

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
MEŽA FAKULTĀTE

LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE
FOREST FACULTY

**PRIEDES STUMBRA KOMERCIĀLĀS DAĻAS KVALITĀTE
SAISTĪBĀ AR ZAROJUMU**

**THE COMMERCIAL PART QUALITY OF PINE TREE TRUNK
CONSIDERING KNOTTINESS**

Mg. sc. ing.
ZIEDONIS SARMULIS

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS
Dr. sc. ing. zinātniskā grāda iegūšanai

RESUME OF PROMOTION PAPER
For awarding the Scientific Degree Dr. sc. ing.

Jelgava
2007

Promocijas darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes Meža izmantošanas katedrā. Pētījumi veikti laikā no 1996. gada līdz 2007. gadam. / The research is carried out at the Latvia University of Agriculture, Forest Faculty, Forest Utilization Department.

Promocijas darba zinātniskais vadītājs /

Scientific supervisor of the Promotion paper: prof., Dr. sc. ing., Leonards Līpiņš.

LLU MF Meža izmantošanas katedras 2007. gada 11. maija paplašinātajā sēdē promocijas darbs apstiprināts iesniegšanai LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomē.

Oficiālie recenzenti / Reviewers:

prof., Dr. habil. chem. Jurijs Hrols, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts / Latvia State Institute of Wood Chemistry;

prof., Dr. Sc. (Agr. and For.) Timo Kärki, Lappeenranta Tehnoloģiskā universitāte / Lappeenranta University of Technology;

kvalitātes kontroles speciālists / quality expert, Dr. sc. ing., Ziedonis Miklašēvičs, a/s „Latvijas valsts meži” / stock company „Latvijas valsts meži”.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2007. gada 16. novembrī plkst. 11.00 Jelgavā, Dobeles ielā 41, Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūta sēžu zālē.

Ar promocijas darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 un <http://lufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

Atsauksmes sūtīt LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes sekretāram prof., Dr. sc. ing. Andrim Drēskam, LLU Meža fakultāte, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001 vai mfmezizm@llu.lv.

The promotion paper will be defended in an open meeting of the Promotion council of Latvia University of Agriculture, Forest Sciences branch and the subdivision Wood materials and technology of Material sciences branch, on November 16, 2007 at 11.00 a.m., in conference hall of Forest and Wood Products Research and Development Institute, Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001.

The promotion paper, the annex and resume are available at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 and <http://lufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

You are welcome to send your comments to the secretary of the Promotion council Andris Drēška, Dr. sc. ing., LLU Meža fakultāte, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvia and mfmezizm@llu.lv.

SATURS / CONTENT

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	4
2. AR KOKMATERIĀLU ĪPAŠĪBĀM SAISTĪTU PĒTĪJUMU APSKATS PĒC LITERATŪRAS	6
2.1. Īpašības kvalitātes raksturošanai un tās ietekmējošie apstākļi	7
2.2. Koka stumbra kvalitāti raksturojošas īpašības	7
3. PĒTĪJUMU MATERIĀLS UN METODIKA	8
3.1. Galvenie pētījumos noskaidrojamie rādītāji	8
3.2. Datu ievākšana	9
3.3. Datu apstrāde	10
4. REZULTĀTI	14
4.1. Galvenie izmēri	14
4.2. Raukums	15
4.3. Mizas biezums un daudzums	16
4.4. Zaru raksturojums	18
4.5. Stumbra zarojuma zonas	21
4.6. Priedes stumbra kvalitāte un vērtība	23
4.7. Koka stabilitātes rādītāja lielums un saistība ar zaru raksturojumu ..	26
Secinājumi	28
ZINĀTNISKĀS PUBLIKĀCIJAS PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU / <i>SCIENTIFIC PUBLICATIONS RELATED TO THE SUBJECT</i> <i>OF THE THESIS</i>	29
1. <i>GENERAL</i>	30
2. <i>RESEARCH OF WOOD QUALITY AS RAW MATERIAL</i>	32
2.1. <i>Wood quality features</i>	32
2.2. <i>Tree trunk quality features</i>	32
3. <i>MATERIAL AND METHODS</i>	33
3.1. <i>Basic indicators</i>	33
3.2. <i>Data collection</i>	34
3.3. <i>Data processing</i>	35
4. <i>RESULTS</i>	36
4.1. <i>The main parameters</i>	36
4.2. <i>Taper</i>	36
4.3. <i>Bark thickness and volume percentage</i>	37
4.4. <i>Knots characteristic</i>	38
4.5. <i>Tree trunk knottiness zones</i>	39
4.6. <i>Pine tree trunk quality and value</i>	40
4.7. <i>Tree slenderness and its relationship with knots characteristic</i>	41
Conclusions	43

