

GALA ATSKAITE

5.1.1.2.i.0/1/22/A/CFLA/007_P8 Apažo kokmateriālu kvalitātes noteikšana,
izmantojot mašīnmācīšanās algoritmus, uzmērot individuāli ar automātisko
uzmērīšanas ierīci

Jānis Magaznieks
VMF LATVIA
2025. gada jūlijs

Saturs

1. Priedes un egles zāģbaļķu izvērtējums	3
1.1. Koku sugas atpazīšana un mizas vairuma novērtēšana.....	4
1.2. Koksnes vainu noteikšana.....	11
1.2.1. Zari.....	11
1.2.2. Plaisas	13
1.2.3. Saussāni.....	14
1.2.4. Kodola trupe (meža trupe)	17
1.2.5. Aplievas iekrāsojums (zilējums).....	19
1.3. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība	20
1.4. Kvalitātes klases noteikšanas sakritība	23
2. Bērza finierkluču izvērtējums	27
2.1. Koku sugas atpazīšana un mizas vairuma novērtēšana.....	28
2.2. Koksnes vainu noteikšana.....	31
2.2.1. Zari.....	31
2.2.2. Plaisas	33
2.2.3. Mizas izaugumi un saussāni.....	35
2.2.4. Kodola sēņu bojājumi	36
2.3. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība	37
2.4. Kvalitātes klases noteikšanas sakritība	40
Secinājumi un rekomendācijas	44

1. Priedes un egles zāgbaļķu izvērtējums

Izvērtējot datorredzes tehnoloģiju izmantošanas iespējas apaļo kokmateriālu sugas, mizas vairuma un kvalitātes klases noteikšanā pēc noteikta iemesla (koksnes vainas) tiek izstrādāti attiecīgi datorredzes algoritmu matemātiskie modeļi, kas apmierinātu apaļo kokmateriālu pircēju un pārdevēju vajadzības. Jāpiemin, ka šobrīd apaļo kokmateriālu uzmērīšanas procesā kokmateriālu uzmērītājs katram sortimentam pie katra parametra novērtēšanas fiziski nospiež pogu uz automātiskās uzmērīšanas ierīces pults.

Pētījums īstenots realizējot augstāk minētos uzdevumus visos 4 gadalaikos un dažādās diennakts stundās. Dati salīdzināšanai katrā gadalaikā tiek ievākti diennakts tumšajā un gaišajā laikā, piefiksējot meteoroloģiskos apstākļus. Tā kā ziema Latvijā ir visneprognozējamākais gadalaiks, tad datu ievākšana ir veikta divas ziemas, bet pārējie gadalaiki pa vienai reizei.

No kvalitātes vērtēšanas viedokļa zāgbaļķi ir vissarežģītākais sortiments, jo tiem ir trīs kvalitātes klases. Kvalitātes prasības pa klasēm ir ciešā saistībā ar zāgmateriālu paredzamo pielietojumu un augošu koku zarojuma sakārtojumu. Pētniecības projekta ietvarā koksnes vainu sastopamība tiek vērtēta uz plašāk pārstāvēto kvalitātes klasi – II klasi. Pamatojoties uz to tiek izstrādāti nepieciešamie datorredzes algoritma matemātiskie modeļi.

Kopumā ievērtējot visus gadalaikus ir ievākti vizuālie dati par 869 624 skuju koku zāgbaļķiem. Tika veikta kontrolsortimentu apsekošana pārstrādes vietā, lai pārlicinātos, ka sistēmas funkcionēšana atbilst iepriekš formulētajām prasībām. Vizuālo datu validācijai tika izmantoti 1888 kontrolsortimenti (skat. 1.1. tab.).

1.1. tabula

Vizuālo datu ģenerālkopas raksturojums skuju koku zāgbaļķiem

Gadalaiks	Zāgbaļķi ar vizuālie datiem, gab.	Apsekoto kontrolsortimentu skaits, gab.	Kvalitātes klašu sakritība, %
Ziema (I)	191820	417	95 - 99
Pavasaris	280749	609	94 - 98
Vasara	150420	327	90 - 97
Rudens	98654	214	89 - 97
Ziema (II)	147981	321	91 - 95
Kopā	869624	1888	89 - 99

Kokmateriālu uzmērītāju reģistrēto kvalitātes klašu sakritība pēc kontrolsortimentu izvērtēšanas pārstrādes vietā, ievērtējot gadalaiku svārstās robežās no 89 līdz 99 %.

Marķēšanas vajadzībām nepieciešamo datorredzes algoritmu matemātisko modeļu sagatavošanai atlasīti 7508 skujkoku zāgbaļķu vizuālie dati (paraugkopa), kas nodrošina:

- datorredzes servisa uzstādīšanu koku sugas noteikšanai priedei un eglei;
- atlikušā mizas vairuma noteikšanas servisa uzstādīšanu skujkoku zāgbaļķiem;
- apaļo kokmateriālu kvalitātes kašu iemeslu jeb koksnes vainu atpazīšanas servisa uzstādīšanu skujkoku zāgbaļķiem.

1.1. Koku sugas atpazīšana un mizas vairuma novērtēšana

Pirmā “poga”, ko kokmateriālu uzmērītājs nospiež, ir koku suga. Vietās, kur tiek piegādāti skuju koku zāgbaļķi, jāveic šķirošana pa koku sugām, jo priedes un egles II kvalitātes klases zāgbaļķi tiek piegādāti nešķiroti, attiecīgi, kokmateriālu uzmērītājam šie kokmateriāli ir jāsadala divās koku sugās un, protams, jānodala arī koku sugas, kas nav uzmērīšanas uzdevumā. Koku sugas noteikšana tālākā uzmērīšanas procesā ietekmē vairākus parametrus, lai pēc iespējas precīzāk tiktu aprēķināts apaļo kokmateriālu tilpums. Pirmkārt, tā ietekmē mizas dubultbiezumu, jo katrai koku sugai un stumbra daļai mizas dubultbiezums ir atšķirīgs. Otrkārt, raukums, kas tievgaļa caurmēra uzmērīšanas paņēmiena gadījumā, matemātiski veido konisko apaļā kokmateriālu formu. Katrai koku sugai ir savi raukuma rādītāji, kas savstarpēji būtiski atšķiras.

Apaļam kokmateriālam koku sugu var noteikt, balstoties uz kokauga makrouzbūvi. Makrouzbūve ir kokauga anatomiskās uzbūves elementi, kas saskatāmi ar neapbruņotu aci. Rodas iespējas sugas noteikšanai izmantot ne tikai stumbra pazīmes, bet arī mizu, serdi un zarus. Apaļiem kokmateriāliem miza tiek izmantota kā svarīgākā pazīme koku sugas noteikšanā. Toties zāgmateriāliem ir svarīgs arī zaru izvietojums.

Jauniem kokiem miza ir plāna un gluda. Palielinoties koku vecumam un caurmēram, miza kļūst biezāka, sāk plaisāt un veidojas plēkšņaina un krevelaina miza. Mizas biezums samazinās no koka resgaļa stumbra galotnes virzienā.

Realizējot apaļos kokmateriālus, miza ir pati svarīgākā pazīme koku sugu un sortimentu novērtēšanā. Vispirms tiek vērtēta mizas krāsa, tad faktūra.

Jaunām eglēm krājas kopšanas cirtē miza ir plāna, gluda, pelēcīgi brūna krāsā, savukārt, sasniedzot galvenās cirtes vecumu, miza kļūst pelēcīgāka, biezāka un zvīņaināka (1.1. att.).



1.1.att. Egles apaļie kokmateriāli ar mizu.

Ikdienā visbiežāk nākas atšķirt priedes sortimentus no egles. To nav grūti izdarīt, jo priedes sortimentiem dominē pelēkbrūns vai dzeltenīgi brūns tonis. Stumbra resgaļa daļā biezā, krevelainā, pelēkbrūnā miza pāriet plānā, dzeltenīgi brūnā mizā stumbra galotnes daļā. Priedes apaļiem kokmateriāliem izdala 3 dažādus mizas biezumus (1.2. att.):

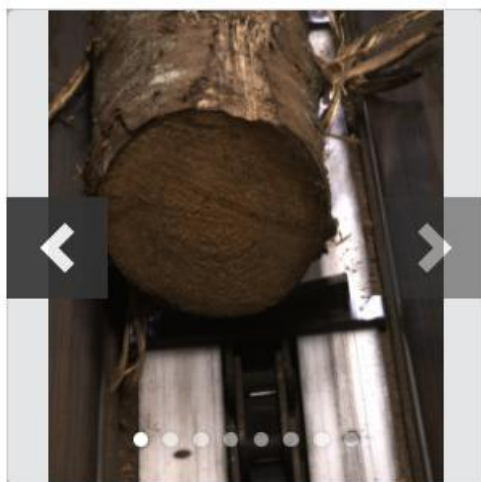
- plāna miza – 1.
- vidēji bieza miza - 2;
- bieza kreves miza - 3;



1.2. att. Priedes apaļo kokmateriālu mizas tipi.

Lai ar datorredzes tehnoloģijām automātiskā režīmā varētu noteikt apaļā kokmateriāla kvalitātes klasi un tās iemeslu, ir vajadzīgi atsevišķi priekšnosacījumi. Pirmais no tiem ir koku sugas atpazīšana, kas ir īstenota sagatavojot sugu atpazīšanas matemātisko modeli.

Pēc video fragmentu izgriešana no video plūsmas, katrā fragmentā redzams viens apaļais kokmateriāls kameras redzes zonā. Izgriezto video fragmentu klasificēšana pa koku sugām notiek, izmantojot sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli (skat. 1.3. att.).



bark_coverage	60%
grade	2
id	179579557
addTime	2025-05-09T16:50:09
measureTime	2025-05-09T16:43:17
topDiamUnderBark	203
endDiamUnderBark	221
cylinderParingDiam1	193
cylinderParingDiam2	193
length	312
specieVmfNumber	1
no_defects	
timber_kind	egle

1.3. att. Izgriezto video fragmentu klasificēšana pa koku sugām.

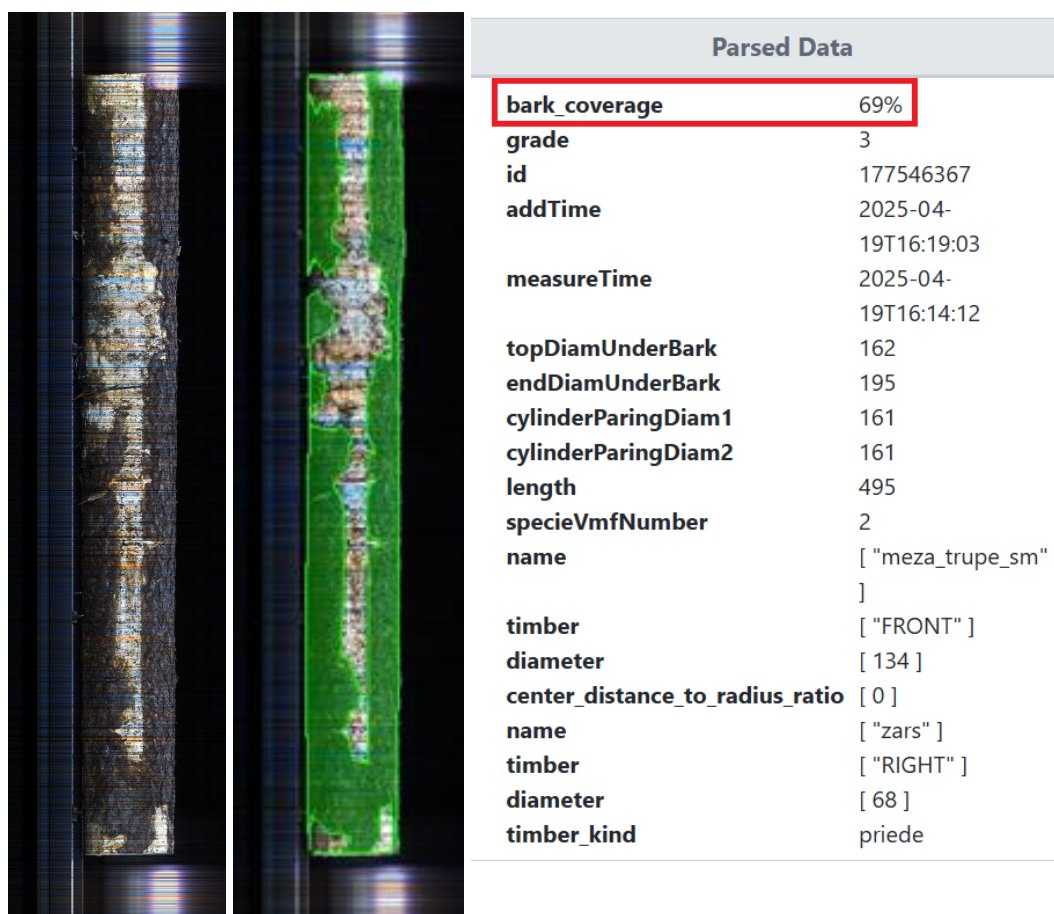
Izgriezto video fragmentu klasificēšanā pa redzamām koku sugām, izmantojot sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli, iespējams nodrošināt 96 % datu sakritību. Tātad koku sugas noteikšanai, sagatavotā datorredzes algoritma matemātisko modeļa kļūda ir 4 % no kuriem 0,1 % veidojas citas skuju koku sugas neatpazīšanas gadījumā.

Lietkoksnes sortimentu tilpuma noteikšanā ņem vērā tikai koksnes apjomu, tāpēc mizas īpatsvars jānorēķina no kopēja tilpuma vai uzmērītā caurmēra ar mizu. Tā kā mizas biezums variē plašās robežās un mežizstrādes procesā katrā darba operācijā tā daļēji tiek nobrāzta, rodas ievērojamas grūtības pareiza kokmateriālu tilpuma novērtēšanā.

Tātad otrā “poga”, ko kokmateriālu uzmērītājs nospiež, ir miza. LVS 82:2024 Apaļo kokmateriālu uzmērīšanas standarts paredz visu apaļo kokmateriālu uzmērīšanu bez mizas, tādēļ atkarībā no koku sugas nepieciešams noteikt mizas dubultbiezuma kategoriju (bieza, vidēja, plāna) un atlikušo vairumu katram kokmateriālam. Izmantojot datorredzes tehnoloģijas video apstrādē, izstrādāta iespēja noteikt atlikušās mizas vairumu bez cilvēka klātbūtnes.

Lai uzlabotu apaļo kokmateriāla tilpuma noteikšanas precizitāti, izmantojot datorredzes tehnoloģijas tiek novērtēts arī mizas vairums. Izmantojot *line scan* kameru vizuālos datus ar datorredzes tehnoloģiju palīdzību ir iespējams novērtēt ne tikai koku sugu, bet arī atlikušo mizas vairumu uz novērtējamās apaļā kokmateriāla sānu virsmas.

Video fragmentu sagatavošana tiek veikta no *line scan* kameru plūsmas, katrā fragmentā redzama viena apaļā kokmateriāla sānu plakne (kopā tiek izvērtētas 3 sānu plakņu vizuālie dati). Pēc apstrādes ar sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli ir redzamas mizas kontūras uz apaļā kokmateriāla sānu virsmas (skat. 1.4. att.).



1.4. att. Mizas kontūras laukuma uzmērīšana uz apaļā kokmateriāla sānu virsmas.

Kopējā mizas kontūras laukuma uzmērīšanu un mizas vairuma novērtēšanu veic matemātiski, aprēķinot procentuāli mizas nosepto īpatsvaru no kokmateriāla sānu virsmas.

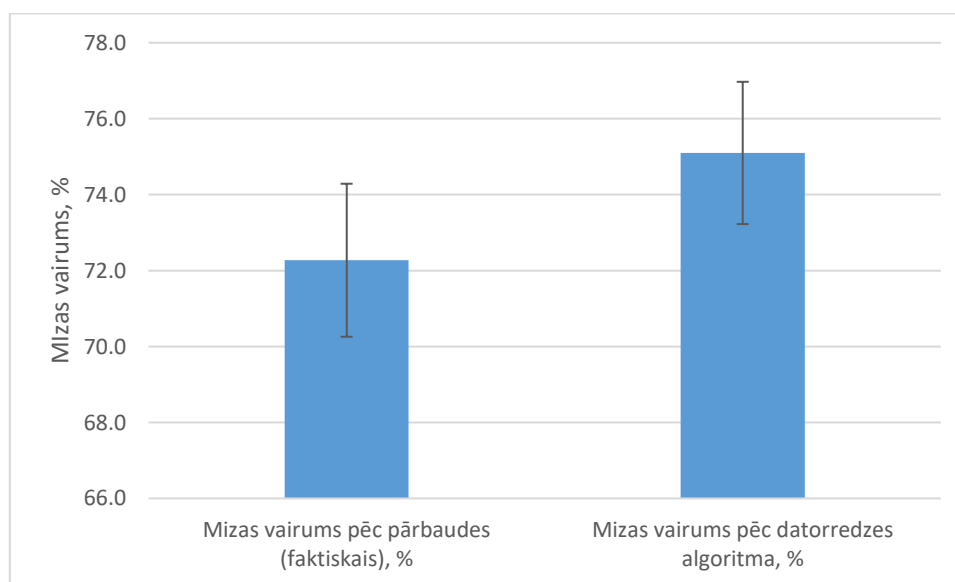
Precizitātes novērtēšanai uz programmatūras ar attēlu apstrādes un analīzes iespējām, izvērtēti apaļo kokmateriālu sānu plakņu vizuālie dati, manuāli novērtējot mizas nobrāzuma laukumus un atlikušās mizas vairumu. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar mizas vairumu, kas iegūts izmantojot sagatavoto datorredzes algoritmu. Kopumā novērojams, ka izmantojot datorredzes algoritmu mizas vairuma novērtēšanā vidēji tiek noteikts lielāks mizas vairums – 75,1 %, salīdzinot ar manuāli iegūtiem rezultātiem (faktisko mizas vairumu) – 72,3 % (skat. 1.2. tab.).

1.2. tabula

Mizas vairuma novērtēšanas salīdzinājums skujkoku zāgbaļķiem

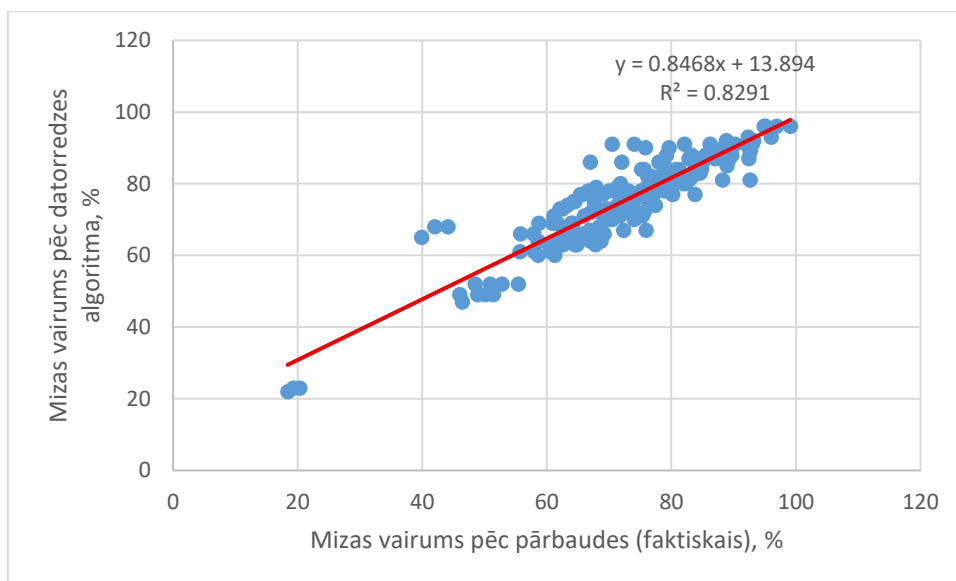
Rādītājs	Mizas vairums, % (manuāli)	Mizas vairums, % (datorredze)
Vidēji	72,3	75,1
Standartklūda	1,0	0,9
Standartnovirze	13,6	12,7
Minimums	18,4	22,0
Maksimums	99,1	96,0
Nov. skaits	183	183

Lai noteiktu, vai mizas vairums statistiski būtiski atšķiras atkarībā no vērtēšanas metodes (manuāli un pēc datorredzes algoritma) rādītāju vidējās vērtības grafikā attēlo kopā ar ± 2 standartklūdām. Divu neatkarīgo paraugkopu vidējo vērtību ± 2 standartklūdas raksturo (ietver) 95% ticamības intervālu. Ja divas neatkarīgas paraugkopas ar 95% ticamības intervālu pārklājas viena ar otru, tad to starpība nebūs statistiski būtiska (skat. 1.5. att.).



