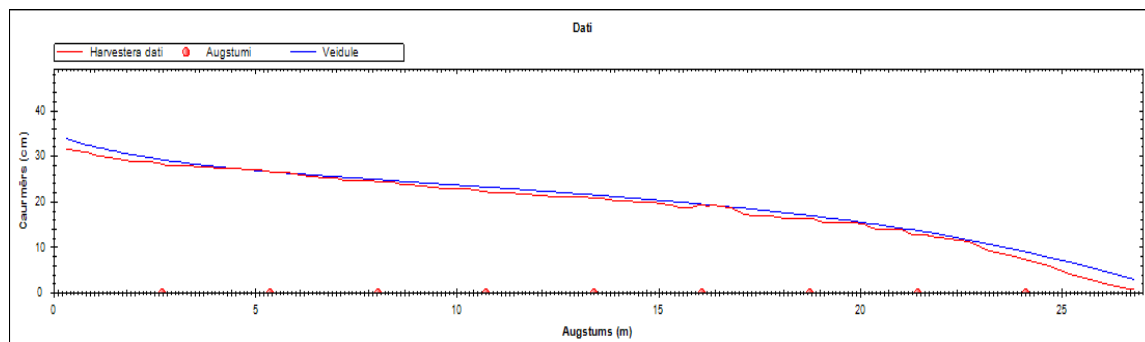
16.att. Algoritma blokshēma

Rezultāts pēc datu nogrieznim visprecīzāk atbilstošās veidules piemeklēšanas redzams 17.attēlā.



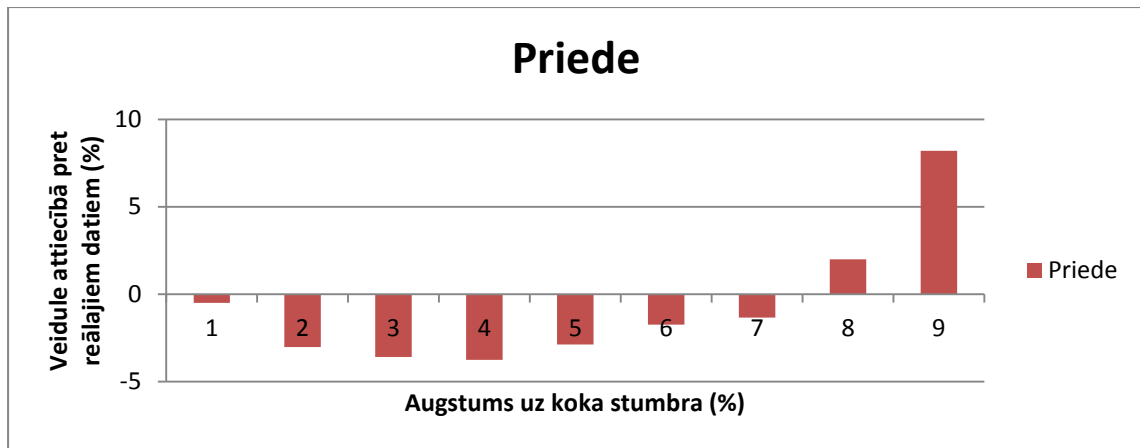
17.att. Harvestera dati un tiem atbilstošā koka stumbra veidule

Balstoties uz harvesteru datiem tika aprēķināts, ka šis stumbra posms visprecīzāk atbilst kokam ar augstumu 31.35 m un krūšaugstuma caurmēru 27.9 cm. Harvestera datu pirmais caurmērs atrodas 1 m augstumā. Pēc tam aplūkotie harvesteru dati savienoti ar manuālajiem celma un galotnes daļu mērījumiem, lai iegūtu informāciju par pilnu koka stumbru, kuru salīdzināt ar piemeklēto veiduli algoritma precizitātes novērtēšanai. Kā atskaites punkti abu datu kopu salīdzināšanai izvēlēti katrī 10% no kopējā stumbra augstuma (18.att.).