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Darba aktualitāte

Reizē ar iedzīvotāju skaita pastāvīgu palielināšanos pasaulē pieprasījums pēc kokmateriāliem kļūst arvien lielāks (146). Tāpēc starp meža efektīvākas izmantošanas virzieniem kā nozīmīgs ir padziļināts koksnes izejvielu kvalitātes vērtējums, kas dod iespēju paaugstināt koksnes pielietojamas lietderīgumu gan līdz šim zināmas produkcijas, gan pavisam jaunu izstrādājumu ražošanā (120, 131). Īpašības, kuras ir būtiski svarīgas kokmateriālu tālākajā izmantošanā, pasaulē ir pētītas dažādās valstīs (30). Ir atzīts, ka tās var būtiski atšķirties atkarībā no koku augšanas ģeogrāfiskās vietas, konkrētajiem augšanas apstākļiem, meža kopšanas paņēmieniem u.tml. (15, 16, 33, 55, 86, 105, 143). Tas nozīmē, ka arī Latvijas saimnieciski nozīmīgāko koku sugu vērtējumā nevar pašauties vienīgi uz citur iegūto pieredzi, bet ir jāveic atsevišķi pētījumi.

Latvijā kokmateriālu ražošana ir tautsaimnieciski svarīga mežsaimniecības sastāvdaļa, bet ir jūtams koksnes izejvielas no kvalitātes viedokļa raksturojošas informācijas trūkums. Parastā priede (*Pinus sylvestris L.*) ir izplatītākā koku suga mūsu valstī, tāpēc ar pētījumiem pamatots no priedes stumbriem iegūstamu kokmateriālu kvalitātes raksturojums ir aktuāls no vairākiem aspektiem, jo ir nepieciešams:

- kokmateriālu kvalitātes prognožu modelēšanai;
- mežsaimnieciskās ražošanas plānošanai;
- Latvijas saimnieciski nozīmīgo koku sugu datu bāzu veidošanai;
- apaļo kokmateriālu kvantitatīvas un kvalitatīvas vērtēšanas tālākai attīstībai;
- no Latvijā augošas priedes sagatavotu kokmateriālu konkurētspējas novērtējumam starptautiskajā tirdzniecībā;
- Latvijas nacionālo standartu izstrādei;
- izmantošanai profesionālajā apmācībā.

Pētījumu mērķis

Galvenais pētījumu mērķis ir noskaidrot Latvijā meža galvenajā cirtē iegūstamu priedes apaļo kokmateriālu kvantitatīvu un kvalitatīvu raksturojumu saistībā ar stumbra zarojumu.

Galvenie uzdevumi

1. Noteikt meža galvenajā cirtē iegūstamu kvantitatīvo rādītāju lielumus un to izkliedi kokmateriālu sagatavošanai piemērotajā (komerciālajā) priedes stumbra daļā.
2. Noskaidrot zaru raksturojumu priedes stumbra komerciālajā daļā.
3. Noteikt priedes stumbra komerciālajā daļā sagatavojamo apaļo kokmateriālu kvalitāti un vērtību saistībā ar zarojumu.
4. Noskaidrot koku sadalījumu pēc stabilitātes rādītāja lieluma un saistību ar apaļo kokmateriālu kvalitāti.

Zinātniskā novitāte

Par Latvijā meža galvenajā cirtē sagatavojamiem priedes stumbriem ir iegūta pilnīgi jauna informācija:

- 1) zaru raksturojums pa paveidiem, pēc caurmēra, skaita un izvietojuma;
- 2) pēc zarojuma savstarpēji atšķirīgu stumbra zonu raksturojums;

- 3) jauna metode apaļo kokmateriālu sadalījumam atkarībā no kvalitātes un vērtības;
- 4) koku sadalījums meža galvenajā cirtē pēc stabilitātes rādītāja lieluma.

Darba praktiskā nozīme

1. Pētījumu laikā iegūto, Latvijas vidējiem apstākļiem atbilstošo galvenajā cirtē sagatavojamo priedes stumbru izmēru raksturojumu var izmantot stratēģiskajai plānošanai mežsaimniecības uzņēmumos.

2. Atrasto matemātisko sakarību mizas procentuālā daudzuma noteikšanai pēc mizas biezuma un kokmateriāla caurmēra attiecības var lietot ražošanā mizas daudzuma aprēķiniem, jo tā ir vienkārši izmantojama un dod pietiekami precīzu rezultātu.