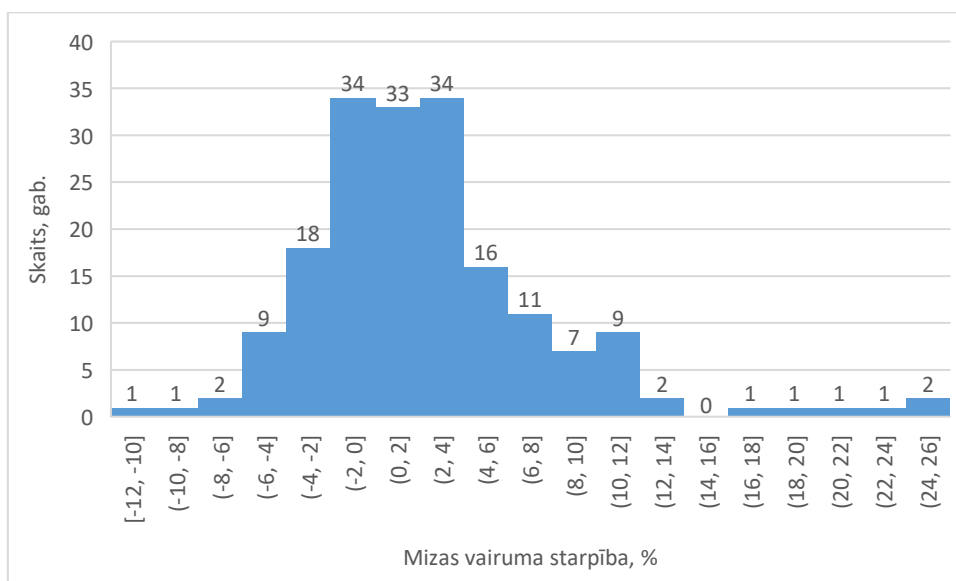
1.5. att. Novērtētā mizas vairuma salīdzinājums skujkoku zāgbaļķiem.

Izmantojot datorredzes algoritmu mizas vairuma novērtēšanā, vidēji noteiktais mizas vairums būtiski neatšķiras no manuāli iegūtiem rezultātiem. Kopumā novērojama situācija, ka palielinoties faktiski novērtētam mizas vairumam palielinās arī ar datorredzes algoritma matemātisko modeli prognozētais mizas vairums (skat. 1.6. att.).



1.6. att. Faktiskā un datorredzes algoritma noteiktā mizas vairuma salīdzinājums skuju koku zāģbaļķiem.

Izvērtējot datorredzes algoritma matemātiskā modeļa kļūdu mizas vairuma novērtēšanā, var novērot, ka lielākā daļa novirzes (55 %) iekļaujas robežās no -2 līdz 4 % (skat. 1.7. att.).



1.7. att. Faktiskā un datorredzes algoritma noteiktā mizas vairuma starpība.

Tā kā skujkoku zāģbaļķi tiek sagatavoti no priedes un egles, tad noteiktā mizas vairuma izvērtējums veikts ievērtējot arī koku sugu.

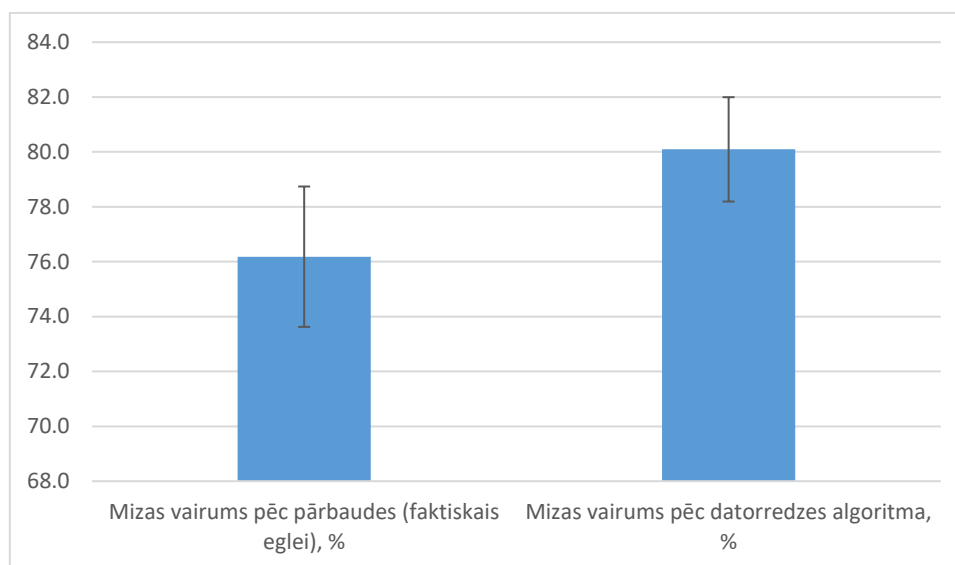
Atsevišķi izvērtējot egles zāģbaļķus novērojams, ka izmantojot datorredzes algoritmu mizas vairuma novērtēšanā vidēji tiek noteikts lielāks mizas vairums – 80,1 %, salīdzinot ar manuāli iegūtiem rezultātiem (faktisko mizas vairumu) – 76,2 % (skat. 1.3. tab.).

1.3. tabula

Mizas vairuma novērtēšanas salīdzinājums egles zāģbaļķiem

Rādītājs	Mizas vairums, % (manuāli)	Mizas vairums, % (datorredze)
Vidēji	76,2	80,1
Standartklūda	1,3	1,0
Standartnovirze	12,5	9,3
Minimums	39,9	61,0
Maksimums	99,1	96,0
Nov. skaits	96	96

Attēlojot rādītāju (manuāli un pēc datorredzes algoritma) vidējās vērtības grafikā kopā ar ± 2 standartklūdām var novērot, ka divu neatkarīgu paraugkopu 95% ticamības intervāli pārklājas viens ar otru, līdz ar to starpība nav statistiski būtiska (skat. 1.8. att.).

**1.8. att. Noteiktā mizas vairuma salīdzinājums egles zāģbaļķiem.**

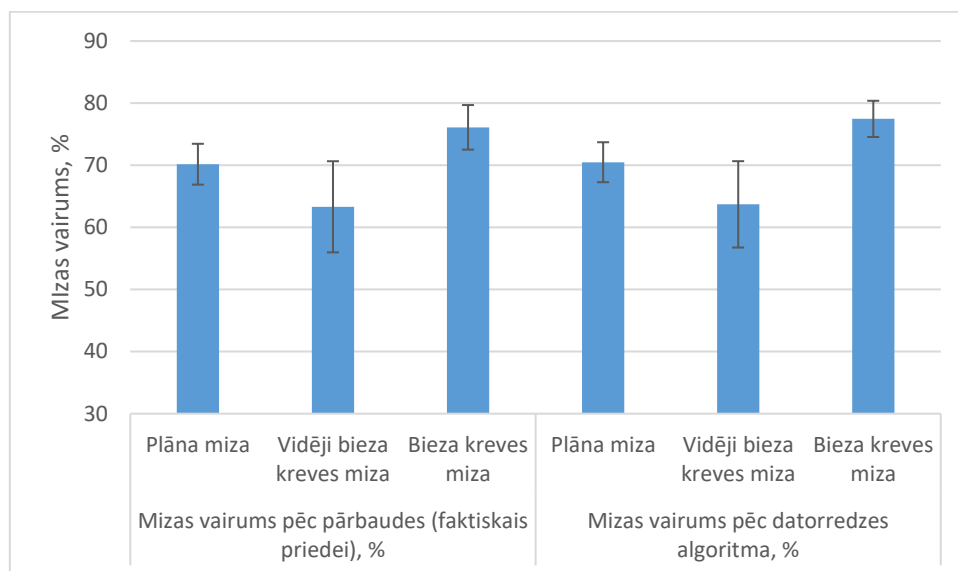
Atsevišķi izvērtējot priedes zāģbaļķus tiek ņemti vērā arī 3 mizas tipi - plāna miza, vidēji bieza miza un bieza kreves miza. Ņemot vērā mizas tipus novērojams, ka pēc datorredzes algoritma vidēji tiek noteikts lielāks mizas vairums, salīdzinot ar manuāli iegūtiem rezultātiem, bet starpība nepārsniedz 1,4 % vienības (skat. 1.4. tab.).

1.4. tabula

Mizas vairuma novērtēšanas salīdzinājums priedes zāģbaļķiem

Rādītājs	Mizas vairums, % (manuāli)			Mizas vairums, % (datorredze)		
	Plāna	Vidēja	Bieza	Plāna	Vidēja	Bieza
Mizas tips						
Vidēji	70,2	63,3	76,1	70,5	63,7	77,5
Standartklūda	1,6	3,7	1,8	1,6	3,5	1,5
Standartnovirze	11,0	19,1	6,9	10,8	18,1	5,6
Minimums	46,0	18,4	64,2	49,0	22,0	69,0
Maksimums	89,3	92,4	89,7	87,0	87,0	88,0
Nov. skaits	45	27	15	45	27	15

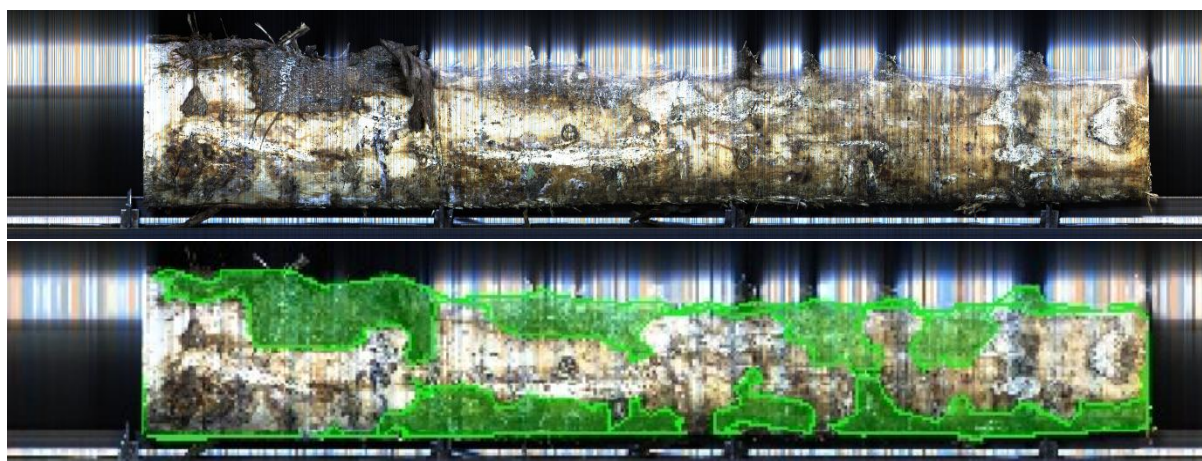
Attēlojot dažādu mizas tipu vidējās mizas vairuma vērtības grafikā kopā ar ± 2 standartklūdām var novērot, ka mizas tipa ietvarā starpība nav statistiski būtiska starp manuāli iegūto faktisko mizas vairumu un datorredzes algoritma matemātiskā modeļa noteikto mizas vairumu (skat. 1.9. att.).



1.9. att. Noteiktā mizas vairuma salīdzinājums priedes zāģbaļķiem.

Ir sagatavots datorredzes algoritma matemātiskais modelis esošā mizas vairuma novērtēšanai skuju koku zāģbaļķiem, kura novērtētais mizas vairums būtiski neatšķiras no manuāli iegūtā faktiskā mizas vairuma. Lai varētu automatizēt mizas vairuma novērtēšanu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.06 “Mizas redukcija” nepieciešams sagatavot datorredzes algoritma matemātisko modeli mizas tipu atpazīšanai priedes zāģbaļķiem.

Izvērtējot datorredzes algoritma matemātisko modeli esošā mizas vairuma novērtēšanai skuju koku zāģbaļķiem, novērojams, ka egles zāģbaļķiem ir plašāka noviržu izkliede un vidēji tiek noteikts lielāks mizas vairums uz kokmateriāla sānu virsmas. Tas skaidrojams ar to, ka mežizstrādes procesā katrā darba operācijā miza daļēji tiek nobrāzta un kokmateriāliem, kas ilgstoši glabājušies labvēlīgos apstākļos uz sānu virsmas attīstās pelējums un/vai zilējums, ko datorredzes algoritms reģistrē kā mizu. Līdzīga situācija veidojas gadījumos, kad uz kokmateriālu sānu virsmas novērojams minerālu piejaukums (skat. 1.10. att.).

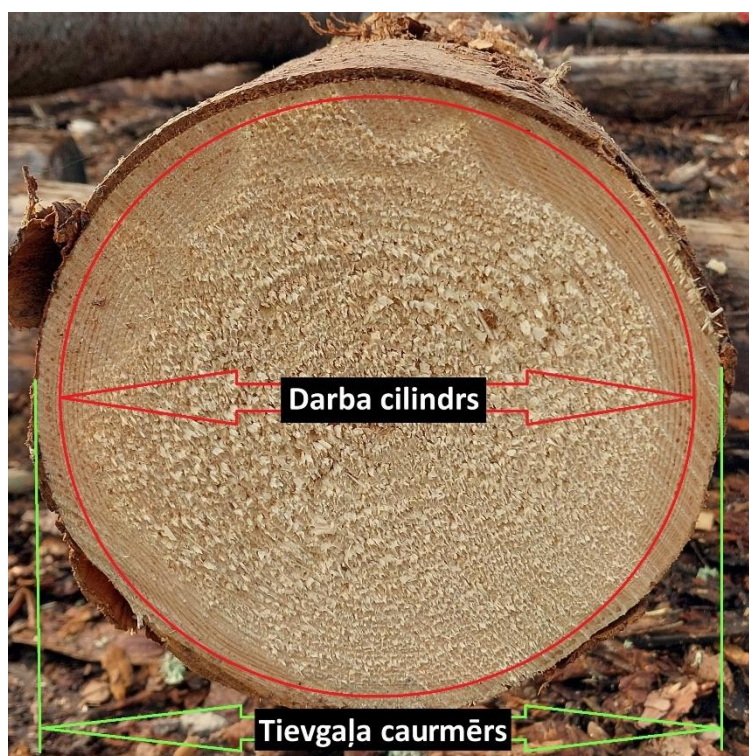


1.10. att. Pelējuma, zilējuma un minerālu piejaukuma atpazīšana kā miza.

1.2. Koksnes vainu noteikšana

Šajā apakšnodaļā noraksturotas skuju koku zāģbaļķu kvalitātes prasības un koksnes vainu uzmērīšana, kas nepieciešama lai nodrošinātu sekmīgu mašīnmācības procesu izmantojot datorredzes tehnoloģijas skuju koku zāģbaļķu kvalitātes novērtēšanā.

Vērtējot apaļo kokmateriālu kvalitāti, tiek vērtēta koksnes vainu ietekme uz darba cilindru, piemēram, gāšanas un sagarumošanas plaisām un vaļējiem saussāniem. Līdz ar to katram zāģbaļķim atsevišķi tiek noteikts **darba cilindrs, kas ir vienāds ar zāģbaļķa tievgaļa caurmēru mīnus 1 cm** (skat. 1.11. att.). Ja zāģbaļķis ir ovāls, tad par darba cilindru pieņem mazāko zāģbaļķa tievgaļa caurmēru.



1.11. att. Zāģbaļķa tievgaļa caurmērs un darba cilindrs.

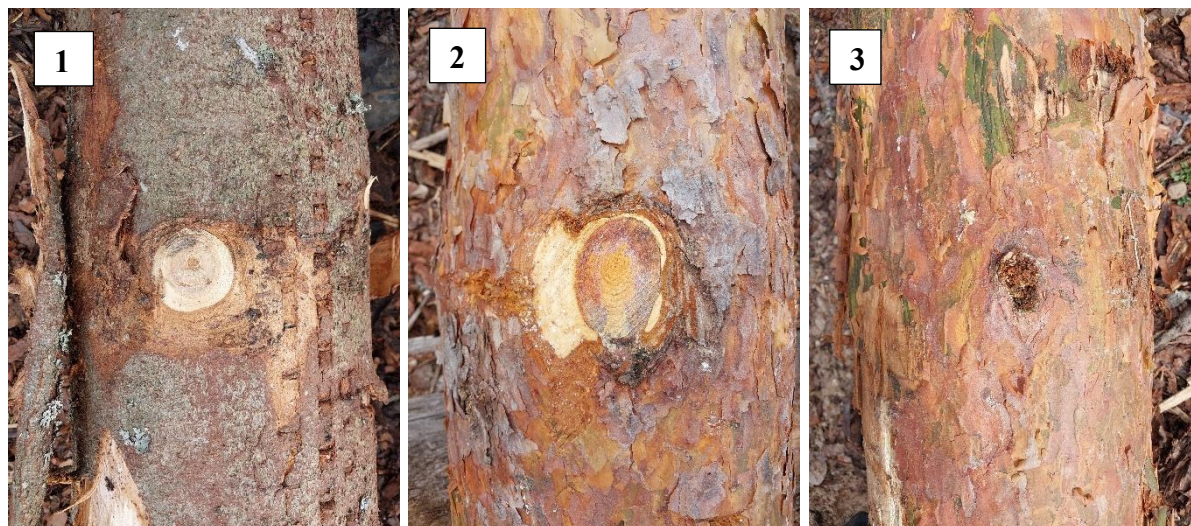
1.2.1. Zari

Aplūkojot apaļos kokmateriālus, par zariem sauc stumbra koksni iekļauto zara daļu. Izšķir trīs veidu zarus: apaugušus, vaļējos un to īpašu veidu padēlu. Pētniecības projekta ietvarā vērtējot koksnes vainu sastopamību II kvalitātes klases zāģbaļķiem galvenā vērība tiek pievērsta vaļējiem zariem. Par vaļējiem sauc zarus, kas atzarošanas brīdī izvirzīti virs stumbra virsmas, bet pēc atzarošanas zara pamatne redzama uz apaļā sortimenta izliktās virsmas. Izmantojot *line scan* kameras tiek iegūti vizuālie dati un izstrādāts datorredzes algoritma matemātiskais modelis vaļējo zaru atpazīšanai.