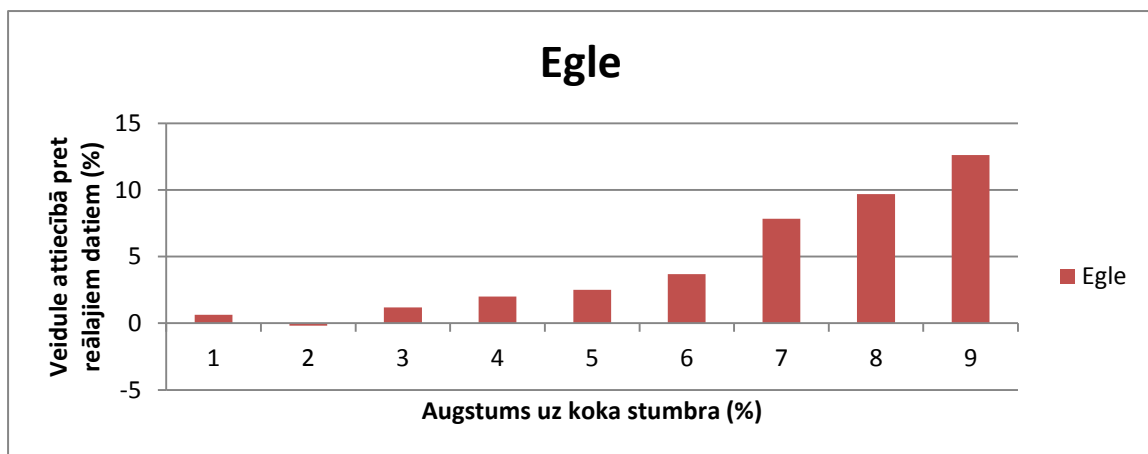


18.att. Piemeklētās veidules salīdzināšana ar reālajiem datiem.

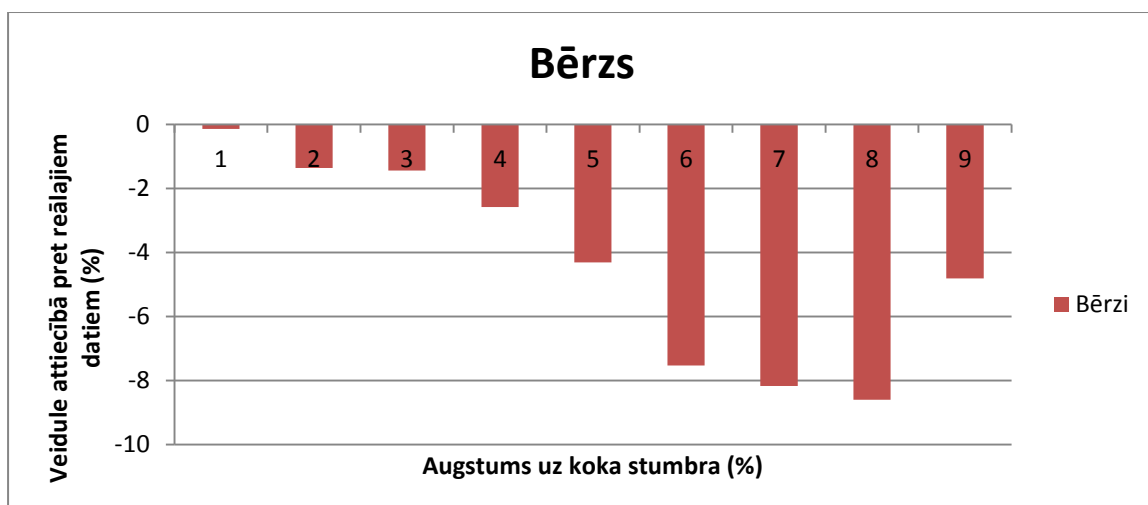
Aprakstītā veidules piemeklēšana un salīdzināšana ar reālajiem datiem tika veikta, datus grupējot pa koku sugām. Attēlos aplūkojams, kāda ir piemeklētā veidule attiecībā pret reālajiem datiem dažādos augstumos uz koka stumbra (19.-21.attēls).