3. Iegūtie dati par priedes stumbra komerciālajā daļā esošo zaru raksturojumu pa paveidiem, pēc izmēra, skaita un sadalījuma stumbra garenass virzienā ir piemēroti kritēriālo lielumu pamatošanai nacionālajos kokmateriālu kvalitātes standartos.

4. Izstrādāto metodiku priedes apaļo kokmateriālu neatkarīgai vērtēšanai pēc kvalitātes, vadoties no zaru raksturojuma, iespējams lietot kā pamatojumu jaunu noteikumu izstrādē priedes apaļo kokmateriālu šķirošanai.

5. Izstrādāto metodisko paņēmieni priedes stumbra koksnes nosacītās vērtības noteikšanai var izmantot ekonomiskā pamatojuma sagatavošanai, plānojot saimniecisko darbību mežsaimniecības uzņēmumā.

6. Atziņas par koka stabilitātes rādītāja ietekmes tendenci uz kokmateriālu kvalitāti ieteicams ņemt vērā mežaudžu kopšanas plānošanā.

Darba aprobācija

Promocijas darba rezultātu aprobācija veikta, autoram par tiem ziņojot 4 starptautiskās zinātniskajās konferencēs un 8 nacionāla līmeņa konferencēs. Ar darba tematiku saistīta zinātniski nozīmīga informācija apkopota 9 publikācijās, no kurām 5 ietvertas starptautiski atzītos ārvalstu izdevumos. Zinātniskā darba izstrādē iegūtās atziņas izmantotas, piedaloties LLU Meža fakultātē 4 pētījumos un sagatavojot attiecīgas atskaišu nodaļas.

Promocijas darba struktūra un apjoms

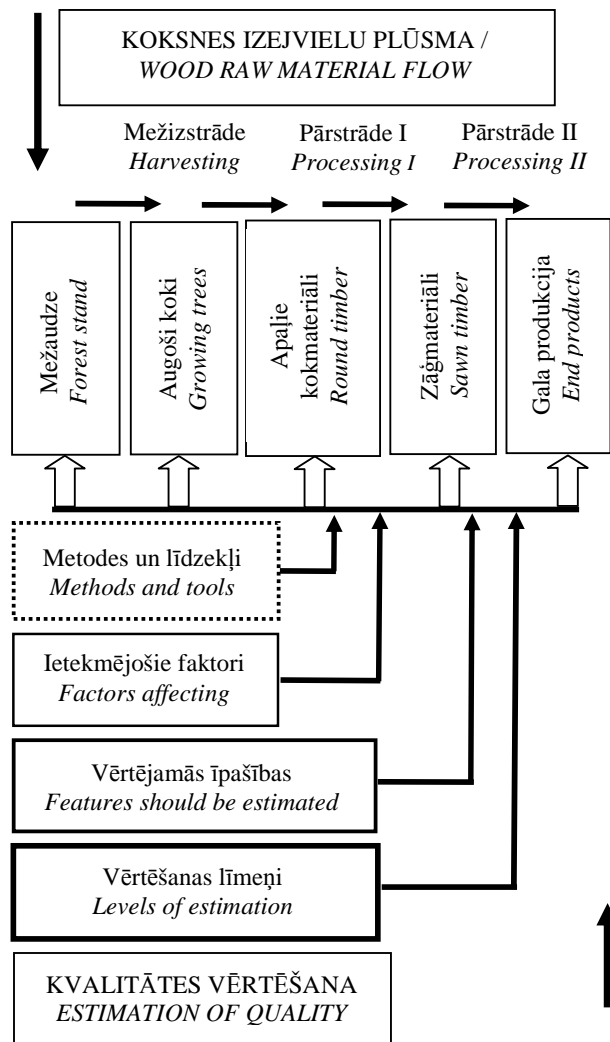
Promocijas darbs sastāv no 6 nodaļām. Pirmajā nodaļā veikts pētījumu apskats pēc literatūras par koksnes izmantošanas attīstībā svarīgām kokmateriālu īpašībām un to noteikšanas paņēmieniem. Otrajā nodaļā apskatīta promocijas darba izpildē lietotā metodika datu ieguvei un apstrādei. Trešajā nodaļā dots datu ieguvei izmantoto priedes paraugkoku vispārējs raksturojums, sadalījums pēc caurmēra un augstuma, stumbra komerciālās daļas caurmēru un garumu raksturojošie lielumi, raukuma un mizas skaitliskais raksturojums un statistiskais novērtējums. Ceturtajā nodaļā apkopoti priedes zaru pētījumi par sadalījumu pa paveidiem, par caurmēra un skaita izmaiņām stumbra garenass virzienā, mieturu attālumiem, stumbra iedalījumu pa zonām atkarībā no zaru raksturojuma. Piektajā nodaļā sniegts metodikas izmantošanas izklāsts neatkarīgai priedes apaļo kokmateriālu kvalitātes vērtēšanai saistībā ar zaru raksturojumu, noteikta priedes stumbra komerciālās daļas nosacītā vērtība. Sestajā nodaļā dots priedes sadalījums galvenajā cirtē pēc stabilitātes rādītāja lieluma, izdarīts statistisks šā rādītāja novērtējums un noskaidrotas tendences ietekmei uz stumbra koksnes kvalitāti.