Vaļējos zarus iedala pēc koksnes stāvokļa:

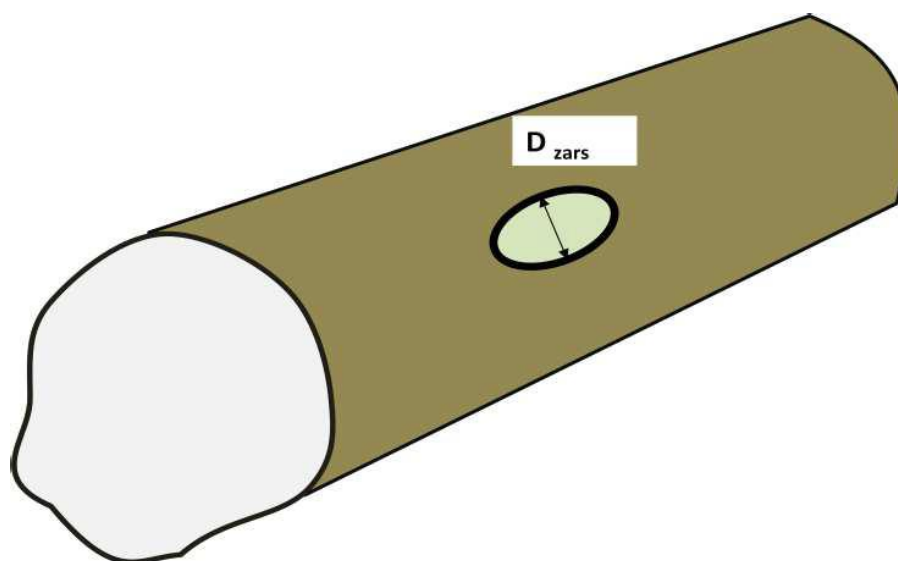
- veseli;
- nokaltuši;
- trupējuši.

Veseli saauguši zari veido dzīvo vainaga daļu, zaru koksne ir bez trupes pazīmēm un saaugusi ar stumbra koksni. Nokaltuši zari ir ar sausu, atmirušu, tumšāk iekrāsotu koksni, bez trupes un mazāk nekā $\frac{1}{4}$ no zara perimetra ir saaugusi ar stumbra koksni. Stumbra zaru daļā sastopami arī trupējuši zari ar trupes pazīmēm, kuriem ir mīkstāka koksne vai novērojami padziļinājumi stumbra virsmā ar irdenu koksnes masu (skat. 1.12. att.).



1.12. att. Vaļēji zari uz skuju koku zāgbaļķu sānu virsmas – vesels (1), nokaltis (2), trupējis (3).

Ar datorredzes tehnoloģiju palīdzību bez zaru veida noteikšanas jānovērtē arī to caurmērs. Zara caurmēru uzmēra tā šaurākajā virzienā bez mizas (skat. 1.13. att.). Veselam zaram caurmēru uzmēra apkārt zara vistumšākajam ārējam gadskārtu gredzenam.



1.13. att. Zara caurmēra uzmērīšana.

Lai varētu novērtēt zaru caurmēru uz vizuāliem datiem zaru pielīdzina riņķa līnijai vai elipsei ar divām simetrijas asīm, kas ir savstarpēji perpendikulāras. Zara caurmēra raksturošanai izmanto īsāko no divām simetrijas asīm (skat. 1.14. att.).



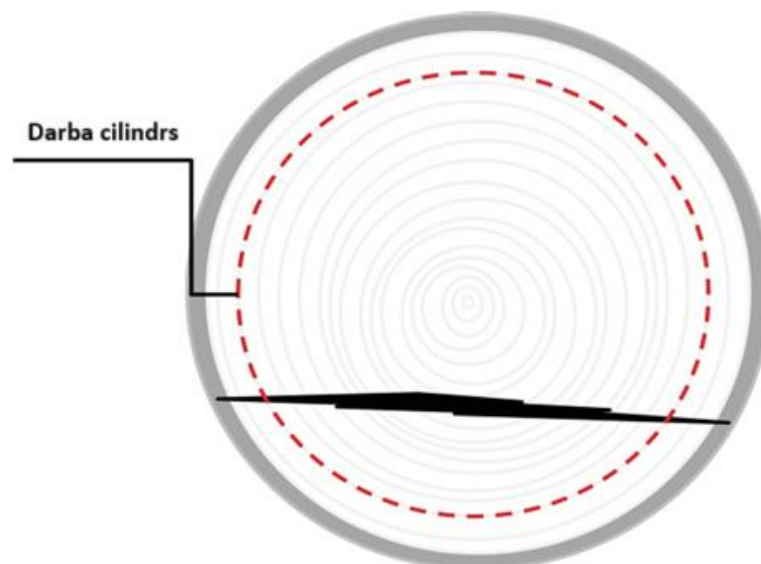
4. att. Zaru pielīdzināšana elipsei caurmēra novērtēšanā.

II kvalitātes klases priedes zāgbaļķiem maksimāli pieļaujamais zara caurmērs ir 10 cm, bet II kvalitātes klases egles zāgbaļķiem maksimāli pieļaujamais zara caurmērs ir 8 cm.

1.2.2. Plaisas

Plaisas ir koksnes šķiedru pārrāvums, kas rodas, kokam augot, to gāžot vai sagarumojot un sortimentiem žūstot uzglabāšanas laikā. Plaisas izjauc koksnes viengabalainību un samazina stiprības rādītājus.

Gāšanas un sagarumošanas plaisas var rasties koku gāšanas un/vai sagarumošanas rezultātā, kas redzamas sortimenta gala plaknē, bet neiet caur serdi, un turpinās arī garenvirzienā. Vērtē, vai koksnes vaina ietekmē kokmateriāla darba cilindru (skat. 1.15. att.).



1.15. att. Gāšanas un sagarumošanas plaisas ietekme uz darba cilindru.

Par gāšanas un sagarumošanas plaisu uzskata tad, kad tā šķel kokmateriāla gala un sānu virsmu divās vietās un plaisa turpinās kokmateriāla sānu virsmā (skat. 1.16. att.).



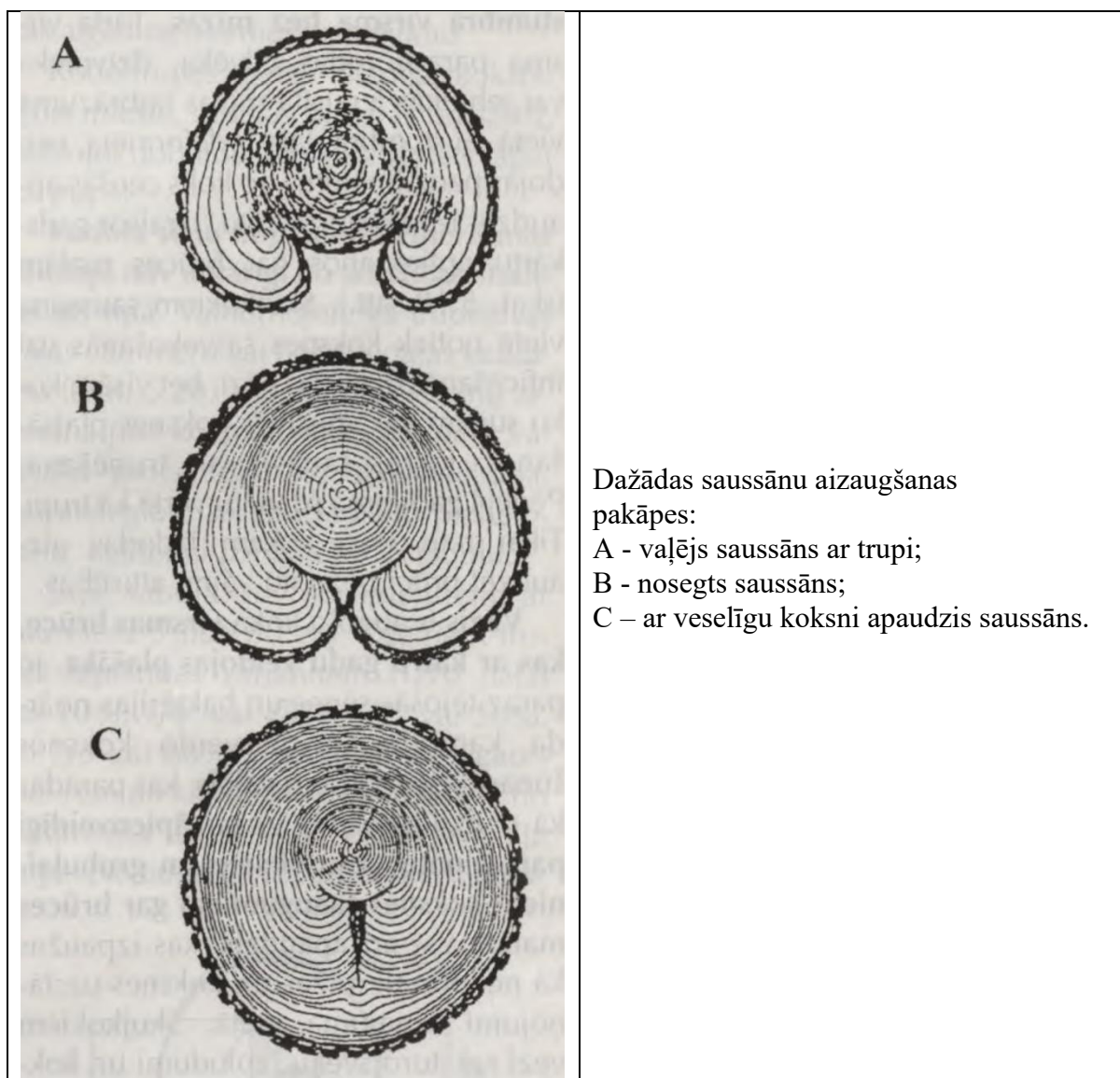
1.16. att. Gāšanas un sagarumošanas plaisa skuju koku zāģbaļķu gala plaknē

Zāģbaļķis ir novērtējams, kā kvalitatīvs, ja gāšanas un/vai sagarumošanas plaisa neskar darba cilindru. Ja skar darba cilindru, tad ir iespējams veikt caurmēra redukciju 1 vai 2 cm apmērā, bet ja izvēlētā redukcija nenovērs izbrāķēšanu un/vai kvalitātes klases samazinājumu, tad kokmateriālu brāķē.

1.2.3. Saussāni

Saussāni ir augošam kokam atmirusi stumbra virsma bez mizas. Tāda virsma parasti rodas cilvēka, dzīvnieka vai tehnikas izraisīta mizas nobrāzuma vietā. Šī stumbra daļa ir deformēta, veidojas padziļinājums, jo koks cenšas apaudzēt izveidojušos rētu, izraisot gadskārtu apliekšanos gar brūces malām (skat. 1.17. att.). Skujkokiem saussāna vietā notiek

koksnes sasveķošanās vai inficēšanās ar sveķu vēzi, bet visām koku sugām var attīstīties koksnes plaisāšana, iekrāsošanās vai trupēšana. Pēdējā gadījumā šo vietu vērtē kā trupi. Tikai retu reizi kokam izdodas aizaudzēt brūci bez citu vainu attīstības.



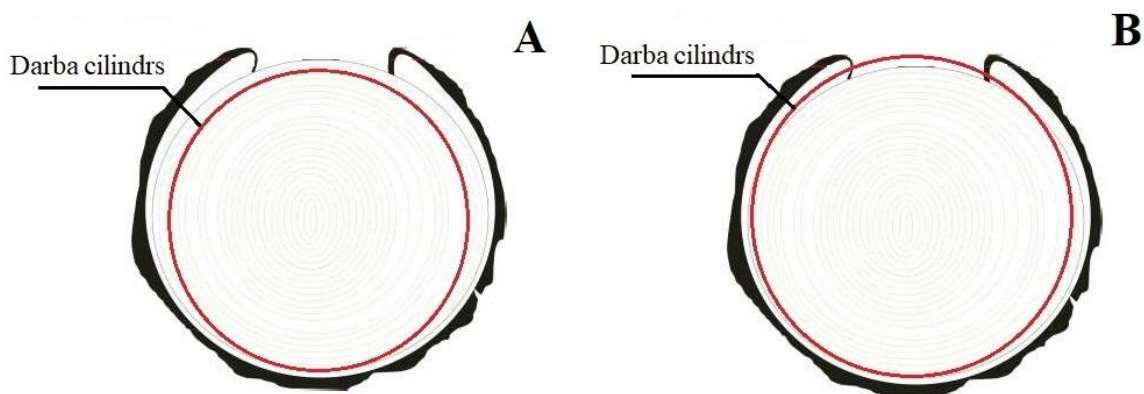
1.17. att. Dažādas saussānu aizaugšanas pakāpes.

II kvalitātes klases skuju koku zāģbaļķiem kvalitātes prasībās atsevišķi izdalīts vaļējs saussāns un apaudzis saussāns. Vaļējs saussāns ir ar mizu daļēji apaudzis bojājums stumbra virsmā, kuram redzama atmirusī koksne (skat. 1.18. att. A). Savukārt apaudzis saussāns ir ar mizu pilnībā apaudzis bojājums stumbra virsmā, kura dziļums nav redzams no sānu virsmas (skat. 1.18. att. B).



1.18. att. Vaļējs (A) un apaudzis (B) saussāns.

II kvalitātes klases skuju koku zāģbaļķiem vaļēju saussānu pieļauj tikai ārpus darba cilindra, bet apaugušu saussānu pieļauj. Līdz ar to tālāk raksturota vaļēja saussāna novērtēšanā skuju koku zāģbaļķa gala plaknē. Vērtējot vaļēju saussānu, galvenā izmanība vērsta uz to vai koksnes bojājums ietekmē zāģbaļķu darba cilindru (skat. 1.19. att.).

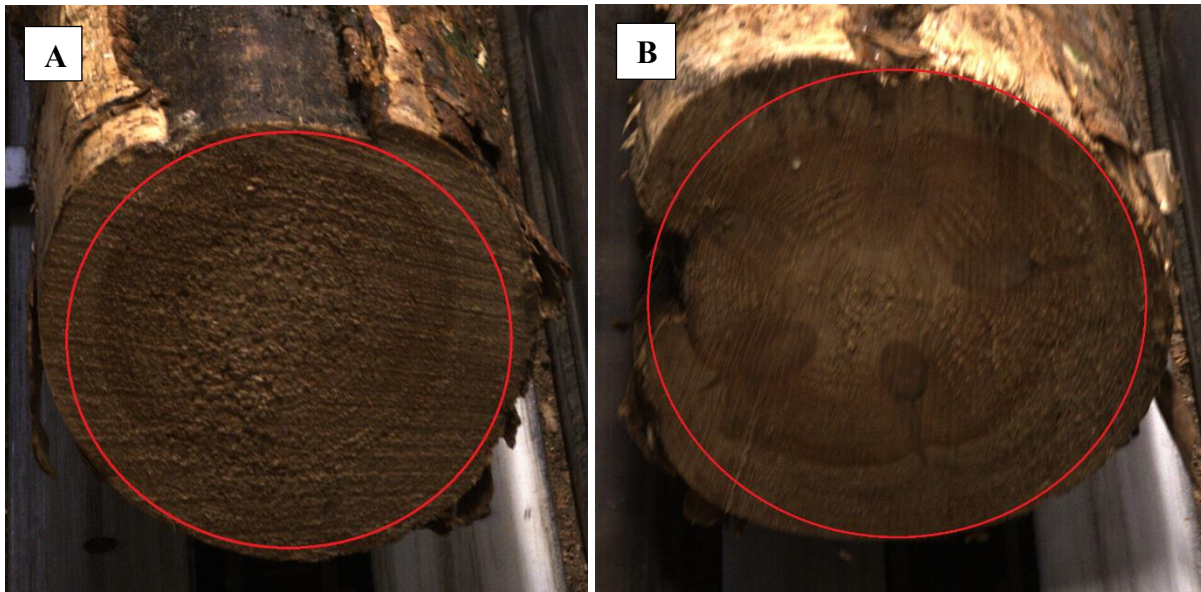


1.19. att. Vaļēja saussāna ietekme uz darba cilindru:

A – neietekmē darba cilindru;

B - ietekmē darba cilindru.

Izmantojot vizuālos datus saussānu vērtēšanā, sākotnēji jāatpazīst vaļējs saussāns un pēc tam nosaka vai koksnes bojājums ietekmē zāģbaļķa darba cilindru (skat. 1.20. att.). Ja vaļējs saussāns ietekmē darba cilindru iespējams pielietot caurmēra redukciju 1 vai 2 cm. Ja caurmēra redukcija nenovērš izbrāķēšanu un/vai kvalitātes klases samazinājumu, tad kokmateriālu brāķē.



1.20. att. Valēja saussāna novērtēšana izmantojot vizuālos datus:

A – neietekmē darba cilindru;

B - ietekmē darba cilindru.

1.2.4. Kodola trupe (meža trupe)

Koksni bojājošās sēnes ir "specializējušās" - vienas attīstās uz augošiem kokiem, citas vairojas uz nocirstas koksnes. Tikai daļa no tām apsēdušas kā augošus kokus, tā arī nocirstu koksni. Sēņu infekcijas attīstības sākumstadijā koksne tikai iekrāsojas un tās fizikāli mehāniskās īpašības jūtami nemainās. Tālākajos sēņu attīstības posmos sākas koksnes trupēšana, kas ievērojami samazina tās vērtīgās īpašības. Trupēšanas beigu stadijā koksne maina savu struktūru, kļūst čaugana, plaisā un dažkārt pat sairst. Sēņu bojājumus līdz ar to iedala pēc novietojuma (kodola vai aplievas), krāsas un attīstības stadijas.

Kodola krāsojumi ir visām koku sugām raksturīga sēņu bojājumu sākotnējā stadija. Krāsojuma forma, lielums un tonis ir dažāds: krāsaini plankumi, joslas vai nepārtraukti laukumi. Tas viss var būt brūns, iesarkans, pelēks, violets līdz pat melnam. Nocirstā koksne bojājums tālāk parasti neattīstās. Kodola krāsojumi pasliktina koksnes dekoratīvo izskatu, palielina ūdens caurlaidību, bet jūtami nepazemina stiprību, tālab zāģējuma plakne ir vienāda gluduma.