19.att. Piemeklētā veidule priedei

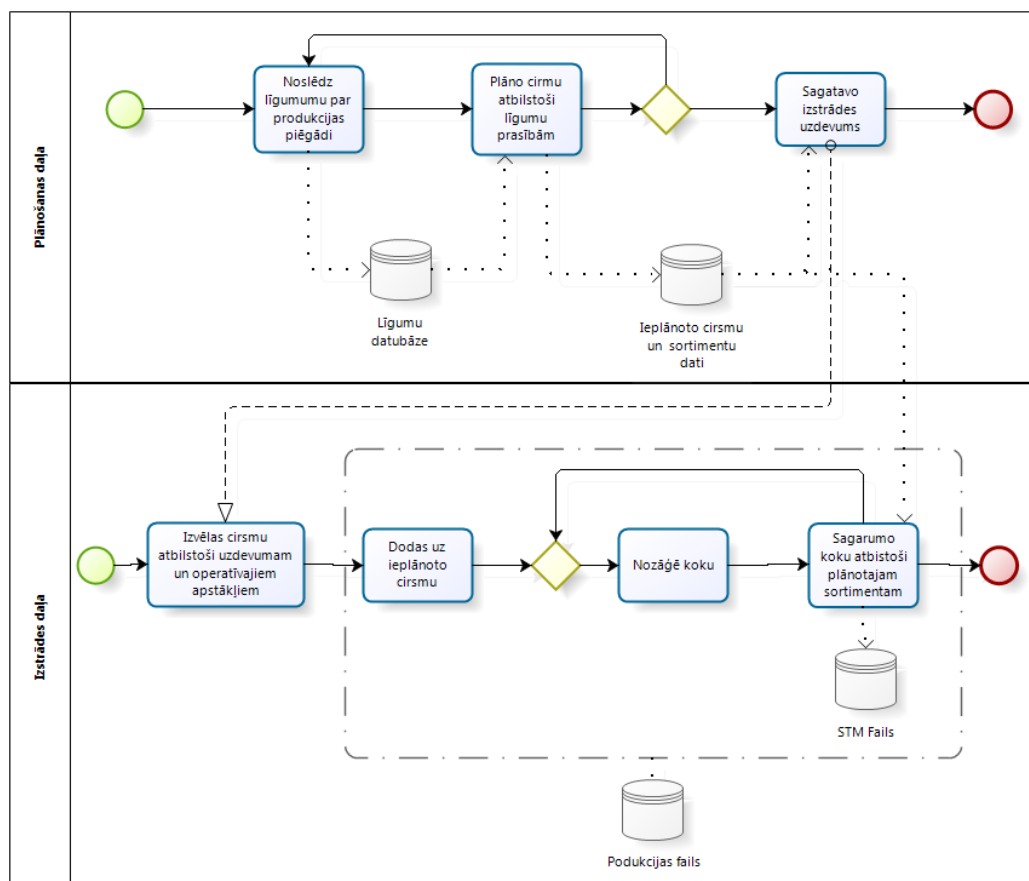


20.att. Piemeklētā veidule eglei



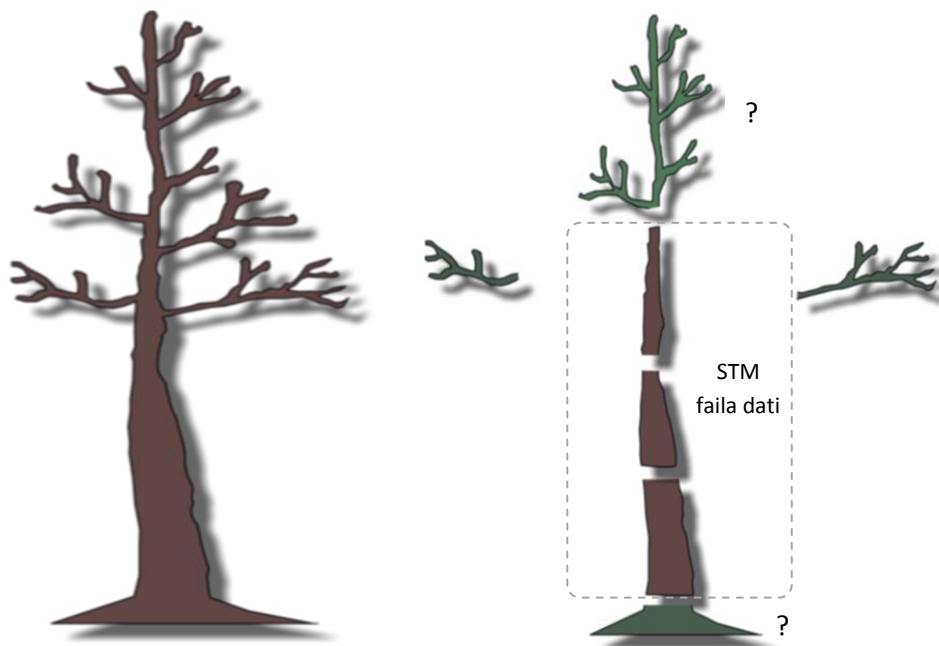
21.att. Piemeklētā veidule bērzam

6. Metodikas izstrāde STM failu uzkrāšanai un izmantošanai liela datu apjoma ieguvei un precīzāku veiduļu sagatavošanai pa reģioniem



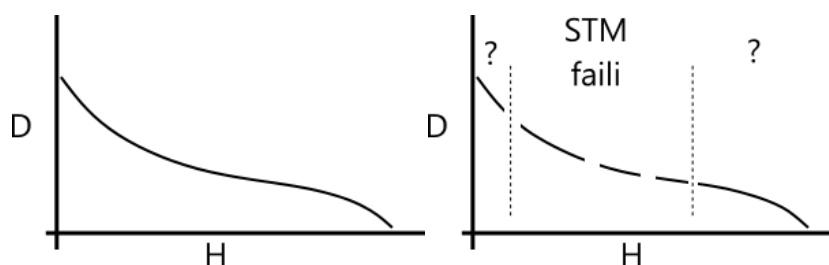
22. att. Izstrādes un plānošanas darbu process

22. attēlā redzams vispārīgs izstrādes un plānošanas darbu procesa modelis, kas nav paredzēts detalizētai analīzei, bet gan veidots ar mērķi izpētīt darbību un datu plūsmas konceptuālā līmenī. Šajā diagrammā tiek modelēta divu uzņēmuma nodaļu darbība, kur pirmā veic plānošanas un otrā izstrādes darbus. Plānošanas daļa vadoties pēc datiem par pieejamo krāju un potenciāli iegūstamo sortimentu apjomiem iespējām slēdz līgumus un ieplāno cirmas atbilstoši līgumu prasībām (sortimentiem, izvietojumiem un citiem izstrādes ierobežojumiem). Izstrādes daļa, izmantojot plānošanas datus un novērtējot operatīvo situāciju, veic izstrādes darbības, kuru rezultātus saglabā produkcijas failos, kas apraksta iegūtos sortimentu apjomus un to dimensijas klases, kā arī STM failos, kas glabā detalizētu informāciju par katru stumbra nogriezni. Iegūtie dati tiek lietoti izstrādes procesa rezultātu uzskaitē, kā arī darbu plānošanas vajadzībām, jo ļauj noteikt dažādus kvalitatīvos un kvantitatīvos rādītājus, kas raksturo izstrādes procesus. Viens no iespējamajiem šo datu izmantošanas virzieniem ir aprēķinos pielietoto veidules vienādojumu koeficientu precizēšana, kas arī tiek apskatīta šajā projektā. Pētījuma ietvaros analizējot STM failu datus, tika konstatēta būtiska problēma, kuras risināšanai veikti papildus lauku datu mērījumi.