Promocijas darba apjoms ir 112 lpp., informācija sakārtota 20 tabulās un 60 attēlos, 4 pielikumos atsevišķā sējumā uz 360 lpp., izmantoti 153 literatūras avoti.

2. AR KOKMATERIĀLU ĪPAŠĪBĀM SAISTĪTU PĒTĪJUMU APSKATS PĒC LITERATŪRAS

Atbilstoši šā zinātniskā darba tematikai publikācijās galvenokārt atlasīta informācija par stumbra pamatizmēru raksturošanas paņēmieniem, zaru īpašību izpēti, apaļo kokmateriālu kvalitātes un vērtības noteikšanu. Uzmanība pievērsta arī vispārējām nostādnēm attiecībā uz kvalitātes vērtēšanu, meža kā koksnes izejvielu avota sastāvelementu savstarpējās saistības traktējumam, kokmateriālu iekšējās struktūras izpētes paņēmieniem un tehniskajiem līdzekļiem.

Pasaulē meža nozares zinātniskās pētniecības tematikā attiecībā uz koksni kā izejvielu izpaužas divas tendences: pētījumu saistīšana ar pilnu koksnes plūsmu, sākot no augoša meža līdz pat gatavajai produkcijai, un dažādu modeļu izmantošana kopsakarību skaidrošanai starp koksnes kvalitāti nosakošām īpašībām un mainīgajiem lielumiem, kas dod iespēju prognozēt koksnes īpašību parametriskos rādītājus ar ražošanā nepieciešamo ticamības pakāpi (127, 128, 134, 138). Starp aktuālākajiem ir jautājums par gala produkcijas prasībām atbilstošas informācijas pieejamības iespējām koksnes izejvielu plūsmas pašā sākumā. To, kādā kontekstā mūsdienās pasaules mērogā tiek aplūkota pieeja koksnes izmantošanas attīstībai, pamatojoties uz informāciju par tās kvalitatīvajām īpašībām, uzskatāmi var parādīt ar vienkārša modeļa palīdzību (skat. 2.1. att.).



2.1. Koksnes izejvielu kvalitātes vērtēšanas modelis
Fig. 2.1. Wood raw material quality estimation model

Modelis rāda, ka kopumā ar koksnes kvalitāti saistīto jautājumu loks ir plašs. Tas ietver lielu daudzumu atsevišķu īpašību, to ietekmējošos faktoros, kuri jāskata attiecībā uz mežaudzi, atsevišķiem kokiem, apaļajiem kokmateriāliem, to pārstrādes starpproduktiem un gala produkciju, tāpat arī nepieciešamo metodisko paņēmieni izstrādāšanu, mēraparatūras un dažādu tehnisku līdzekļu attīstību.

2.1. Īpašības kvalitātes raksturošanai un tās ietekmējošie apstākļi

Īpašības, kuras izmanto kā rādītājus kvalitātes raksturošanai, var attiekties uz visu koku vai tikai kādu tā daļu – kodolkoksnī, aplievu, koksnes šūnu raksturojumu aplievā u.tml. Publikācijās atzīmēts, ka visa koka kvalitāti raksturo raukums (29, 30), stumbra caurmērs krūšaugstumā (28), koka vecums (28), atsevišķu apaļo kokmateriālu – tā izmēri (98), stumbra daļa, no kuras šis kokmateriāls sagatavots (98), līkumainība (45, 139), zaru caurmērs un skaits (45, 60, 139), aplievas un kodolkoksnis daudzums (45, 100), vēlinās koksnes daudzums gadskārtās (38), jaunības koksnes daudzums (30, 38, 87, 139), gadskārtu platums (30, 38) un kokmateriāla iekšējā struktūra, resp., stumbra koksne ieslēgto zaru raksturojums (39). Ar kvalitātes rādītājiem saistīts arī gala produkcijas veids (146). Šūnu līmenī kā kvalitātes rādītāju ņem vērā mikrofibrillu leņķi (38).