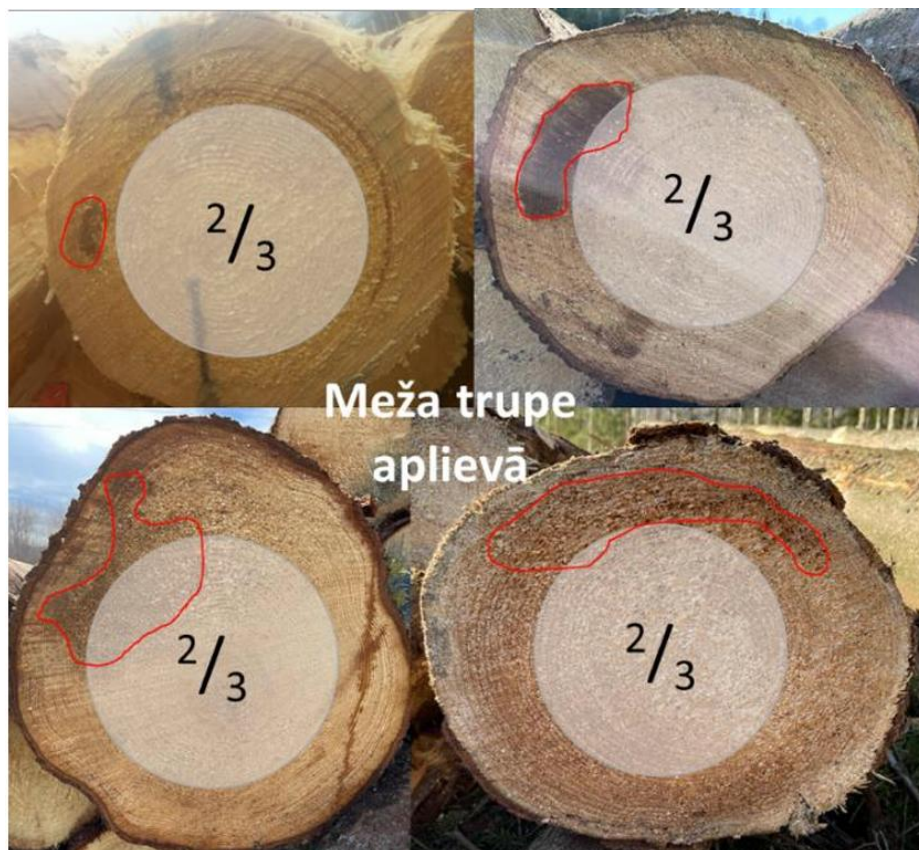
Kodola trupe ir sēņu bojājumu otrā attīstības stadija, kad ne tikai izmainās krāsa, bet arī samazinās koksnes mehāniskās īpašības. Skuju kokiem kodola trupe attīstās galvenokārt brūnā krāsā. Kodoltrupes beigu stadijā koksne kļūst mīksta, sadalās šķiedrās un sairst, veidojot dobumu, kas tiek vērtēts tāpat kā trupe

Priedes zāģbaļķu gala plaknēs novērojami priežu cietpiepes *Phellinus pini* (Thore.: Fr.) A. Ames bojājumi, kas attīstās uz augošiem kokiem inficējot tos caur nolūzušiem zariem un sānu virsmas bojājumiem. Sēņu bojājumi sākas kā sarkanīgs koksnes iekrāsojums centrālajā daļā un attīstās stumbra garenvirzienā, bieži vien līdzīgs kodola koksnei, kas apgrūtina tās konstatēšanu pēc vizuāliem datiem (skat 1.21. att.). Kodola trupi tai skaitā dobumu II kvalitātes klases priedes zāģbaļķiem nepieļauj.



1.21. att. Priežu cietpiepes *Phellinus pini* sēņu bojājums (meža trupe) priedes zāgbaļķa gala plaknē.

Kodola trupi tai skaitā dobumu II kvalitātes klases egles zāgbaļķiem pieļauj saskaņā ar vainas vērtēšanu. Ja trupe iet cauri kodola centram, tad kokmateriāls brāķējams. Ja kodola trupe koncentrēta vienā malā, tad kokmateriālu nebrāķē pie nosacījuma ka tā ir ārpus $\frac{2}{3}$ no gala plaknes caurmēra (skat 1.22. att.).



1.22. att. Meža trapes vērtēšana II kvalitātes klases egles zāgbaļķiem.

1.2.5. Aplievas iekrāsojums (zilējums)

Aplievas iekrāsojumi (zilējums) sākas sortimentu gala plaknēs un no sānu virsmas attīstās virzienā uz kodolu. Sortimenta šķērsgriezumā attīstās kā ķīļveida vai citas formas traipi, kamēr pārņem visu aplievu. Skuju koku kokmateriāliem zilējums ir iekrāsojums pelēkā krāsā ar zilganu vai zaļganu nokrāsu. Nosakot kokmateriālu kvalitāti pēc vizuālo datu apstrādes, attiecīgo krāsu iekrāsojums tiek izmantots zilējuma konstatēšanai.

Līdzšinējā praksē vērtējot aplievas sēņu bojājumus (zilējumu), uzmēra vainas dziļumu kokmateriālu gala un sānu virsmā. Apaļais kokmateriāls ar koksnes vainu zilējums tiek uzskatīts, ja ir veikts mehānisks iecirtums koksnei un uzmērīts zilējuma dziļums koksnei. Ja zilējums nav dziļāks par 3 mm, tad kokmateriāls ir uzskatāms par atbilstošu. Līdz ar to pēc vizuālo datu apstrādes tikai pēc iekrāsojuma ne vienmēr iespējams pārliecināties par zilējuma klātesamību (skat. 1.23. att.).



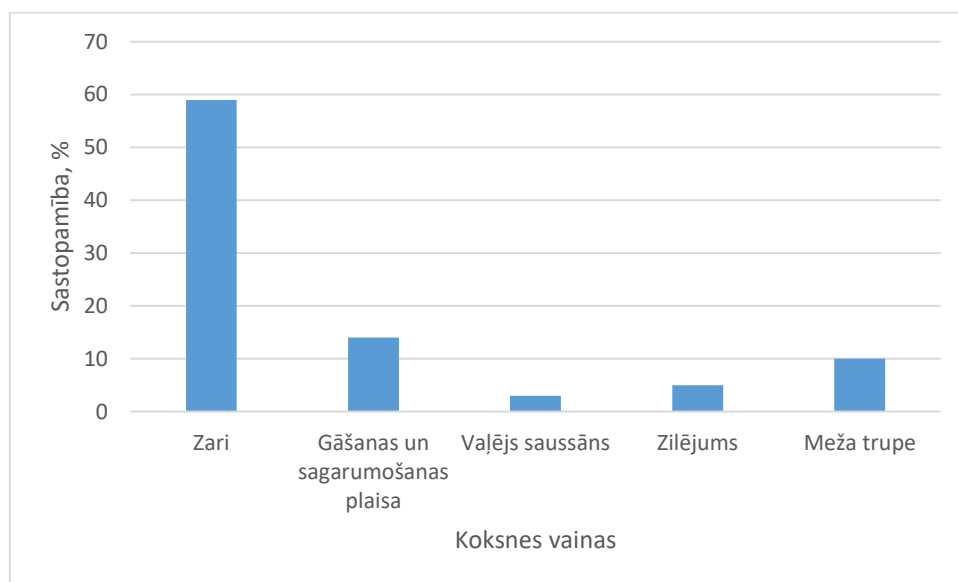
1.23. att. Zilējums uz priedes zāgbaļķu gala plaknēm.

1.3. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība

Šajā apakšnodaļā izklāstīts skuju koku zāgbaļķu kvalitātes klašu iemeslu jeb 5 koksnes vainu (aprakstītas iepriekš) noteikšanas servisa precizitātes izvērtējums. Kā ieejas dati tiek izmantoti apaļo kokmateriālu gala plakņu un sānu virsmu vizuālie dati (datorredzes servisa izgriezto video fragmenti) uz kuriem tiek identificētas un uzmērītas 5 koksnes vainas, kas kalpo kā pamats skuju koku zāgbaļķu kvalitātes klases noteikšanai.

Lai novērtētu izstrādātos datorredzes algoritma matemātiskos modeļus koksnes vainu atpazīšanai un novērtēšanai, sākotnēji iegūtos un ar algoritmu apstrādātos vizuālos datus kokmateriālu uzmērītājs izvērtēti arī manuāli, lai pārlicinātos par algoritma precizitāti koksnes vainu atpazīšanā un raksturlielumu novērtēšanā.

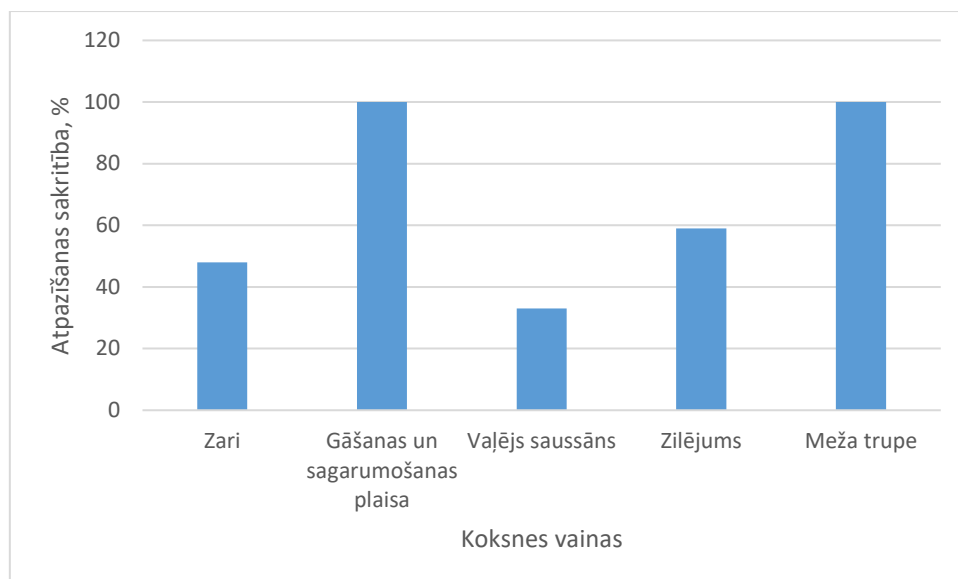
Pēc kokmateriālu uzmērītāja veiktās izvērtēšanas kā plašāk sastopamākās koksnes vainas skuju koku zāgbaļķiem ir zari (59 % gadījumu), gāšanas un sagarumošanas plaisas (14 % gadījumu), meža trupe (10 % gadījumu), zilējums (5 % gadījumu) un vaļējs sausāns (3 % gadījumu). Šīs ir arī būtiskākās koksnes vainas, kas ietekmē skuju koku zāgbaļķu kvalitātes klašu sadalījumu (skat. 1.24. att.).



1.24. att. Koksnes vainu sastopamība skuju koku zāgbaļķiem.

Lielāko daļu no šīm koksnes vainām sastāda zari, kas skaidrojams ar to ka zari ir visplašāk izplatītā koksnes vaina. II kvalitātes klases priedes zāgbaļķiem maksimāli pieļaujamais zara caurmērs ir 10 cm, bet II kvalitātes klases egles zāgbaļķiem maksimāli pieļaujamais zara caurmērs ir 8 cm. Līdz ar to zari kas pazemina kvalitātes klasi ir salīdzinoši reti sastopami. Pārējās koksnes vainas (gāšanas un sagarumošanas plaisas, meža trupe, zilējums un vaļējs sausāns) ir retāk sastopamas, bet kvalitātes klasi pazemina salīdzinoši bieži dēļ pieļaujamo raksturlielumu pārsniegšanas.

Balstoties uz iepriekš izvērtētiem datiem tālākajā analīzē izvērtēta koksnes vainu atpazīšanas sakritība pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu pielietošanas katrai koksnes vainai (skat. 1.25. att.).



1.25. att. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība skuju koku zāģbāļkiem pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu pielietošanas.

No apskatītām koksnes vainām atpazīšana 100 % gadījumu ar datorredzes algoritmu tiek nodrošināta gāšanas un sagarumošanas plaisām un meža trupei. Pārējām koksnes vainām atpazīšana tiek nodrošināta zem 60 % gadījumu, attiecīgi, zilējumam 59 % gadījumu, zariem 48 % gadījumu un vaļējam saussānam 33 % gadījumu.

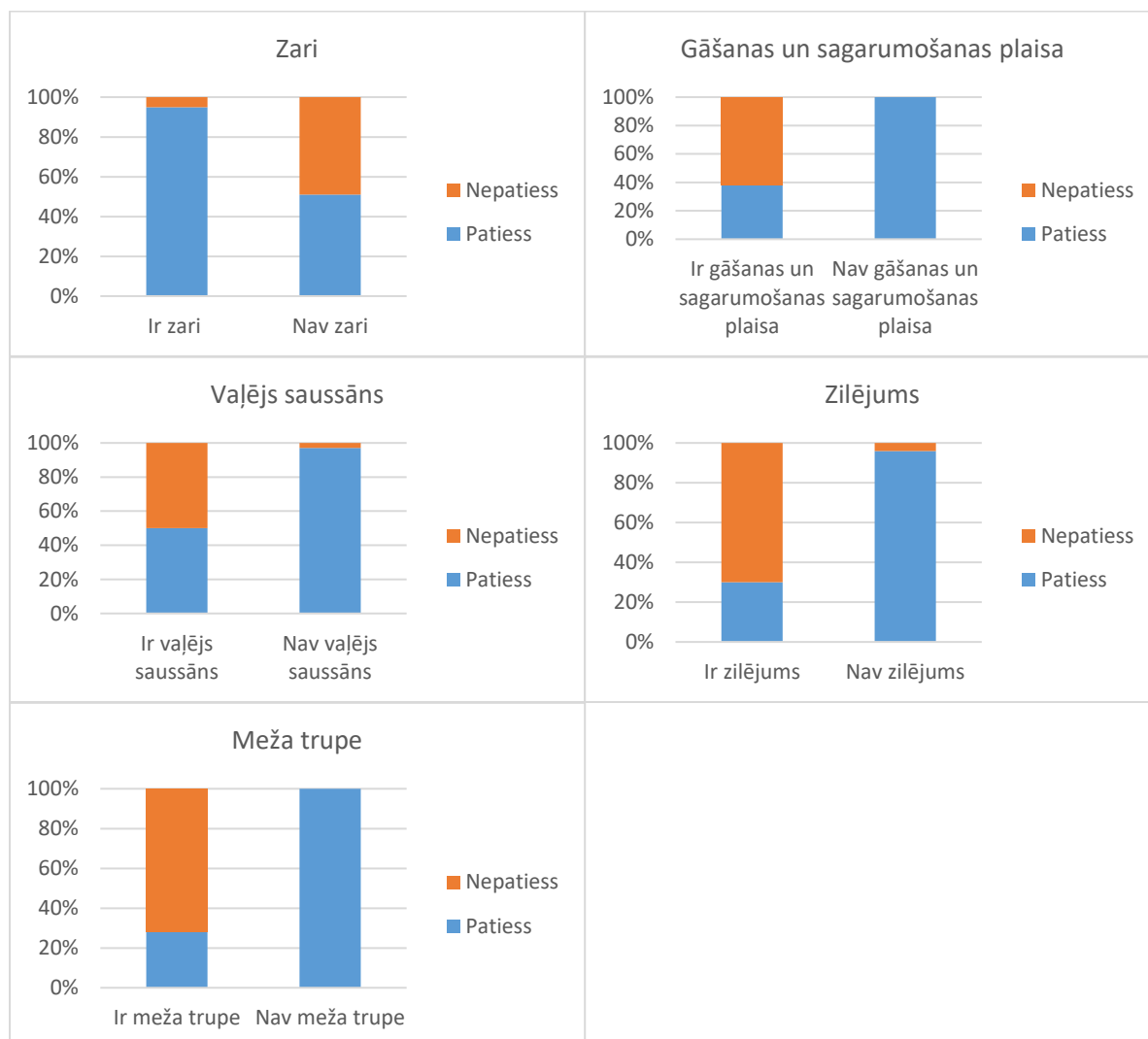
Tālākajā izvērtēšanā novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa patiesums atpazīt koksnes vainu uz apaļā kokmateriāla gala plaknes un sānu virsmas. Šādā veidā pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas tiek konstatēts cik patiess ir datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts katrai koksnes vainai.

Sākumā novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt zarus uz apaļā kokmateriāla sānu virsmas. Atsevišķi izvērtēti apaļie kokmateriāli ar un bez zariem. Uz kokmateriālu sānu virsmām, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēti zari pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 5 % gadījumu nav konstatēti vaļēji zari. Šajā gadījumā 95 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Pēc šāda paša principa izvērtētas kokmateriālu sānu virsmas uz kurām pēc datorredzes algoritma nav konstatēti zari. Pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 49 % gadījumu ir konstatēti vaļēji zari. Šajā gadījumā 51 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt gāšanas un sagarumošanas plaisas uz apaļā kokmateriāla gala plaknes. Uz kokmateriālu gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatētas gāšanas un sagarumošanas plaisas pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 62 % gadījumu nav konstatētas gāšanas un sagarumošanas plaisas. Šajā gadījumā tikai 38 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot kokmateriālu gala plaknes uz kurām pēc datorredzes algoritma nav konstatētas gāšanas un sagarumošanas plaisas arī pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas nav konstatētas gāšanas un sagarumošanas plaisas. Šajā gadījumā 100 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt saussānu. Uz kokmateriāliem, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēts saussāns pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 50 % gadījumu nav konstatēts saussāns. Šajā gadījumā 50 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot kokmateriālus uz kuriem pēc datorredzes algoritma nav konstatēts saussāns, tomēr pēc manuālās vizuālo datu

izvērtēšanas 3 % gadījumu konstatēts saussāns. Šajā gadījumā 97 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess (skat. 1.26. att.).



1.26. att. Datorredzes algoritma matemātisko modeļu patiesuma izvērtējums koksnēs vainu atpazīšanā.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt zilējumu. Uz kokmateriāliem, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēts zilējums pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 70 % gadījumu nav konstatēts zilējums. Šajā gadījumā tikai 30 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot kokmateriālus uz kuriem pēc datorredzes algoritma nav konstatēts zilējums, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 4 % gadījumu konstatēts zilējums. Šajā gadījumā 96 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

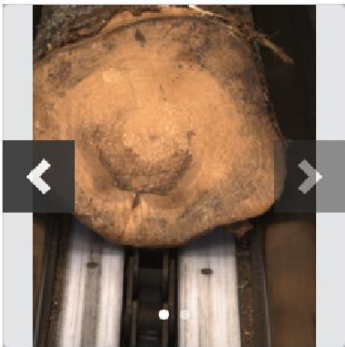
Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt meža trupi uz kokmateriāla gala plaknes. Uz kokmateriālu gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēta meža trupe pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 72 % gadījumu nav konstatēta meža trupe. Šajā gadījumā tikai 28 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot kokmateriālus uz kuru gala plaknēm pēc datorredzes algoritma nav konstatēta meža trupe arī pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas nav konstatēta meža trupe. Šajā gadījumā 100 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

1.4. Kvalitātes klases noteikšanas sakritība

Trešā “poga”, ko kokmateriālu uzmērītājs nospiež, ir kvalitātes klase un iemesls, ja kokmateriāls nav nonācis augstākā kvalitātes klasē. Skujkoku II kvalitātes klases zāgbaļķu vērtēšanā pārstrādes vietās un tie tiek sadalīti kā II kvalitātes klase un “brāķis” jeb neatbilstošs kokmateriāls, vai arī II kvalitātes klase, III kvalitātes klase un “brāķis” jeb neatbilstošs kokmateriāls. Skuju koku gadījumā var būt dažādi iemesli jeb koksnes vainas, kādēļ sortiments nonāk kādā no kvalitātes klasēm.

Balstoties uz koksnes vainu atpazīšanu un raksturlielumu noteikšanu tiek noteikta skuju koku zāgbaļķu kvalitātes klase. Par pamatu kvalitātes klašu dalījumam tiek izmantots Latvijas standarts LVS 80-4:2024 “Apalo kokmateriālu kvalitātes prasības. 4. daļa: skujkoku II šķiras zāgbaļķu kvalitātes prasības”, ko izstrādājusi Latvijas Kokmateriālu pircēju un Latvijas Kokmateriālu pārdevēju biedrību Vienotās konsultatīvās padomes darba grupa un apstiprinājusi Latvijas standartizācijas tehniskā komiteja LVS/STK 38 “Kokmateriāli”.

Sākotnēji tiek izvērtēts kvalitātes klašu sadalījums pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma, lai izvērtētu sagatavoto servisu kvalitātes klases novērtēšanā, balstoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem koksnes vainu atpazīšanā pēc skuju koku zāgbaļķu vizuālo datu apstrādes (skat. 1.27. att.).