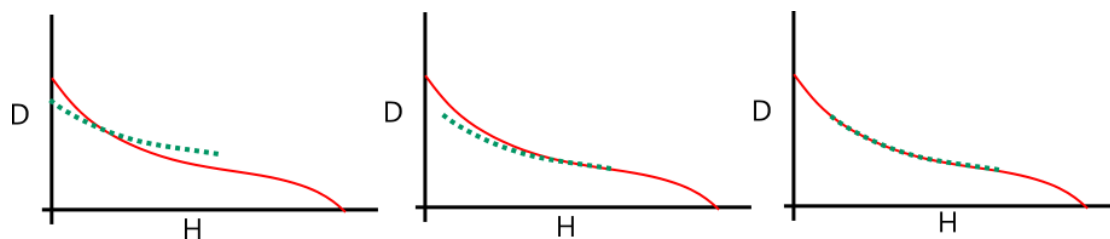
23. att. Stumbra sadalīšana

Veicot izstrādes darbus, stumbrs tiek atzarots un sagarumots atbilstoši iepriekš darba uzdevumā noteiktiem sortimentiem. Informācija par griezuma vietām saglabāta STM failā kopā ar stumbra caurmēra mērījumiem (23. attēls).



24. att. STM faila datu apgabals

STM failā netiek uzglabāti mērījumu dati par pirmās griezuma vietas augstumu, kā arī dati par atlikumiem (galotni un zariem) (24. attēls). Tomēr praktiskai izmantošanai projekta ietvaros izvirzītajam uzdevumam nepieciešami dati par pilnu stumbru, kas ietver gan galotnes, gan celma daļas augstumu un caurmēra mērījumus ar 10-50cm soli. Iepriekšējās nodaļās ir aprakstīta problēmas risināšana, veicot papildus mērījumus. Analogiska problēma ar galotni un celma daļas datu trūkumu ir aktuāla ne tikai apskatītajos uzdevumos, bet arī visos turpmākajos STM datu apstrādes gadījumos un tā būtiski ierobežo to tālāku izmantošanu. Problēmas risinājums ar trūkstošo datu ievākšanu ir sarežģīts un laikietilpīgs, kā arī tas ietekmē izstrādes darbu gaitu. Šo un vairāku citu iemeslu dēļ metode nevar tikt pielietota liela datu apjoma. Otrs risinājums, kura izmantošanas iespējas ir apskatītas projekta ietvaros, balstās uz celma un saknes daļas caurmēru matemātisku noteikšanu ar veidules vienādojuma palīdzību.



25. att. STM faila datu apgabals

Attēlā (25. attēls) zaļajā krāsā ir redzams augstuma un caurmēra grafiks STM failā pieejamajiem datiem, kuram nav zināms celma daļas augstums. Lai to noteiktu, ir realizēts algoritms veidules noteikšanai, kas visprecīzāk atbilst zināmajai stumbra daļai (STM faila datiem). Meklēšana tiek realizēta, mainot triju parametru vērtības:

- pirmā griezuma (sākuma) augstumu;
- krūšu augstuma caurmēru;
- kopējo koka garumu (augstumu).

Detalizētāk šīs metodes darbība ir aprakstīta atskaites iepriekšējās nodaļās. Šādā veidā tiek rekonstruēta pilna informācija par nozāgēto stumbru un pieejamo datu kopa papildināta, lai būtu iespējams veikt tālāku datu analīzi. Iegūto rezultātu izmantošanai ir vairāki potenciāli virzieni:

1. Iegūto sortimentu kvalitātes kontrolēšana, kā arī sortimentu iznākuma prognozēšanas metožu izstrāde.
2. Mežizstrādes darbu uzraudzība: - no STM datiem iespējams aprēķināt taksācijas datus un salīdzināt tos ar reālo taksāciju, un veikt rezultātu salīdzināšanu un iznākuma analīzi.
3. Sortimentu kvalitātes vērtēšana: -no produkcijas failiem var iegūt nozāgēto sortimentu datus, bet no pielāgotajām veidulēm var aprēķināt teorētisko sortimentācijas iznākumu.
4. Reālā laika sortimentācijas risinājumu izstrāde: - no stumbra daļas mērījuma var noteikt sagaidāmo stumbra garumu un caurmēra pakāpes, kas ļauj optimizēt sortimentācijas darbības reālā laikā (harvesters nomēra daļu no stumbra un aptuveni visu kopā, lai noteiktu, kā to sagarumot.)
5. Atlieku apjoma noteikšana: - galotnes un celma daļas atlikumu aprēķināšana.