Pie apstākļiem, kas ietekmē ar koksnes kvalitāti saistītās īpašības, vispirms atzīmēti tie, kuri ietekmē mežaudzi kopumā un augošus kokus. Tādi ir: augšanas apstākļi (21, 39, 45, 51), meža atjaunošanas veids (139, 146), paņēmieni audzes ražības paaugstināšanai kā selekcija, mēslošana (30), nosusināšana (56), tehnoloģisko koridoru izvietojums (39), stumbra formas veidošana, augošu koku atzarošana (50), citi meža kopšanas paņēmieni (30, 56), grunts mitruma apstākļi (88), mizas slimības (84), koku savstarpējā konkurence audzē (139).

2.2. Koka stumbra kvalitāti raksturojošas īpašības

Raukuma būtību formulējuši dažādi pētnieki (29, 36, 46, 52, 60, 78, 106, 109, 114, 135, 140, 150, 151). Raukums ir funkcionālā atkarībā no koka krūšaugstuma caurmēra un koka augstuma. Tas ir saistīts ar dzīvo zaru vainaga relatīvo garumu un reizē ar to arī ar zaru raksturojumu. Raukuma aprakstīšanai pastāv liels skaits dažādu funkcionālu sakarību, un pētījumi šajā virzienā joprojām turpinās. Izmanto trigonometrisko funkciju, polinomiālus, pakāpes un ģeometriskus raukuma noteikšanas modeļus. Modelis var tikt pamatots ar attālumu no galotnes līdz stumbra komerciālajai daļai. Raukumu var aprakstīt ar vienu sakarību visam stumbram, bet neprecizitāte rodas stumbra pašā resgaļa daļā, kur ir blīzums (106).

Mizas daudzums jāzina kā ekonomiskā, tā ekoloģiskā vērtējumā (29). Mizas biezumu grūti paredzēt pat vienai koku sugai. To bieži modelē ar mizas koeficientu, ko aprēķina kā attiecību starp stumbra caurmēru bez mizas un caurmēru ar mizu (29, 140). Ir svarīgi pareizi novērtēt mizas daudzumu kokmateriālu tilpuma noteikšanā. Zviedrijā ir speciālas šim nolūkam izstrādātas formulas (104).

Zari ir skujkoku galvenā vaina, kas ir par iemeslu kokmateriālu šķiras pazemināšanai vai brāķēšanai. Raksturojošie lielumi ir zaru skaits, caurmērs, zara paveids. Zara ieauguma leņķis būtiski ietekmē kokmateriāla izmantošanu, jo no tā vienlaikus atkarīgi zara izmēri un zara aizņemtais tilpums stumbra koksne (19, 20, 30, 90, 133, 134, 152, 153). Ražošanā meža nozarē zaru raksturojums jāzina arī no atzarošanas operācijas izpildes iespējām apaļo kokmateriālu sagatavošanas laikā (153).

Zarainuma raksturošanai mēra koka vainaga garumu, vidējo un maksimālo zara caurmēru katrā mieturī (mm), katra mietura attālumu no galotnes (60), zaru ieauguma leņķi, caurmēru pie koka stumbra, nosaka mieturu skaitu, mēra stumbra caurmēru tieši zem zaru mietura, mietura attālumu no koka galotnes (19, 20, 133, 136). Pētījumos ir atšķirības, no kāda caurmēra zarus

apaļajos kokmateriālos ņem vērā. Ir norādes, ka neņem vērā zarus ar caurmēru līdz 7 mm (19, 20) vai arī, ka zarus uzskaita no 12.5 mm caurmēra (133).

Koka stabilitātes rādītājs raksturo koka augstuma un krūšaugstuma caurmēra attiecību. To izmanto stumbra formas variēšanas izpētei, vēja izturības skaidrošanai, saistībai ar vainaga raksturojumu, koku savstarpējās konkurences izpētē (35). Minimālais lielums kā priedei, tā eglei ir konstants lielums, vienlīdzīgs 0.5 (117).

Kokmateriālu kvalitāte saistās arī ar cenu, kas ir viens no svarīgākajiem mežsaimniecību ietekmējošiem faktoriem (62). Cena palielinās reizē ar kokmateriāla tievgaļa caurmēru, bet tikai līdz noteiktam lielumam, kur notiek izlīdzināšanās (80).

Apkopojot literatūras apskatā iegūto informāciju var atzīt, ka pētījumu daudzums un konkrētā kvalitātes jautājumiem veltītā tematika apliecina šāda pētniecības virziena aktualitāti un nozīmību, kā arī apstiprina izvēles pareizību attiecībā uz šajā darbā tuvāk analizētajiem rādītājiem.