ID	Files	Parsed Data
ID: 9fb96b21-e37c-40e3-9a7b-4ca5216467a7 Created: 26.06.2025 08:45:51		bark_coverage 66% grade 3 id 178169065 addTime 2025-06-26T08:55:02 measureTime 2025-06-26T08:45:30 topDiamUnderBark 211 endDiamUnderBark 264 cylinderParingDiam1 201 cylinderParingDiam2 201 length 312 specieVmfNumber 2 name ["meza_trupe_sm"] timber ["FRONT"] diameter [29] center_distance_to_radius_ratio [0.02] name ["gasanas_sagarumosanas_plaisa"] timber ["BACK"] length [57] width [5] name ["saussans"] timber ["FRONT"] intersects_cylinder [true] name ["zars"] timber ["LEFT"] diameter [15] timber_kind egle

1.27. att. Skuju koku zāgbaļķa apraksts pēc vizuālo datu apstrādes.

Balstoties uz datorredzes algoritma matemātiskiem modeļiem tiek atpazītas koksnes vainas un noteikti to izmēri, izvērtējot to ietekmi uz darba cilindru. Šī sagatavotā informācija kalpo par pamatu, lai sagatavotu kvalitātes klašu noteikšanas servisu. Veicot kvalitātes klašu noteikšanas analīzi visi dati tiek salīdzināti ar kokmateriālu uzmērītāja vērtējumu. Pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma (testēšanas pārskats) priedes zāgbaļķi pa kvalitātes klasēm sadalās sekojoši: II klase – 86 %; brāķis – 14 %. Bet pamatojoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem priedes zāgbaļķi sadalās sekojoši: II klase – 61 %; brāķis – 39 % (skat. 1.28. att.).

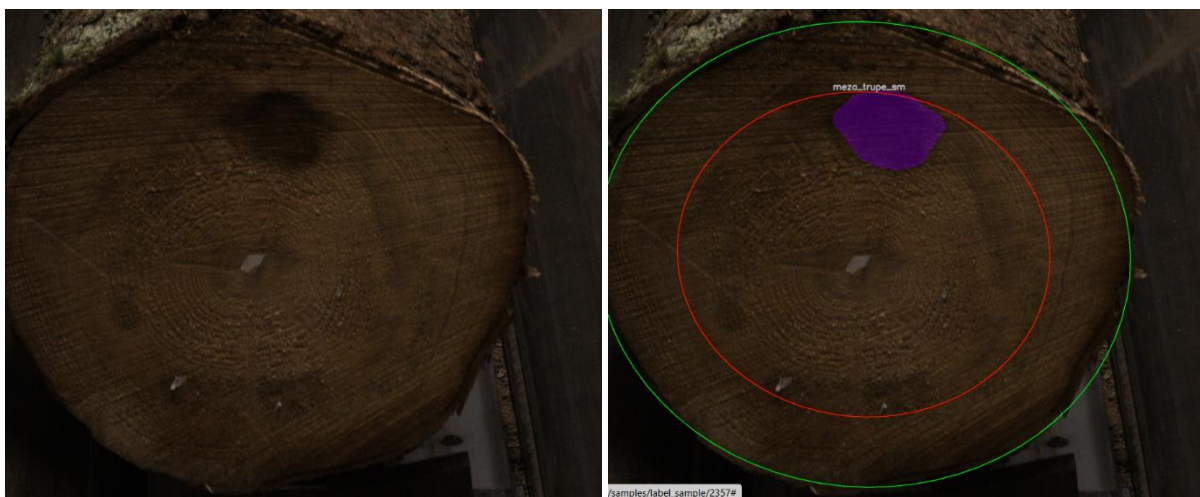


1.28. att. Skuju koku zāģbaļķa sadalījums pa kvalitātes klasēm pēc testēšanas pārskata un datorredzes algoritma izmantošanas.

Pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma (testēšanas pārskats) egļu zāģbaļķi pa kvalitātes klasēm sadalās sekojoši: II klase – 70 %; brāķis – 30 %. Bet pamatojoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem egļu zāģbaļķi sadalās sekojoši: II klase – 62 %; brāķis – 38 %. Pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem ir novērojams lielāks brāķēto skuju koku zāģbaļķu īpatsvars, kā rezultātā kvalitātes klašu sakritība ir 74 %.

Salīdzinot zemā kvalitātes klašu sakritību veidojas dēļ tā ka pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas tiek konstatētas koksnes vainas, kuras nav konstatējis kokmateriālu uzmērītājs – meža trupe, zilējums un gāšanas un sagarumošanas plaisas.

Izvērtējot koksnes vainu atpazīstamību pēc kokmateriālu uzmērītāja veiktās izvērtēšanas, no apskatītām koksnes vainām atpazīšana 100 % gadījumu ar datorredzes algoritmu tiek nodrošināta meža trupe (skat. 1.29. att.). Tātad pēc datorredzes algoritma matemātiskā modeļa ir atpazīti visi trupes radītie koksnes bojājumi.



1.29. att. Meža trupes konstatēšana pēc datorredzes algoritma matemātiskā modeļa.

Situācijā, kad datorredzes algoritma matemātiskais modelis nodrošina pilnīgi visu koksnes bojājumu atpazīšanu jāņem vērā arī sagatavotā matemātiskā modeļa ticamība. Bieži vien dažāda veida koksnes iekrāsojumus un minerālo piejaukumu uz kokmateriāla gala plaknēm datorredzes algoritma matemātiskais modelis reģistrē kā meža trupes bojājumus, kā rezultātā tikai 28 % gadījumos rezultāts ir patiess (skat. 1.30. att.). Tātad no visiem meža trupes reģistrētiem gadījumiem 72 % gadījumos pēc kvalitātes klases noteikšanas servisa ir noteikts nepamatots kvalitātes klases samazinājums.



1.30. att. Minerālu piejaukums reģistrēts kā meža trupes bojājums.

Priedes zāgbaļķu gala plaknēs novērojami priežu cietpiepes *Phellinus pini* (Thore.: Fr.) A. Ames bojājumi, kas attīstās uz augošiem kokiem inficējot tos caur nolūzušiem zariem un sānu virsmas bojājumiem. Sēnes augļķermenis ir 3 – 20 cm daudzgadīga ļoti cietas konsistences piepe pilnīgi bez kātiņa, ar brūnu vai pelēkbrūnu augšpusi un lielām porām klātu gaiši pelēkbrūnu apakšpusi. Aug uz dzīvām priedēm līdz pat trīsdesmit gadu vecumam (skat 1.31. att. A). Sēņu bojājumi sākas kā sarkanīgs koksnes iekrāsojums centrālajā daļā un attīstās stumbra garenvirzienā, bieži vien līdzīgs kodolkoksnei (skat 1.31. att. B).



1.31. att. Priežu cietpiepes *Phellinus pini* augļķermenis (A) un sēņu bojājums (koksnes iekrāsojums) priedes zāģbaļķa gala plaknē (B).

Bieži vien kodola iekrāsojums pēc vizuālo datu apstrādes ar datorredzes algoritma matemātisko modeli tiek reģistrēts kā sarkanīgs sēņu bojājums centrālajā daļā, kā rezultātā pēc kvalitātes klases noteikšanas servisa priedes zāģbaļķiem ir noteikts nepamatots kvalitātes klases samazinājums.

2. Bērza finierkluču izvērtējums

Līdzīgi kā skuju koku zāgbaļķiem arī bērza finierklučiem vizuālo datu iegūšana tika plānota visos 4 gadalaikos. Tā kā ziema Latvijā ir visneprognozējamākais gadalaiks, tad datu ievākšana ir veikta divas ziemas, bet pārējie gadalaiki pa vienai reizei. Dati salīdzināšanai katrā sezonā tika ievākti diennakts tumšajā un gaišajā laikā t.sk. piefiksējot meteoroloģiskos apstākļus.

Pirmās kvalitātes klases lobāmiem sortimentiem vainu vērtēšana ir atkarīga no to izvietojuma. Finierklučos pēc lobīšanas paliek neizmantota centrālā daļa serdenis. Šajā daļā var būt kodola iekrāsojums un nelielas serdes plaisas. Tālāk seko tievgaļa caurmēram atbilstoša cilindriskā lobāmā daļā, kur jābūt labas kvalitātes koksnei noteiktā biezumā. Ārējā koniskajā daļā pieļaujami sānu defekti resgalī. Otrās kvalitātes klases lobāmiem sortimentiem neierobežo kodola sēņu iekrāsojumus, bet nepieļauj ka serdes un žūšanas plaisas šķeļ sānu virsmu. Atsevišķus veselozarus pieļauj neatkarīgi no izmēra, bet atsevišķus nokaltušus un trupējušus zaros pieļauj līdz 40 mm diametrā, jo šāda izmēra zaru vietas finierskaidā izlabo, ielīmējot kvalitatīvu finierskaidas ielāpu. Lai mazinātu brāķēto sortimentu īpatsvaru un palielinātu lobāmo sortimentu izmantošanas efektivitāti ir ieviesta arī trešā kvalitātes klase, kurā tiek pieļauta kodola trupe diametrā līdz 5 cm.

Kopumā ievērtējot visas sezonas ir ievākti vizuālie dati par 1 674 568 bērza finierklučiem. Tika veikta kontrolsortimentu apsekošana pārstrādes vietā, lai pārliecinātos, ka sistēmas funkcionēšana atbilst iepriekš formulētajām prasībām. Vizuālo datu validācijai tika izmantoti 2789 kontrolsortimenti (skat. 2.1. tab.).

2.1. tabula

Vizuālo datu ģenerālkopas raksturojums bērza finierklučiem

Gadalaiks	Finierkluči ar vizuālie datiem, gab.	Apsekoto kontrolsortimentu skaits, gab.	Kvalitātes klašu sakritība, %
Ziema (I)	333800	558	70 - 86
Pavasaris	310116	516	63 - 89
Vasara	409800	683	64 - 90
Rudens	391852	652	64 - 86
Ziema (II)	228000	380	71 - 82
Kopā	1673568	2789	64 - 90

Kokmateriālu uzmērītāju reģistrēto kvalitātes klašu sakritība pēc kontrolsortimentu izvērtēšanas pārstrādes vietā, ievērtējot gadalaiku svārstās robežās no 64 līdz 90 %.

Marķēšanas vajadzībām nepieciešamo datorredzes algoritmu matemātisko modeļu sagatavošanai atlasīti 12 273 bērza finierkluču vizuālie dati, kas nodrošina:

- datorredzes servisa uzstādīšanu koku sugas atpazīšanai bērzam;
- atlikušā mizas vairuma noteikšanas servisa uzstādīšanu bērza finierklučiem;
- apaļo kokmateriālu kvalitātes klašu iemeslu jeb koksnes vainu atpazīšanas servisa uzstādīšanu bērza finierklučiem.

2.1. Koku sugas atpazīšana un mizas vairuma novērtēšana

Lai ar datorredzes tehnoloģijām automātiskā režīmā varētu noteikt apaļā kokmateriāla kvalitātes klasi un tās iemeslu, ir vajadzīgi atsevišķi priekšnosacījumi. Pirmais no tiem ir koku sugas atpazīšana, kas īstenota sagatavojot sugu atpazīšanas matemātisko modeli. Otrs nosacījums ir atlikušā mizas vairuma novērtēšana pēc faktiskā mizas nobrāzuma īpatsvara.

Realizējot apaļos kokmateriālus, miza ir pati svarīgākā pazīme koku sugu un sortimentu novērtēšanā. Vispirms tiek vērtēta mizas krāsa, tad faktūra. Bez grūtībām ir atšķirami bērza apaļie kokmateriāli, kur dominē baltā krāsa un tikai pirmajiem stumbra resgaļa nogriežņiem mēdz būt tumša, bieza, krevelaina miza (2.1. att.).



2.1.att. Bērza apaļie kokmateriāli ar mizu.

Vietās, kur tiek piegādāti bērza finierkluči, koku sugas noteikšanas ir salīdzinoši vienkārša, jo tiek piegādāta tikai viena koku suga un retos gadījumos ir kāda cita koku suga. Izgrieztu video fragmentu klasificēšanā pa redzamām koku sugām, izmantojot sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli, iespējams nodrošināt 100 % datu sakrītību.

Sagatavotiem kokmateriāliem miza ir kā labs izolācijas jeb iesaiņojamais materiāls un svarīgākā pazīme koku sugas noteikšanā, kas saglabā svaigi cirstas koksnes mitrumu, novērš uz ierobežotu laiku sānu žūšanas plaisu rašanos un sēņu attīstību. Tai pat laikā miza veicina kukaiņu iemitināšanos un kokmateriālu bojāšanos, tos uzglabājot ilgstoši gada siltajā periodā.

Apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanā ņem vērā tikai koksnes apjomu, tāpēc mizas īpatsvars jānorēķina no kopēja tilpuma vai uzmērītā caurmēra ar mizu. Tā kā mizas biezums variē plašās robežās un mežizstrādes procesā katrā darba operācijā tā daļēji tiek nobrāzta, rodas ievērojamas grūtības pareiza kokmateriālu tilpuma novērtēšanā.

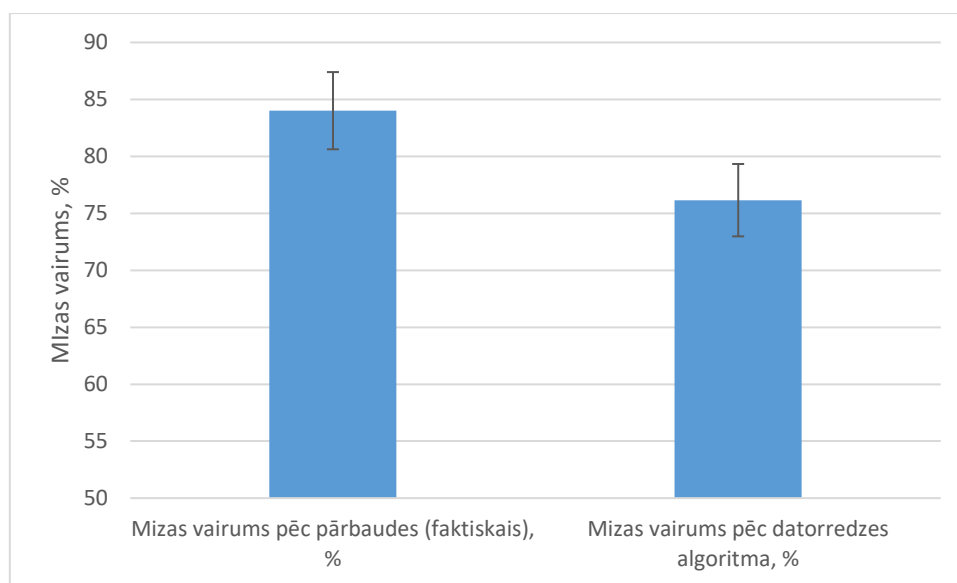
Lai uzlabotu apaļo kokmateriāla tilpuma noteikšanas precizitāti, izmantojot datorredzes tehnoloģijas tiek novērtēts arī mizas vairums. Izmantojot *line scan* kameru vizuālos datus ar datorredzes tehnoloģiju palīdzību ir iespējams novērtēt ne tikai koku sugu, bet arī atlikušo mizas vairumu uz novērtējamās apaļā kokmateriāla sānu virsmas.

Uz programmatūras ar attēlu apstrādes un analīzes iespējām, izvērtēti apaļo kokmateriālu sānu plakņu vizuālie dati, manuāli novērtējot mizas nobrāzuma laukumus un atlikušās mizas vairumu. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar mizas vairumu, kas iegūts izmantojot sagatavoto datorredzes algoritmu. Kopumā novērojams, ka izmantojot datorredzes algoritmu mizas vairuma novērtēšanā vidēji tiek sistemātiski noteikts mazāks mizas vairums – 76 %, salīdzinot ar manuāli iegūtiem rezultātiem – faktisko mizas vairumu – 84 % (skat. 2.1. tab.).

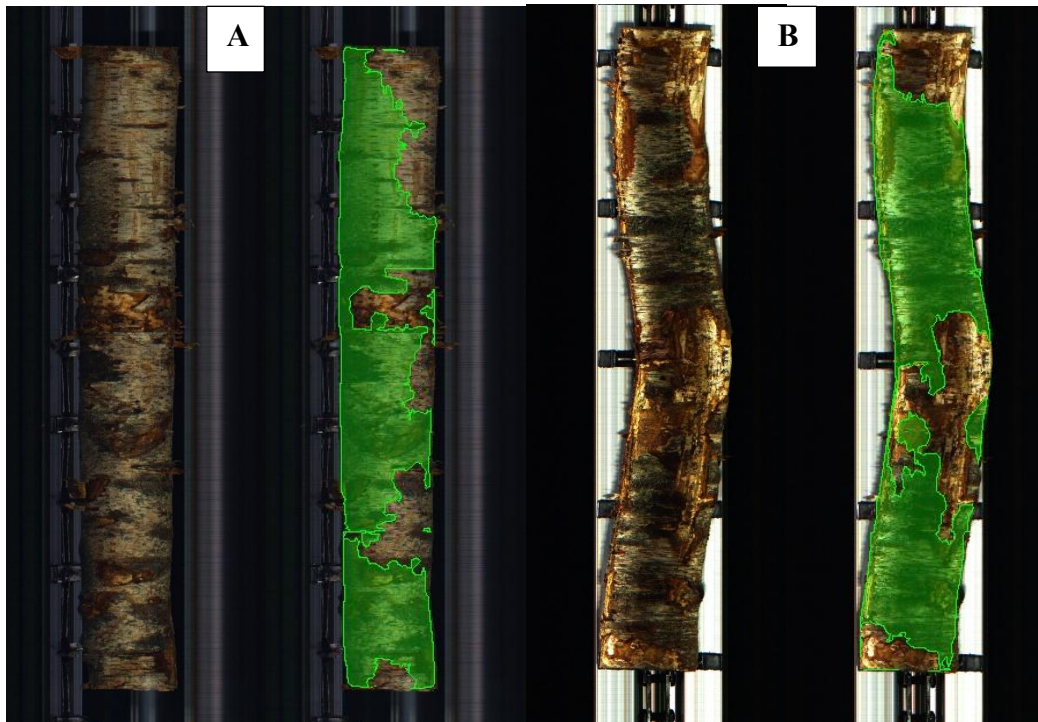
Mizas vairuma novērtēšanas salīdzinājums

Rādītājs	Mizas vairums, % (manuāli)	Mizas vairums, % (datorredze)
Vidēji	84,4	76,1
Standartklūda	1,6	1,7
Standartnovirze	15,1	16,1
Minimums	29	22
Maksimums	100	100
Nov. skaits	90	90

Lai noteiktu, vai mizas vairums statistiski būtiski atšķiras atkarībā no vērtēšanas metodes (manuāli un pēc datorredzes algoritma) rādītāju vidējās vērtības grafikā attēlo kopā ar ± 2 standartklūdām. Divu neatkarīgo paraugkopu vidējo vērtību ± 2 standartklūdas raksturo (ietver) 95% ticamības intervālu. Ja divas neatkarīgas paraugkopas ar 95% ticamības intervālu nepārklājas viena ar otru, tad to starpība būs statistiski būtiska (skat. 2.2. att.).