Visu minēto virzienu attīstīšana ir balstīta uz iepriekš aprakstītā algoritma darbību un tieši atkarīga no tā precizitātes, kas prasa papildus pētījumus. Turpmākos pētījumos jānovērtē veidules piemeklēšanas algoritma darbības precizitāte un iegūstamo rezultātu ticamības pakāpe. Papildus tam ir nepieciešams izstrādāt precīzu metodiku datu iegūšanai katrā no iepriekš aprakstītajiem datu virzieniem. Papildus pētniecības uzdevumi, kas ļautu noteikt metodes lietošanas praktiskās iespējas ir:

1. Sugas ietekme uz algoritma rezultātu ticamības pakāpi.

2. Uzmērītās stumbra daļas garuma ietekme uz veidules piemeklēšanas algoritma darbības precizitāti.

Iepriekš aprakstīto virzienu attīstībai ir svarīgi veikt pilnu datu kopas uzglabāšanu, kuru atbilstoši iepriekš aprakstītajai konceptuālai procesu diagrammai veido līgumu dati, ieplānoto cirsmu un sortimentu dati, STM un produkcijas faili. Pētāmo datu kopai būtu jāglabā informācija par:

1. Precīzu darba uzdevumu (kurā vietā, cik daudz, kādi sortimenti).
2. Precīzu iznākumu (cik daudz un kādi sortimenti) gan no cirsmas, gan no katra koka.
3. Pilnu taksācijas informāciju par cirsmu.

Secinājumi

1. Stumbra veidules mērījumu datu lielākā izkliede vērojama koka stumbra resgaļa daļā. Resgaļa daļas datu papildināšanai un precizēšanai jāturpina veikt mērījumus ar lāzerskeneri. Jānovērtē katra paraugkoka manuālas pirmā sortimenta uzmērīšanas lietderība.
2. Izveidotos stumbra veidules piemērus raksturo augsts determinācijas koeficients (R^2), kas starp apskatītajām koku sugām nav zemāks kā 0.945. Jāturpina pētījumi par iespējamām atšķirībām, kas varētu veidoties atšķirīgos augšanas apstākļos un ģeogrāfiskajos reģionos.
3. Salīdzinot Izveidotos stumbra veidules koeficientus ar R. Ozoliņa stumbra veidulēm, lielākās atšķirības konstatētas stumbra resgaļa daļā veidulēm ar ievērtētu celma daļu. Vērtējot pa koku sugām, lielākās atšķirības ir starp pētījumā iegūtajām un R. Ozoliņa bērza stumbru veidulēm.
4. Uz pilna koka mērījumiem izveidotas stumbra veidules uzrāda lielākas raukuma izmaiņas stumbra resgaļa daļā, salīdzinot ar veidulēm, kas izveidotas uz lāzerskenēra mērījumu datiem. Uzkrāto datu apjoms nav pietiekams, lai atšķirības uzskatītu par pamatotām.
5. Konstatētas atšķirības starp pētījumā izveidotajām stumbra veidulēm un harvestera mērījumiem. Vislielākās atšķirības konstatētas eglei: pie 80-90% no stumbra augstuma faktiskais caurmērs tiek pārsniegts aptuveni par 10-12%. Bērzam šādā stumbra augstumā pētījumos iegūtā veidule dod par apmēram 8% zemāku caurmēra rezultātu nekā faktiskie mērījumi.
6. Pētījumu turpmāku lietderību apliecina starpatskaite 6. nodaļā norādītie pieci potenciālie praktiskas un teorētiskas pētījumu rezultātu izmantošanas virzieni.