3. PĒTĪJUMU MATERIĀLS UN METODIKA

Pētījumos izmantotas pa atsevišķiem darba uzdevumiem atšķirīgas metodes. Datu ievākšanā ievērots gan plānveidīguma princips tādā nozīmē, lai ar datiem būtu reprezentēta visa ar pētījumu mērķi saistītā ģenerālkopa, gan nejaušas izvēles princips, lai paraugi datu ieguvei netiktu tendenciozi izraudzīti. Paņēmienu mērījumiem izvēlēti atbilstoši nepieciešamajai iegūstamo datu precizitātei.

Darbs iesākts ar galveno noskaidrojamo rādītāju izvēli.

3.1. Galvenie pētījumos noskaidrojamie rādītāji

Koka stumbra caurmērs un garums ir apaļo kokmateriālu iznākuma galvenie raksturotāji kvantitatīvā nozīmē un reizē būtiski kvalitātes ietekmētāji. Gan ražošanā, gan pētniecībā tie ir pamats, uz kura balstās citi apaļos kokmateriālus no dažādiem viedokļiem raksturojošie lielumi. Šajā darbā, nosakot koku caurmēru krūšaugstumā un augstumu, stumbru caurmēru un garumu, pirmkārt, noskaidrots pētāmā materiāla matemātiskās statistikas raksturojums, otrkārt, iegūts pamatots priekšstats par cērtama vecuma priedes kokmateriālu dimensijām Latvijā. Uz šo rādītāju pamata noteikts tilpums kā pilna garuma stumbriem, tā atsevišķām to daļām, saistībā ar šiem pamatizmēriem noskaidrots stabilitātes rādītājs cērtama vecuma priedēm.

Raukums kā caurmēra izmaiņas raksturojošs lielums stumbra garenvirzienā dod priekšstatu kā par stumbra formu, tā arī zināmā mērā par kvalitāti. Tam ir būtiska nozīme apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanā pēc caurmēra un garuma, un šajā darbā tas izraudzīts galvenokārt šā iemesla pēc.

Mizas kvantitatīvajiem rādītājiem ir būtiska nozīme caurmēra noteikšanā, mērot kokmateriālus ar automatizētām iekārtām, un kokmateriālu tilpuma noteikšanā. Automatizētās mērierīces ātri un precīzi var noteikt apaļo kokmateriālu caurmēru ar mizu jebkurā kokmateriāla vietā, bet tālākai izmantošanai nepieciešamais caurmērs bez mizas jāiegūst aprēķinu ceļā.

Mizas procentuālais daudzums ir nepieciešams kokmateriālu uzmērīšanā pēc kraujmēra. Kļūdaina mizas procentuālā daudzuma lietošana ir viens no cēloņiem atšķirībām starp kokmateriālu uzskaites dokumentos norādīto un faktisko tilpumu. Pēc kraujmēra uzmēra arī augstvērtīgākus sortimentus, tāpēc tilpuma atšķirības var izraisīt negatīvas ekonomiska rakstura sekas.

Apaļo kokmateriālu kvalitātes vērtēšana nav iedomājama bez zaru ietveršanas starp pirmā kārtā vērā ņemamiem kritērijiem. Pašlaik pieejamā informācija par priedes un citu Latvijā izplatītu un saimnieciski nozīmīgu koku sugu zariem ir visai neliela. Viens no šā pētniecības darba uzdevumiem ir iegūt pietiekamu datu daudzumu, kas ļautu spriest par priedes stumbros sastopamo

zaru iedalījumu pēc to veseluma, izmēriem, par zaru skaitu un izvietojumu stumbra garenvirzienā un pa perimetru.

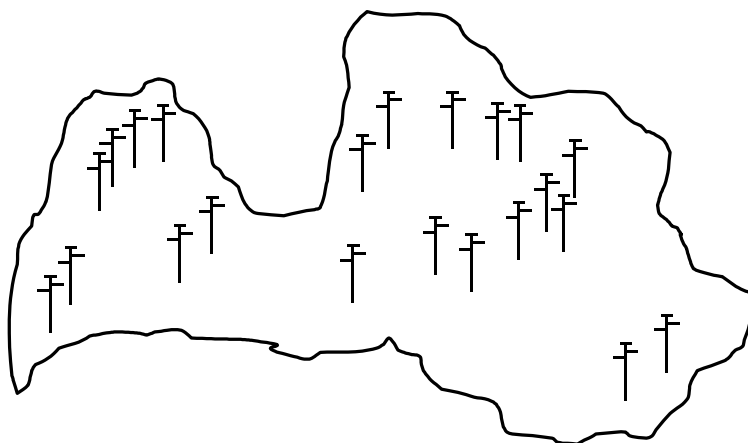
Stumbra sadalījums pa zarojuma zonām saistās ar zaru izpēti, bet tam ir cieša kopsakarība ar garumu un caurmēru, tas ir nozīmīgs kokmateriālu kvalitātes vērtējumā dažādās stumbra daļās un tāpēc noteikti skatāms kā atsevišķs rādītājs.