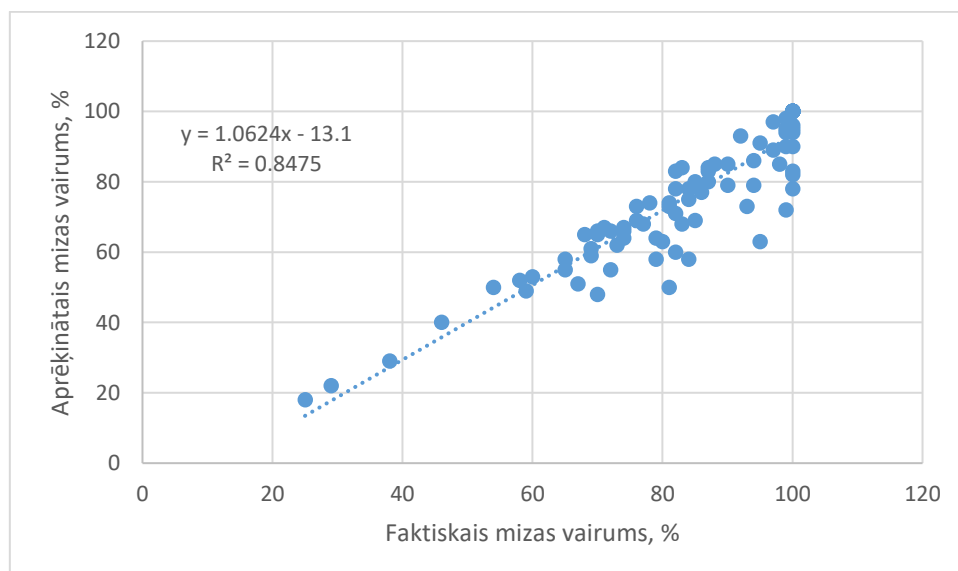
**2.2. att. Novērtētā mizas vairuma salīdzinājums bērza finierklučiem.**

Iemesls šādai tendencei ir sagatavotā mizas vairuma novērtēšanas algoritma attēlu analīze, kurā vispirms tiek vērtēta mizas krāsa un tad faktūra. Bez grūtībām mizas nobrāzumi un atlikušās mizas vairums ir novērtējams apaļie kokmateriāliem, kuriem dominē tumšāka un krevelaināka miza, piemēram, nogriežņiem, kas sagatavoti no stumbra resgaļa daļas. Bērza apaļiem kokmateriāliem, kur dominē baltā krāsa atsevišķos gadījumos daļa no baltās krāsas tiek uztverta kā mizas nobrāzums un līdz ar to tiek novērtēts mazāks atlikušās mizas vairums (skat. 2.3. att.).



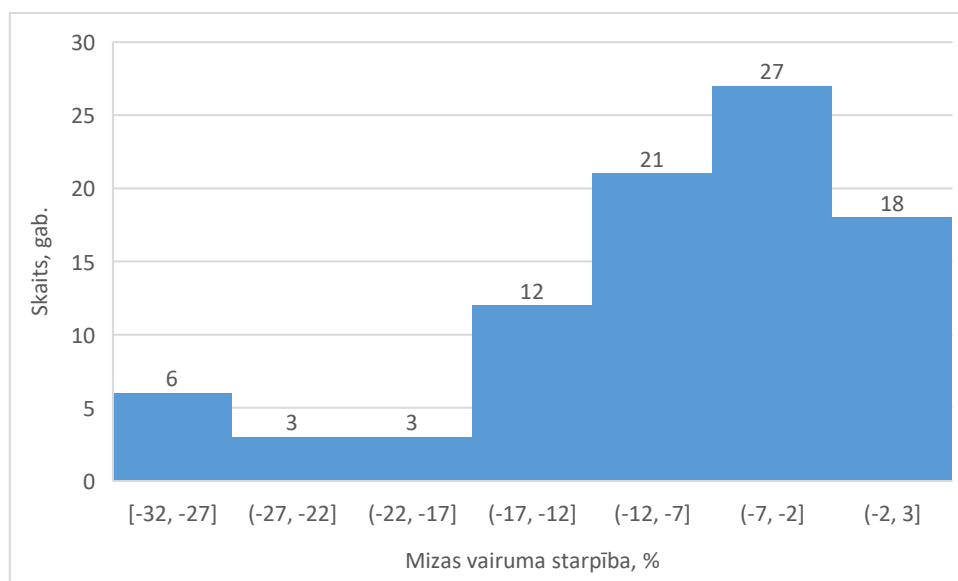
2.3. att. Mizas vairuma novērtēšana izmantojot datorredzes algoritmu:
A – modelis daļu baltās mizas uztver kā mizas nobrāzumu (novirze 32 %);
B – objektīvi novērtēts mizas nobrāzums (novirze 3 %).

Izmantojot datorredzes algoritmu mizas vairuma novērtēšanā, vidēji noteiktais mizas vairums bērza finierklučiem būtiski atšķiras no manuāli iegūtiem rezultātiem. Šī tendence saglabājas, kad palielinoties faktiski novērtētam mizas vairumam palielinās arī ar datorredzes algoritma matemātisko modeli prognozētais mizas vairums (skat. 2.4. att.).



2.4. att. Faktiskā un datorredzes algoritma noteiktā mizas vairuma salīdzinājums bērza finierklučiem.

Izvērtējot datorredzes algoritma matemātiskā modeļa kļūdu bērza finierkļu mizas vairuma novērtēšanā, var novērot, ka lielākā daļa novirzes (73 %) iekļaujas robežās no -12 līdz 3 % (skat. 2.5. att.).



2.5. att. Faktiskā un datorredzes algoritma noteiktā mizas vairuma starpība.

Ir sagatavots datorredzes algoritma matemātiskais modelis esošā mizas vairuma novērtēšanai bērza finierkļūm, kura novērtētais mizas vairums ir par 8 % mazāks, salīdzinot ar manuāli iegūto faktisko mizas vairuma. Lai varētu automatizēt mizas vairuma novērtēšanu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.06 “Mizas redukcija” nepieciešams veikt korekciju esošam algoritmam un sagatavot datorredzes algoritma matemātisko modeli mizas tipu atpazīšanai bērza finierkļūm.

2.2. Koksnes vainu noteikšana

Koksnes bojājumus un dažāda veida novirzes no ideālas uzbūves, kas ierobežo tās izmantošanas iespējas, sauc par koksnes vainām. Novērtējot to kvalitāti, ir jāņem vērā būtiskākie defekti un vainas, kas pie lobīšanas ietekmē lobskaidu iznākumu un to kvalitāti lobīšanas cilindrā.

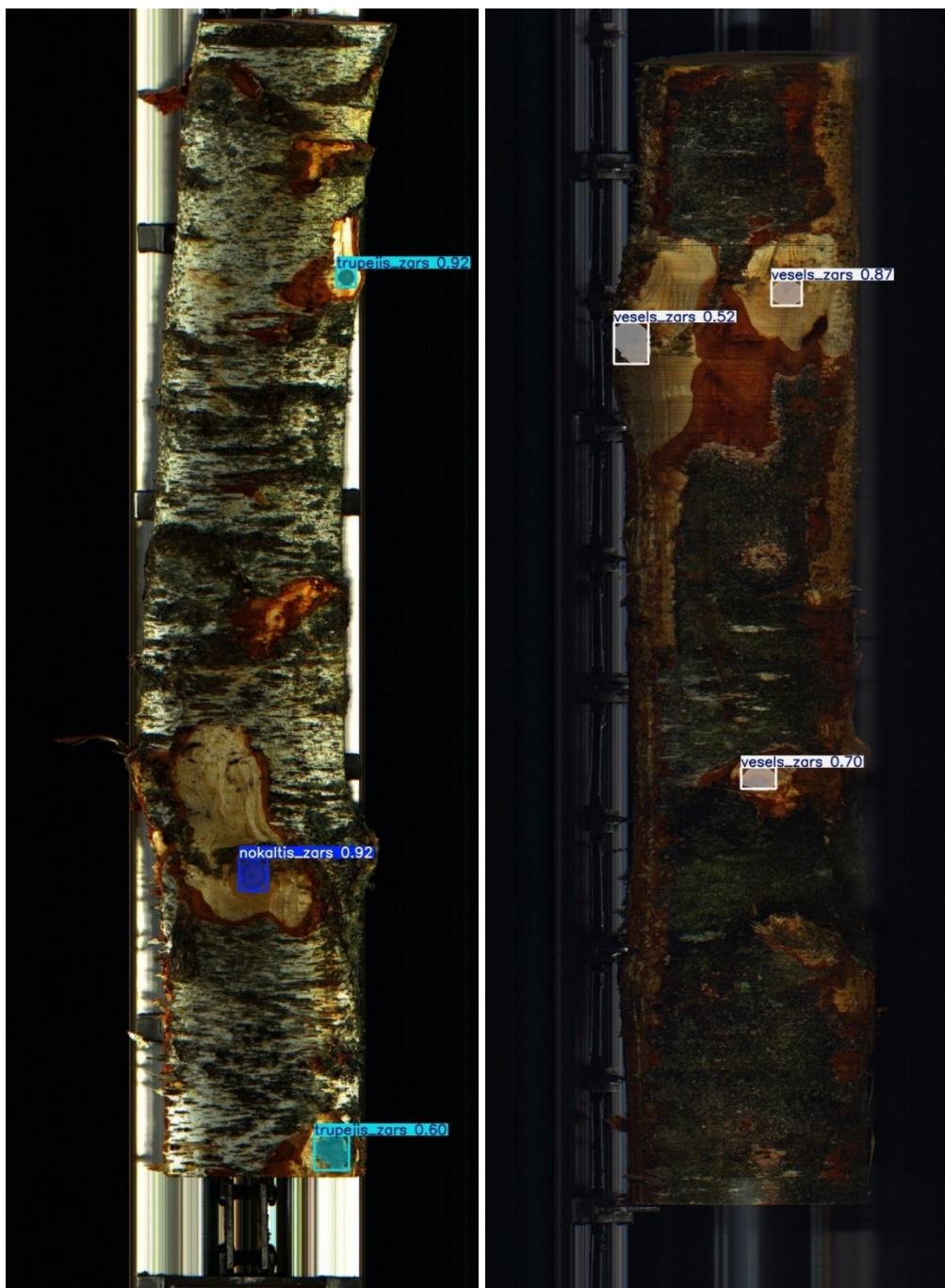
2.2.1. Zari

Izdala divus atšķirīgus zaru veidus – apaugušus un vaļējus. Vaļējie zari ir izvirzīti virs stumbra virsmas, un pēc atzarošanas to pamatne redzama uz apaļā sortimenta izliektās virsmas. Par vaļējiem sauc zarus, kas atzarošanas brīdī izvirzīti virs stumbra virsmas, bet pēc atzarošanas zara pamatne redzama uz apaļā sortimenta izliektās virsmas. Izmantojot ar *line scan* kamerām iegūtos vizuālos datus izstrādāts datorredzes algoritma matemātiskais modelis vaļējo zaru atpazīšanai.

Vaļējos zarus iedala pēc koksnes stāvokļa:

- veseli;
- nokaltuši;
- trupējuši.

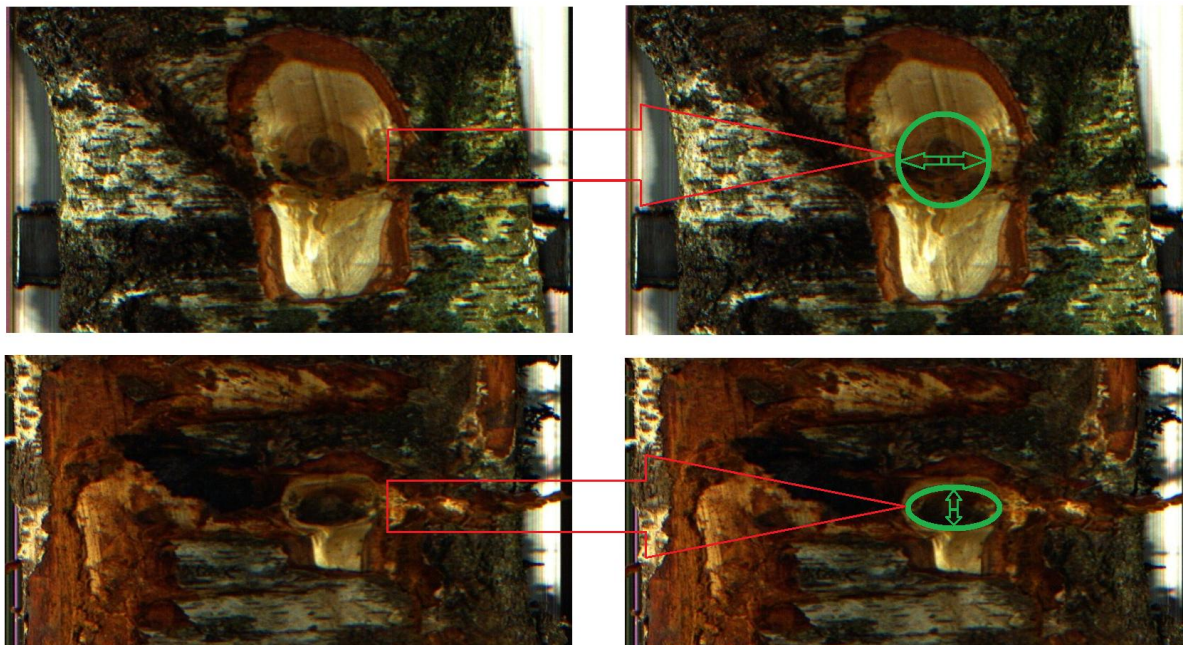
Veseli saauguši zari veido dzīvo vainaga daļu, zaru koksne ir bez trapes pazīmēm un saaugusi ar stumbra koksni. Nokaltuši zari ir ar sausu, atmirušu, tumšāk iekrāsotu koksni, bez trapes un mazāk nekā $\frac{1}{4}$ no zara perimetra ir saaugusi ar stumbra koksni. Stumbra zaru daļā sastopami arī trupējuši zari ar trapes pazīmēm, kuriem ir mīkstāka koksne vai novērojami padziļinājumi stumbra virsmā ar irdenu koksnes masu (skat 2.6. att.).



2.6. att. Vizuālie dati pēc apstrādes ar datorredzes algoritma matemātisko modeli zaru atpazīšanai.

Ar datorredzes tehnoloģiju palīdzību bez zaru veida noteikšanas jānovērtē arī to caurmērs. Zaru caurmēru uzmēra tā šaurākajā virzienā bez mizas. Veselam zaram caurmēru uzmēra apkārt zara vistumšākajam ārējam gadskārtu gredzenam.

Lai varētu novērtēt zaru caurmēru uz vizuāliem datiem zaru pielīdzina riņķa līnijai vai elipsei ar divām simetrijas asīm, kas ir savstarpēji perpendikulāras. Zaru caurmēra raksturošanai izmanto īsāko no divām simetrijas asīm (skat. 2.7. att.).



2.7. att. Zaru pielīdzināšana riņķa līnijai vai elipsei.

2.2.2. Plaisas

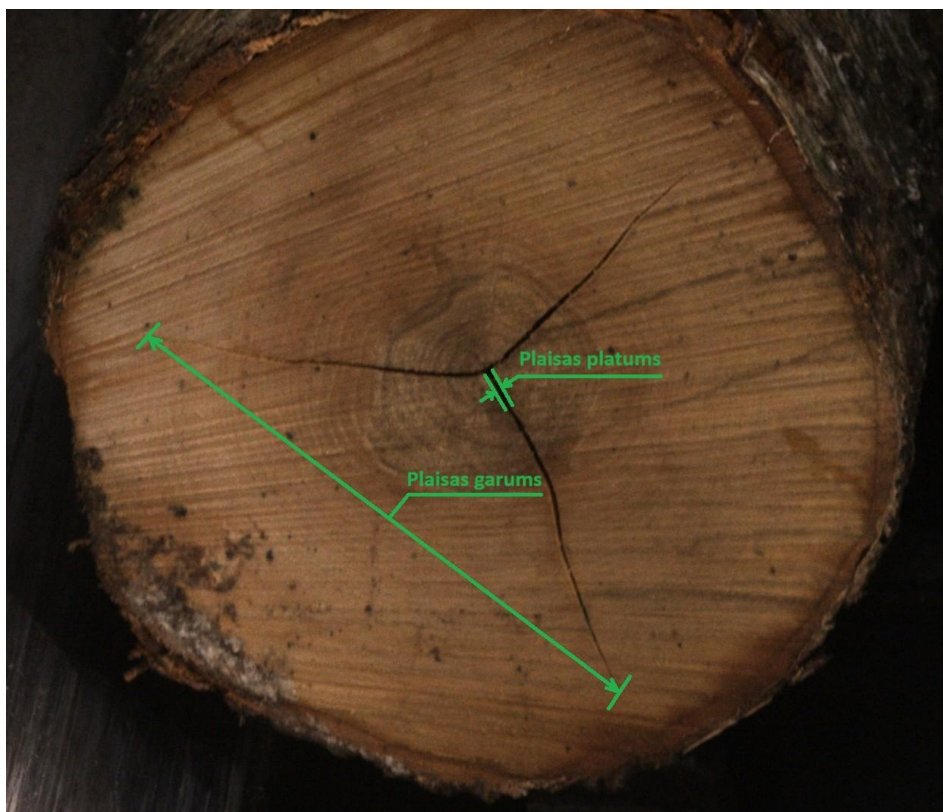
Plaisas ir koksnes šķiedru pārrāvums, kas rodas, kokam augot, to gāžot vai sagarumojot un sortimentiem žūstot uzglabāšanas laikā. Plaisas izjauc koksnes viengabalainību un samazina stiprības rādītājus.

Viena vai vairākas liela izmēra radiālas (starveidīgas) plaisas, kas sākas no serdes (šeit ir lielākais plaisas platums) un virzās uz aplievas pusi, sauc par serdes un žūšanas plaisām.

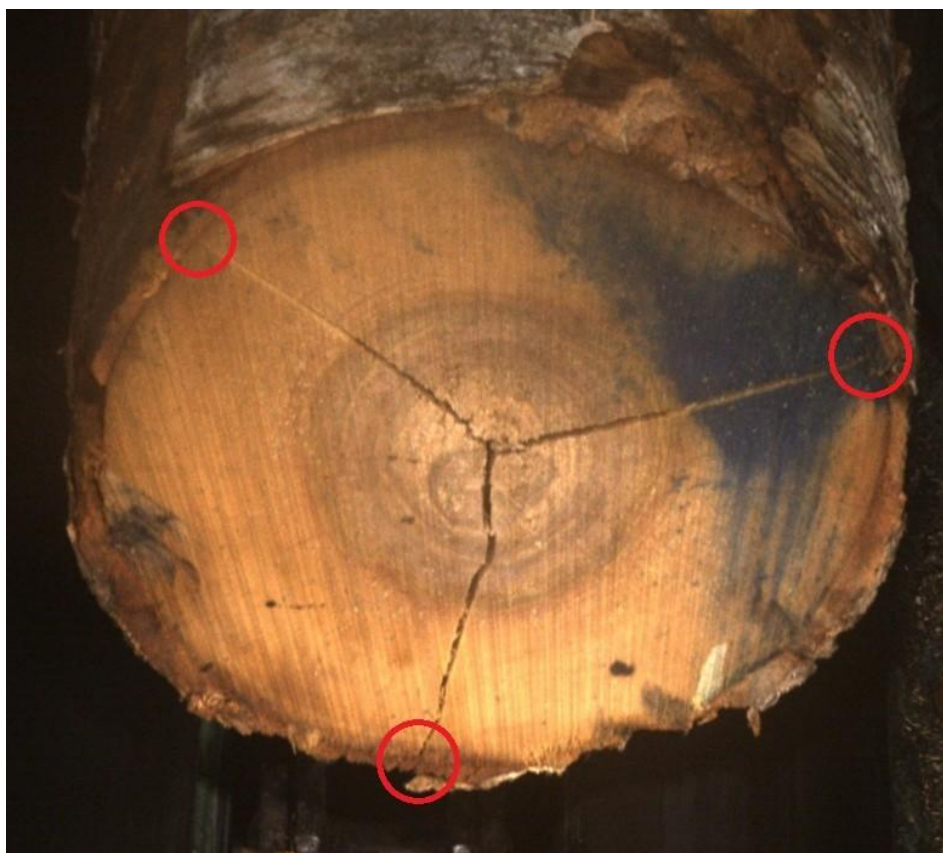
Izvērtējot serdes un žūšanas plaisas bērza finierkluču gala plaknēs jānovērtē sekojošas lietas:

- plaisas platums un garums;
- vai plaisa pāršķeļ/nepāršķeļ kokmateriāla sānu plakni.

Izmantojot vizuālos datus un datorredzes tehnoloģijas serdes un žūšanas plaisu vērtēšanā jāatceras ka ietekme uz kvalitātes klašu sadalījumu ir plaisām kuru platums ir virs 2 mm. Pārsniedzot 2 mm platumu tiek uzmērīts plaisas garākais garums (skat. 2.8. att.) un vērtēts vai plaisa pāršķeļ/nepāršķeļ kokmateriāla sānu plakni (skat. 2.9. att.).



2.8. att. Serdes un žūšanas plaisas platuma un garuma uzmērīšana.



2.9. att. Vērtēšanas punkti serdes un žūšanas plaisām vai pāršķel/nepāršķel kokmateriāla sānu plakni.

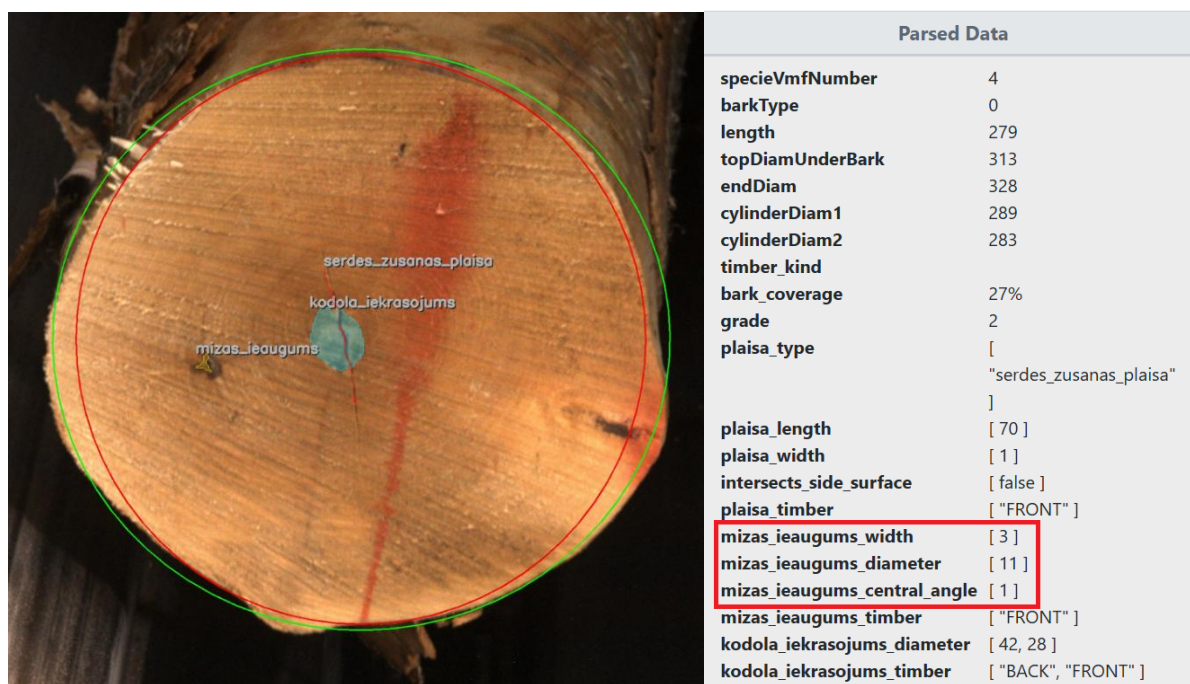
2.2.3. Mizas ieaugumi un saussāni

Saussāni un mizas ieaugumi ir brūces sortimenta sānu virsmā, kuru ietekme uz koksnes kvalitāti un vērtēšana ir līdzīga. Saussāni ir augošam kokam atmiruši stumbra virsma bez mizas. Tāda virsma parasti rodas cilvēka, dzīvnieka vai tehnikas izraisīta mizas nobrāzuma vietā. Šī stumbra daļa ir deformēta, veidojas padziļinājums, jo koks cenšas apaudzēt izveidojušos rētu, izraisot gadskārtu apliekšanos gar brūces malām. Saussāna vietā var attīstīties koksnes plaisāšana, iekrāsošanās vai trupēšana.

Mizas ieaugums ir saussāniem līdzīga koksnes vaina, kad kambija bojājuma rezultātā cietusī stumbra daļa ko klāj plānāka miza, neveido jaunu koksnes pieaugumu un sāk pārvērsties padziļinātā brūcē, kas pēc zināma laika var apaugt ar koksni.

Ar datorredezes tehnoloģiju palīdzību novērtē mizas ieaugumu bērza finierkluču gala plaknēs. Vainas vērtēšanā mizas ieaugumiem vērtē sekojošas lietas:

- ietekmi uz lobīšanas cilindru;
- diametru, kurā iekļaujas mizas ieaugums;
- mizas ieauguma lielāko biezumu;
- mizas ieauguma aplozes leņķi (skat. 2.10. att.).



2.10. att. Mizas ieaugumu novērtēšana bērza finierkluču gala plaknē.

Vērtējot saussānu, galvenā izmanība vērsta uz to vai koksnes bojājums ietekmē finierkluču lobīšanas cilindru. Bērza finierklučiem saussāns II kvalitātes klasei pieļaujams ārpus lobīšanas cilindra, bet III kvalitātes klasei pieļaujams arī lobīšanas cilindrā (skat. 2.11. att.).



2.11. att. Saussāna novērtēšana bērza finierkluču gala plaknē (sarkanā līnija – lobīšanas cilindrs).

2.2.4. Kodola sēņu bojājumi

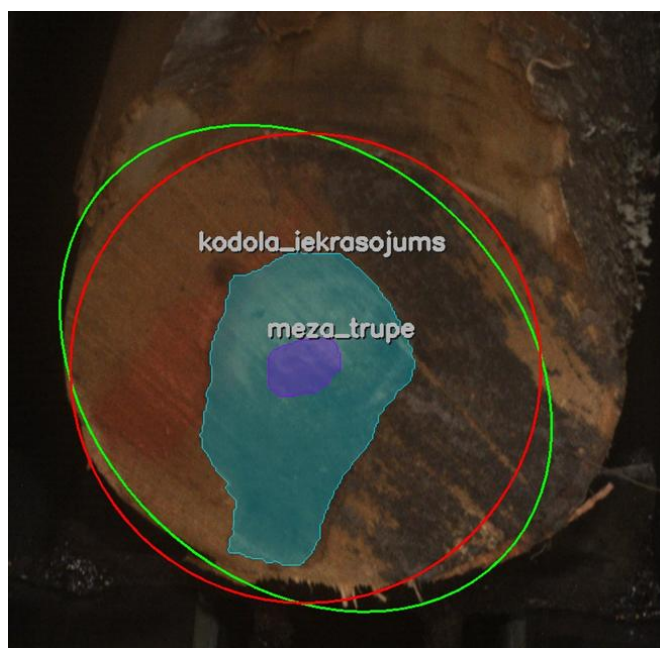
Kodola iekrāsojumi ir sēņu bojājumu sākotnējā stadija. Krāsojuma forma, lielums un tonis ir dažāds: krāsaini plankumi, joslas vai nepārtraukti laukumi. Tas viss var būt brūns, iesarkans, pelēks, violets līdz pat melnam.

Kodola trupe (meža trupe) veidojusies augošos kokos stumbra centrālajā daļā un tās rezultātā samazinās koksnes stiprības rādītāji. Trupi vērtē sortimenta gala virsmā. Kodola trupes beigu stadija ir dobums.

Kodola iekrāsojumu un trupes (meža trupe) novērtēšanā vērtē:

- vainas sastopamību;
- kodola iekrāsojuma un / vai meža trupes caurmēru (skat. 2.12. att).

Ja kodola sēņu bojājumi veido atsevišķus laukumus, tos uzmēra, vizuāli reducējot uz centru. Arī šajā gadījumā vērtē kodola sēņu bojājuma caurmēru gala plaknē.

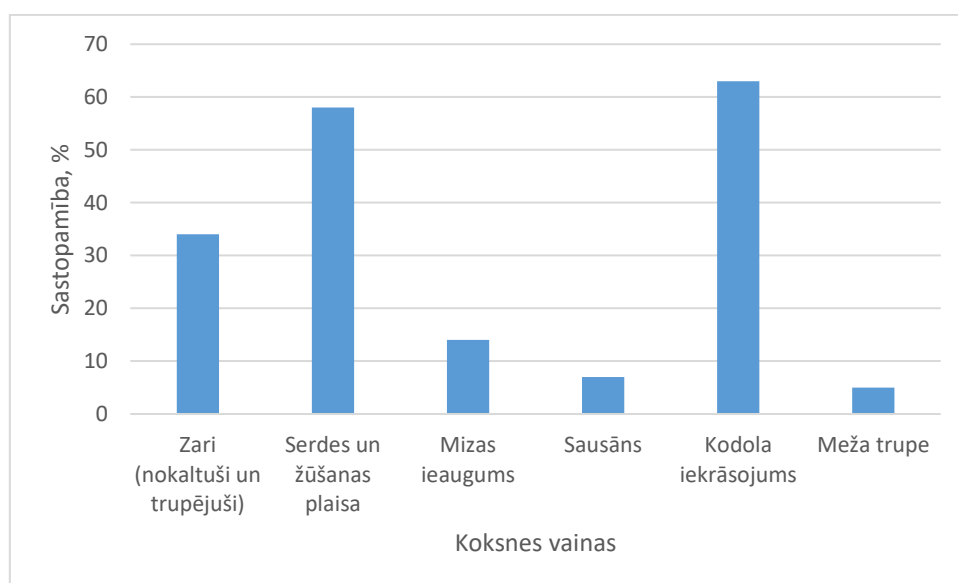


2.12. att. Kodola sēņu bojājumu novērtēšana bērza finierkluču gala plaknē.

2.3. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība

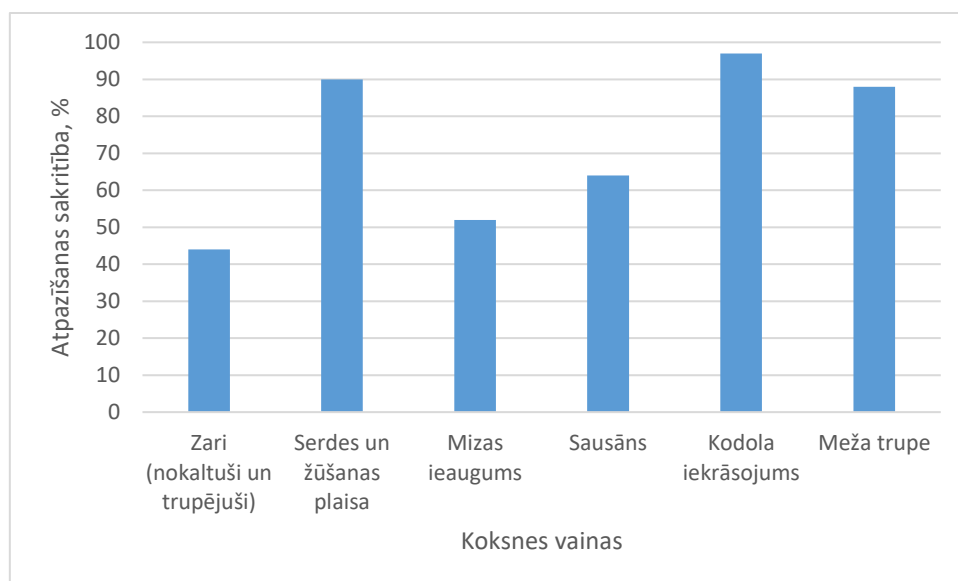
Lai novērtētu izstrādātos datorredzes algoritma matemātiskos modeļus koksnes vainu atpazīšanai un novērtēšanai, sākotnēji iegūtos un ar algoritmu apstrādātos vizuālos datus kokmateriālu uzmērītājs izvērtēti arī manuāli, lai pārliecinātos par algoritma precizitāti koksnes vainu atpazīšanā un raksturlielumu novērtēšanā.

Pēc kokmateriālu uzmērītāja veiktās izvērtēšanas kā plašāk sastopamākās koksnes vainas bērza finierklučiem ir kodola iekrāsojums (63 % gadījumu), trupējuši un nokaltuši zari (34 % gadījumu), kā arī gada siltajā periodā serdes un žūšanas plaisas (58 % gadījumu). Šīs ir arī būtiskākās koksnes vainas, kas ietekmē bērzu finierkluču vērtējumu (skat. 2.13. att.).



2.13. att. Koksnes vainu sastopamība uz bērza finierklučiem pēc kokmateriālu uzmērītāja veiktās izvērtēšanas.

Balstoties uz iepriekš izvērtētiem datiem tālākajā analīzē izvērtēta koksnes vainu atpazīšanas sakritība pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu pielietojšanas (skat. 2.14. att.).



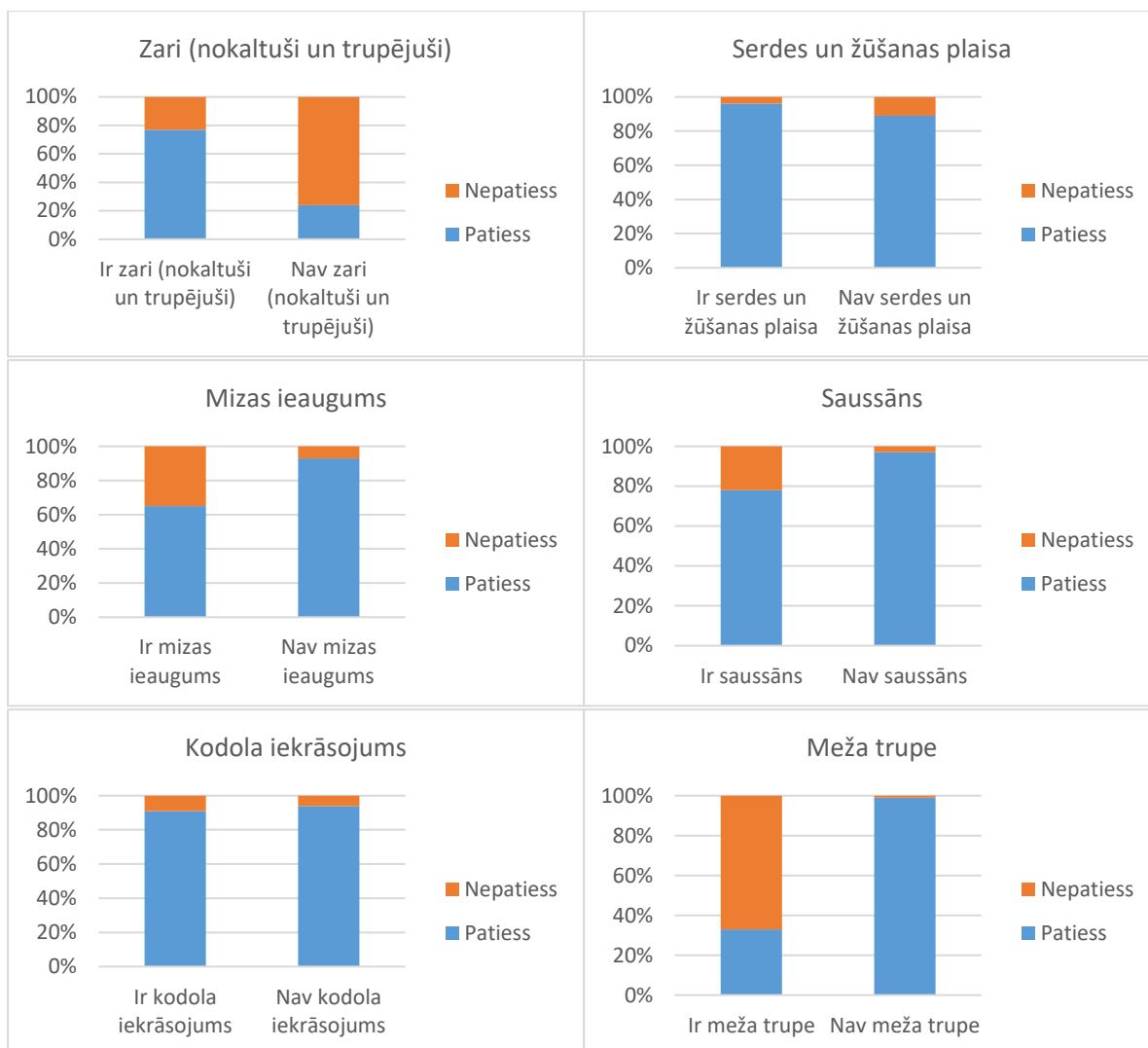
2.14. att. Koksnes vainu atpazīšanas sakritība pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas.

No apskatītām koksnes vainām atpazīšana virs 80% gadījumu ar datorredzes algoritmu tiek nodrošināta kodola iekrāsojumam (97 %), serdes un žūšanas plaisām (90 %) un meža trupei (88 %). Virs 60 % gadījumu vainas atpazīšana tiek nodrošināta saussāniem (64 %), bet mizas ieaugumiem un zariem (nokaltuši un trupējuši) vainas atpazīšana tiek nodrošināta virs 40 % gadījumu.

Tālākajā izvērtēšanā novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa patiesums atpazīt koksnes vainu uz bērza finierkluča gala plaknes un sānu virsmas. Šādā veidā pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas tiek konstatēts cik patiess ir datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts katrai koksnes vainai (skat. 2.15. att.).

Sākumā novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt zarus uz bērza finierkluča sānu virsmas. Atsevišķi izvērtēti bērza finierkluči ar un bez zariem. Uz sānu virsmām, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēti zari pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 23 % gadījumu nav konstatēti vaļēji zari. Šajā gadījumā 77 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Pēc šāda paša principa izvērtētas sānu virsmas uz kurām pēc datorredzes algoritma nav konstatēti zari. Pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 76 % gadījumu ir konstatēti vaļēji zari. Šajā gadījumā 24 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt serdes un žūšanas plaisas uz gala plaknes. Uz gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatētas serdes un žūšanas plaisas pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 4 % gadījumu nav konstatētas serdes un žūšanas plaisas. Šajā gadījumā 96 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot gala plaknes uz kurām pēc datorredzes algoritma nav konstatētas serdes un žūšanas plaisas, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 11 % gadījumu konstatētas serdes un žūšanas plaisas. Šajā gadījumā 89 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.