Stumbra sadalījums pa kvantitatīvi un kvalitatīvi atšķirīgām stumbra daļām ir vislielākajā mērā saistīts ar kokmateriālu ekonomisku vērtējumu. Šajā darbā izstrādāta metode priedes apaļo kokmateriālu vērtēšanai, izmantojot zaru raksturojumu, un ieteikts nosacītās vērtības rādītājs.

Koka stabilitātes rādītāju izmanto stumbra formas variēšanas izpētei, vēja izturības skaidrošanai, saistībai ar vainaga raksturojumu, koku savstarpējās konkurences pētījumos. Rādītājs ietverts starp galvenajiem, jo tam ir saistība ar kokmateriālu kvalitāti.

3.2. Datu ievākšana

Atbilstoši darba mērķim un uzdevumiem darbam nepieciešamo datu ievākšana teritoriāli ierobežota ar visu Latviju. Otrs ierobežojošs nosacījums saskaņā ar darba mērķi ir paraugkoku vecums: parauglaukumi izvēlēti tikai ciršanas vecumu sasniegušās audzēs meža galvenajā cirtē. Visa valsts teritorija aptverta ar kopskaitā 22 parauglaukumu vietām (skat. 3.1. att.).



3.1. att. Parauglaukumu izvietojums Latvijas teritorijā
Fig. 3.1. The location of sample plots over all the area of Latvia

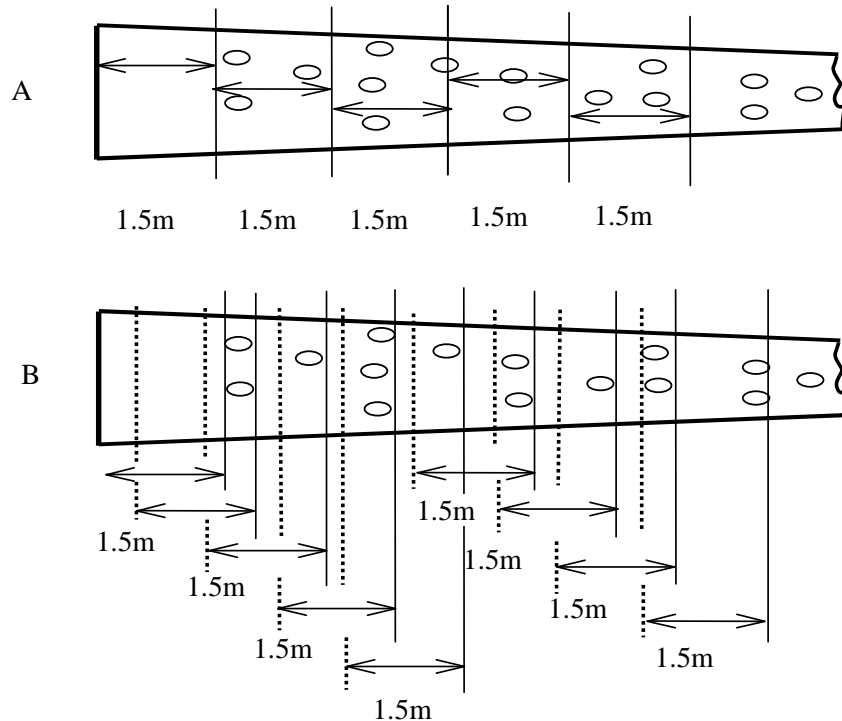
Parauglaukums izvēlētajā audzē iekārtots tā, lai tas reprezentētu kopumā visu audzi un lai tajā būtu ne mazāk kā 60 pētāmās sugas, t.i., priedes koki. Katru parauglaukumā augošo priedi numurē. Numurs novietots stumbra ziemeļu pusē, lai šo atzīmi varētu izmantot kā orientieri, nosakot zaru sadalījumu pa stumbra perimetru. Krūšaugstuma caurmērs katrai priedei uzmērīts ar dastmēru, mērījumus izdarot divos savstarpēji perpendikulāros virzienos.

No parauglaukuma kopējā koku skaita pēc gadījuma principa atlasīti ne mazāk kā 20 paraugkoki, kuri tālāk izmantoti detalizētāku datu ieguvei.

Katra paraugkoka stumbra garums mērīts līdz vietai galotnes daļā, kur caurmērs ar mizu ir 3 cm. Reizē ar garuma mērīšanu, atzīmēts kreves mizas garums, pirmā nokaltušā (vai trupējušā) un pirmā veselā, saaugušā zara atrašanās attālums no stumbra resgaļa.