2.15. att. Datorredzes algoritma matemātisko modeļu patiesuma izvērtējums koksnes vainu atpazīšanā.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt mizas ieaugumu uz gala plaknes. Uz gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēts mizas ieaugums pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 35 % gadījumu nav konstatēts mizas ieaugums. Šajā gadījumā 65 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot gala plaknes uz kurām pēc datorredzes algoritma nav konstatēts mizas ieaugums, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 7 % gadījumu konstatēts mizas ieaugums. Šajā gadījumā 93 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt saussānu. Uz finierklučiem, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēts saussāns pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 22 % gadījumu nav konstatēts saussāns. Šajā gadījumā 78 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot finierklučus uz kuriem pēc datorredzes algoritma nav konstatēts saussāns, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 3 % gadījumu konstatēts saussāns. Šajā gadījumā 97 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt kodola iekrāsojumu uz finierkluču gala plaknes. Uz finierkluču gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēts kodola iekrāsojums pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 9 % gadījumu nav konstatēts kodola iekrāsojums. Šajā gadījumā 91 % gadījumu datorredzes algoritma

matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot finierklučus uz kuru gala plaknēm pēc datorredzes algoritma nav konstatēts kodola iekrāsojums, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 6 % gadījumu konstatēts kodola iekrāsojums. Šajā gadījumā 94 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

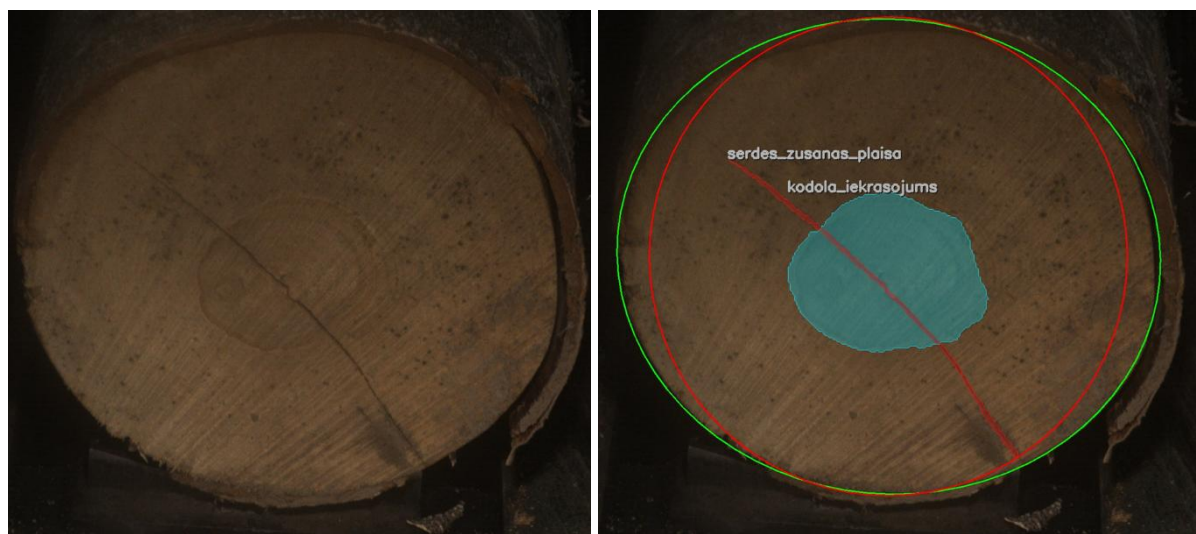
Novērtēta datorredzes algoritma matemātiskā modeļa spēja atpazīt meža trupi uz finierkluču gala plaknes. Uz gala plaknēm, kur pēc datorredzes algoritma ir konstatēta meža trupe pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 67 % gadījumu nav konstatēta meža trupe. Šajā gadījumā tikai 33 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess. Izvērtējot finierklučus uz kuru gala plaknēm pēc datorredzes algoritma nav konstatēta meža trupe, tomēr pēc manuālās vizuālo datu izvērtēšanas 1 % gadījumu konstatēta meža trupe. Šajā gadījumā 99 % gadījumu datorredzes algoritma matemātiskā modeļa rezultāts ir patiess.

2.4. Kvalitātes klases noteikšanas sakritība

Balstoties uz koksnes vainu atpazīšanu un raksturlielumu noteikšanu tiek noteikta bērzu finierkluču kvalitātes klase. Par pamatu kvalitātes klases dalījumam tiek izmantots Latvijas standarts LVS 80-7:2024 “Apalo kokmateriālu kvalitātes prasības. 7. daļa: Bērza finierkluču kvalitātes prasības”, ko izstrādājusi Latvijas Kokmateriālu pircēju un Latvijas Kokmateriālu pārdevēju biedrību Vienotās konsultatīvās padomes darba grupa un apstiprinājusi Latvijas standartizācijas tehniskā komiteja LVS/STK 38 “Kokmateriāli”.

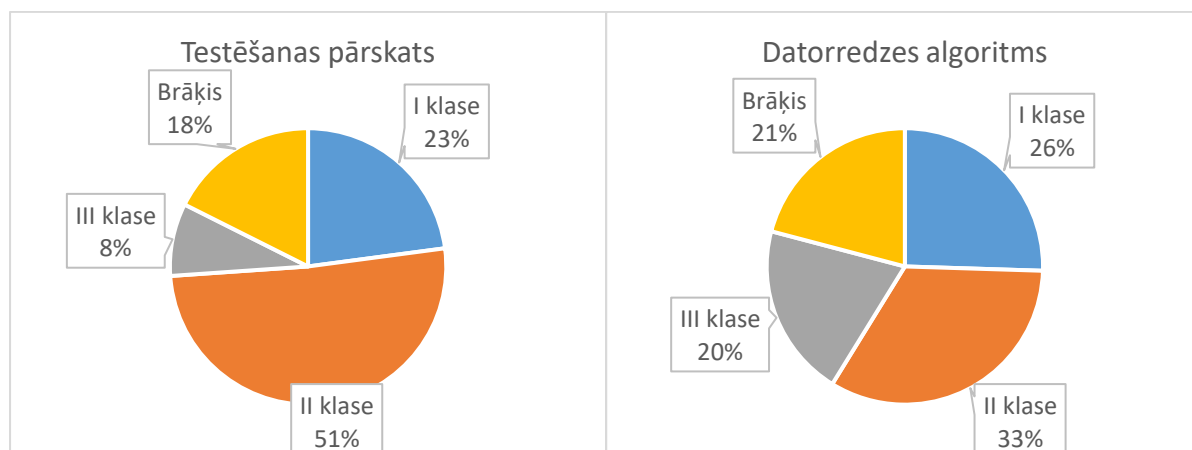
Latvijas kokmateriālu pircēji un pārdevēji ir vienojušies bērzu finierklučus sadalīt četrās kvalitātes klasēs - pirmā, otrā, trešā un “brāķis” jeb neatbilstošs kokmateriāls. Bērzu finierkluču vērtēšanu sarežģī fakts, ka kvalitāte tiek vērtēta īsklucos, jo tā tiek organizēta finierkluču tālākā pārstrāde rūpnīcās.

Sākotnēji tiek izvērtēts kvalitātes klases sadalījums pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma, lai izvērtētu sagatavoto servisu kvalitātes klases novērtēšanā, balstoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem pēc bērza finierkluču vizuālo datu apstrādes (skat. 2.16. att.).



2.16. att. Bērza finierkluča gala plakne pirms un pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas.

Balstoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļiem tiek atpazītas koksnes vainas un noteikti to izmēri, izvērtējot to ietekmi uz lobīšanas cilindru. Šī sagatavotā informācija kalpo par pamatu, lai sagatavotu kvalitātes klases noteikšanas servisu. Veicot kvalitātes klases noteikšanas analīzi visi dati tiek salīdzināti ar kokmateriālu uzmērītāja vērtējumu (testēšanas pārskats). Pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma analīzei izvēlētie finierkluči pa kvalitātes klasēm sadalās sekojoši: I – 23 %; II – 51 %; III – 8 %; brāķis – 18 % (skat. 2.17. att.).



2.17. att. Bērza finierkluču kvalitātes klašu sadalījums pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma un datorredzes algoritmu matemātisko modeļu izmantošanas.

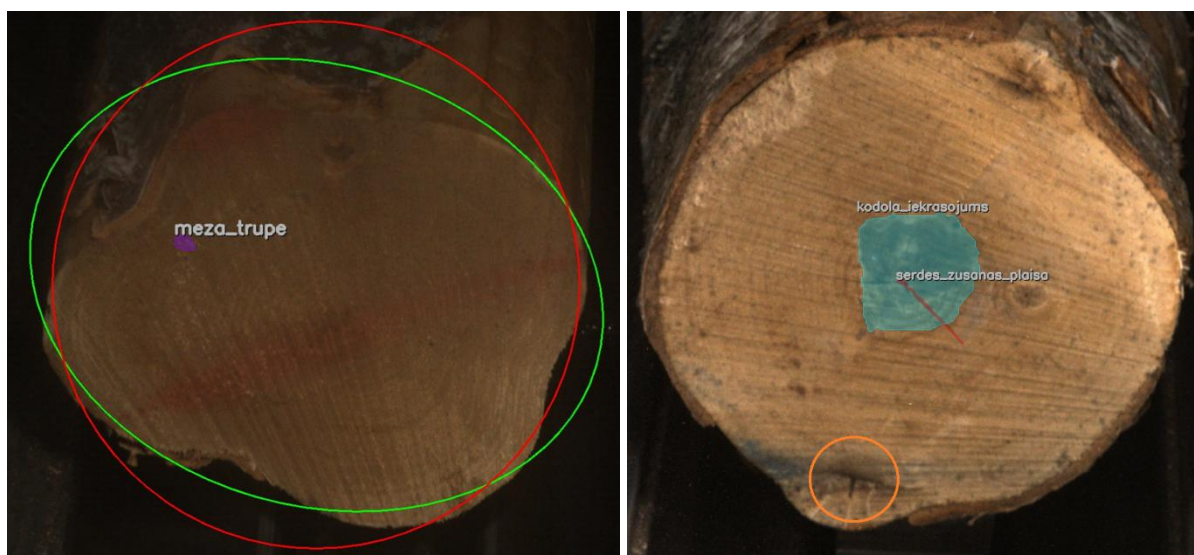
Bet pamatojoties uz datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem analīzei izvēlētiem finierklučiem kvalitātes klasēs sadalās sekojoši: I – 26 %; II – 33 %; III – 20 %; – 21 %. Lielākās atšķirības, izvērtējot finierkluču skaita īpatsvaru pa kvalitātes klasēm, ir starp II un III klasi.

Kopumā pēc analīzei izvēlēto finierkluču izvērtēšanas kvalitātes klašu sakritība ir 57 %. Salīdzinoši zemā kvalitātes klases sakritība veidojas dēļ tā ka pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas netiek konstatētas visas iespējamās koksnes vainas, piemēram nokaltuši un trupējuši zari, kā arī sagatavotie algoritmi kvalitātes klases novērtēšanai ne vienmēr korekti ievērtē koksnes vainu ietekmi uz lobīšanas cilindru, piemēram, saussāniem (skat. 2.18. att.).



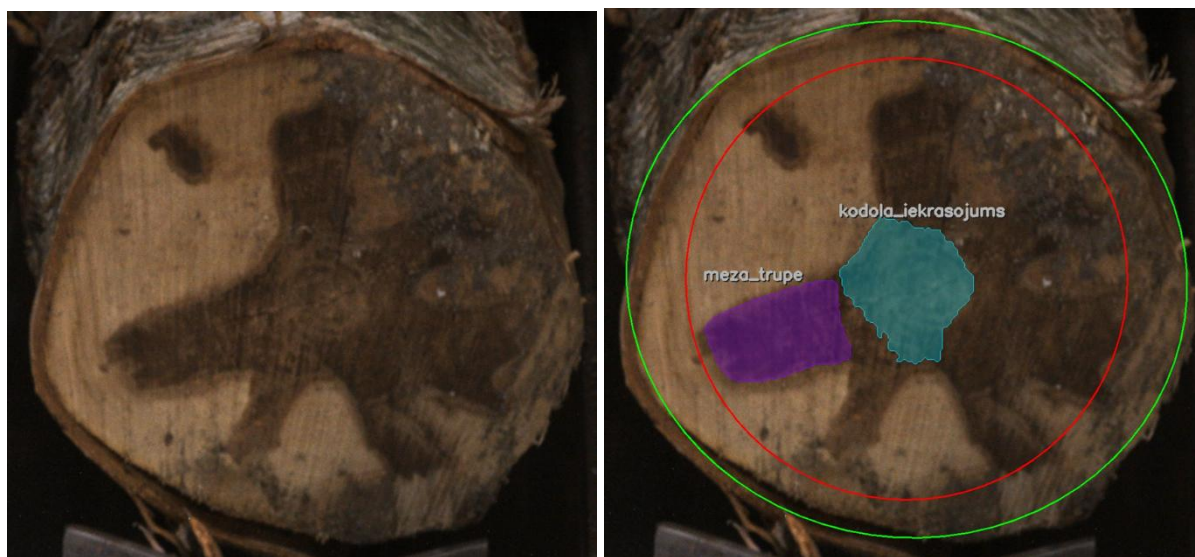
2.18. att. Sassāns bērza finierkluča lobīšanas cilindrā (sarkanā līnija).

Tāpat pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu pielietošanas finierklučiem norādītas koksnes vainas, kuras pēc kokmateriālu uzmērītāja redzējuma nav novērojamas, piemēram, meža trupe. Tai pat laikā ir koksnes vainas, kas pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu pielietošanas netiek konstatētas, bet kokmateriālu uzmērītājs konstatē, piemēram, mizas ieaugumi (skat. 2.19. att.).



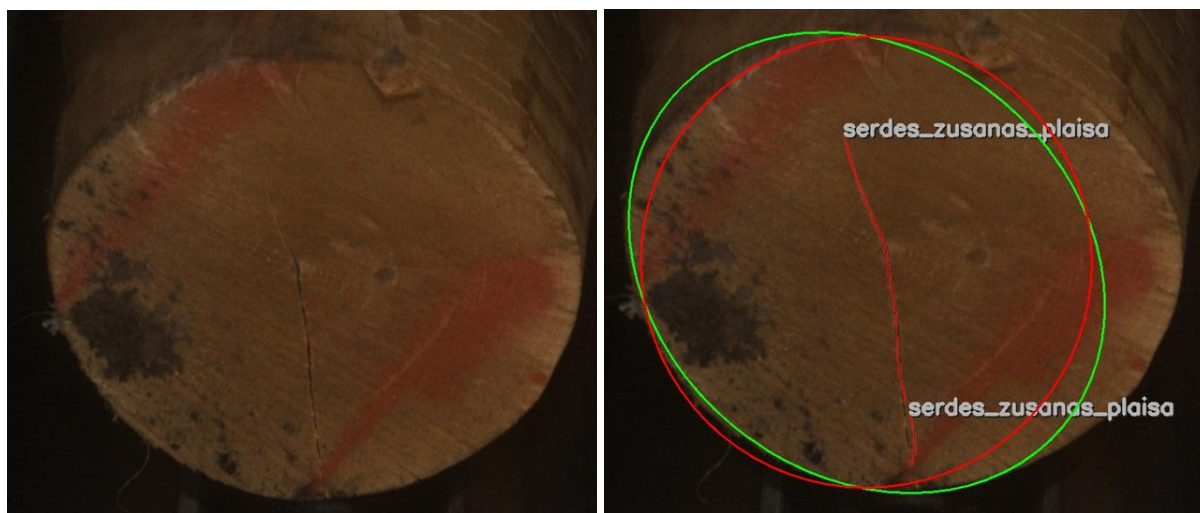
2.19. att. Faktiski neesoša koksnes vainas (meža trupe) konstatēšana un neatpazīta koksnes vaina (mizas ieaugums) pēc datorredzes algoritmu matemātisko modeļu izmantošanas.

Vēl ne vienmēr korekti tiek atpazīti sēņu bojājumi (kodola iekrāsojums un meža trupe) un novērtēti to laukumi pēc kuriem tiek aprēķināts sēņu bojājumu caurmērs, kā rezultātā netiek noteikta atbilstošā kvalitātes klase (skat. 2.20. att.).



2.20. att. Nekorekta sēņu bojājumu atpazīšana un laukuma novērtēšanas pēc datorredzes algoritmu matemātisko modeļu izmantošanas.

Vairumā gadījumu serdes un žūšanas plaisas tiek korekti atpazītas, bet atsevišķos gadījumos nosakot plaisas garumu plaisa tiek sadalīta vairākās daļās un līdz ar to kvalitātes klases noteikšanā tiek izmantots ievērojami īsāks plaisas garums salīdzinot ar faktisko (skat. 2.21. att.).



2.21. att. Serdes un žūšanas plaisas sadalīšana divās plaisās pēc datorredzes algoritmu matemātisko modeļu izmantošanas.

Secinājumi un rekomendācijas

1. Izgrieztu video fragmentu klasificēšanā pa redzamām koku sugām, izmantojot sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli, iespējams nodrošināt 96 % datu sakritību. Tātad koku sugas noteikšanai, sagatavotā datorredzes algoritma matemātisko modeļa kļūda ir 4 % no kuriem 0,1 % veidojas citas skuju koku sugas neatpazīšanas gadījumā.
2. Vietās, kur tiek piegādāti bērza finierkluči, koku sugas noteikšanas ir salīdzinoši vienkārša, jo tiek piegādāta tikai viena koku suga un retos gadījumos ir kāda cita koku suga. Izgrieztu video fragmentu klasificēšanā pa redzamām koku sugām, izmantojot sagatavoto datorredzes algoritma matemātisko modeli, iespējams nodrošināt 100 % datu sakritību.
3. Ir sagatavots datorredzes algoritma matemātiskais modelis esošā mizas vairuma novērtēšanai skuju koku zāgbaļķiem, kura novērtētais mizas vairums būtiski neatšķiras no manuāli iegūtā faktiskā mizas vairuma. Lai varētu automatizēt mizas vairuma novērtēšanu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.06 “Mizas redukcija” nepieciešams sagatavot datorredzes algoritma matemātisko modeli mizas tipu atpazīšanai priedes zāgbaļķiem.
4. Ir sagatavots datorredzes algoritma matemātiskais modelis esošā mizas vairuma novērtēšanai bērza finierklučiem, kura novērtētais mizas vairums ir par 8 % mazāks, salīdzinot ar manuāli iegūto faktisko mizas vairuma. Lai varētu automatizēt mizas vairuma novērtēšanu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.06 “Mizas redukcija” nepieciešams veikt korekciju esošam algoritmam un sagatavot datorredzes algoritma matemātisko modeli mizas tipu atpazīšanai bērza finierklučiem.
5. Kokmateriālu uzmērītāju reģistrēto kvalitātes klašu sakritība skuju koku zāgbaļķiem pēc kontrolsortimentu izvērtēšanas pārstrādes vietā, ievērtējot gadalaiku svārstās robežās no 89 līdz 99 %. Pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem ir novērojams lielāks brāķēto skuju koku zāgbaļķu īpatsvars, kā rezultātā kvalitātes klašu sakritība ir 74 %. Salīdzinoši zemā kvalitātes klašu sakritība veidojas dēļ tā ka pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas tiek konstatētas koksnes vainas, kuras nav konstatējis kokmateriālu uzmērītājs – meža trupe, zilējums un gāšanas un sagarumošanas plaisas.
6. Kokmateriālu uzmērītāju reģistrēto kvalitātes klašu sakritība bērza finierklučiem pēc kontrolsortimentu izvērtēšanas pārstrādes vietā, ievērtējot gadalaiku svārstās robežās no 64 līdz 90 %. Pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu rezultātiem kvalitātes klašu sakritība ir 57 %. Salīdzinoši zemā kvalitātes klašu sakritība veidojas dēļ tā ka pēc datorredzes algoritma matemātisko modeļu izmantošanas netiek konstatētas visas iespējamās koksnes vainas, piemēram, nokaltuši un trupējuši zari, kā arī sagatavotie algoritmi ne vienmēr korekti ievērtē koksnes vainu ietekmi uz lobīšanas cilindru.
7. Lai uzlabotu sagatavotā kvalitātes klašu servisa darbību nepieciešams uzlabot apstrādājamo vizuālo datu kvalitāti un strukturizāciju. Uz video bāzes iegūtie attēli nenodrošina nepieciešamo kvalitāti koksnes vainu atpazīšanai un kvalitātes klašu noteikšanai.