Caurmērs mērīts gan ar mizu, gan bez tās. Caurmēra mērīšanai bez mizas stumbrs mērīšanas vietā nomizots līdz pat koksnei, izvairoties reizē ar mizu noņemt arī kādu daļu no koksnes.

Zaru uzmērīšanā un vērtēšanā attālums no stumbra resgaļa griezuma līdz katram zaram mērīts ar mērlenti. Ja ir bijušas šaubas par zara stāvokli pēc veseluma, zara griezuma virsma nolīdzināta ar asu cirvi. Katrs uzmērītais zars atzīmēts tā, lai to neskatītu atkārtoti.



3.2. att. Stumbra zonu izvietojuma varianti kvalitātes vērtēšanai pēc zaru raksturojuma

A –rādītāju izmaiņu konstatēšanai stumbra garenvirzienā;
 B – kvalitātes vērtēšanai

Fig. 3.2. Patterns of the arrangement of stem sections for quality grading depending on knots features

A – to recognize the stemwise variance of knots features;
 B – for quality grading

Stumbra iedalījums pa zonām zaru uzmērīšanā parādīts 3.2. attēlā. Iedalījums A izmantots, lai noteiktu zaru skaita un caurmēra izmaiņas stumbra garenvirzienā, konstatējot katrā no zonām attiecīgā paveida zara vidējo un lielāko caurmēru, arī skaitu. Iedalījums B lietots kokmateriāla kvalitātes vērtēšanai, kas pamatojas uz visiem stumbra garuma sadalījuma variantiem pa 1.5 m garām vērtēšanas zonām.

Mērījumu dati iegūti no 178 priedes stumbriem.

3.3. Datu apstrāde

3.3.1. Stumbra caurmēra precizitāte. Pamatojoties uz stumbra caurmēra mērījumiem ar dastmēru, līdz 3m attālumam no stumbra resgaļa mērījumus veicot ik pa 1 m, bet tālāk ik pa 2 m, katram paraugkokam sagatavots stumbra formas modelis, grafiski apzīmēts ar līkni (skat. 3.3. att.). Lai pārliecinātos par to, cik labi pēc izlīdzinātās līnijas iegūtais caurmērs sakrīt ar faktiskajiem mērījumiem, ir aprēķināta šo lielumu procentuālā atšķirība (skat. 1. form.).

Uzmērīto un no līknes nolasīto izlīdzināto caurmēru lielumu atšķirību vidējais aritmētiskais lielums ir $1.77 \pm 0.12 \%$.

Tā kā ar dastmēru uzmērīto un uz izlīdzinātās līknes nolasīto stumbra caurmēru vidējā atšķirība nepārsniedz 2 %, tad 1 cm lielumu tā sasniegtu tikai pie 50 cm caurmēra (apaļo kokmateriālu uzmērīšanā caurmēru izsaka veselos centimetros). Šāda neliela nesakrītība nevar būt

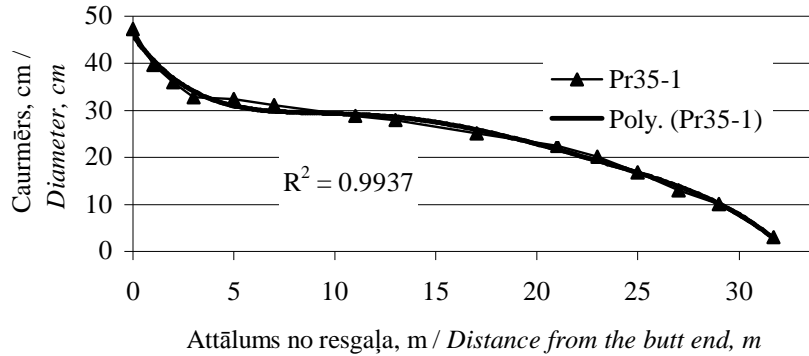
par iemeslu rezultātiem, kas būtiski atšķirtos no tādos aprēķinos iegūtiem, kas balstīti tieši uz mērījumiem ar dastmēru iegūtiem lielumiem.

$$\Delta D = 100 * (D_{fkt} - D_{nls}) / D_{fkt} \quad (1)$$

kur ΔD -faktisko caurmēra mērījumu un no izlīdzinātās līnijas nolasīto lielumu atšķirība, %; / the difference between actual measurements and numerical value read from smoothed curve, %;

D_{fkt} -ar dastmēru uzņēmētais caurmērs, cm / diameter measured with calliper, cm;

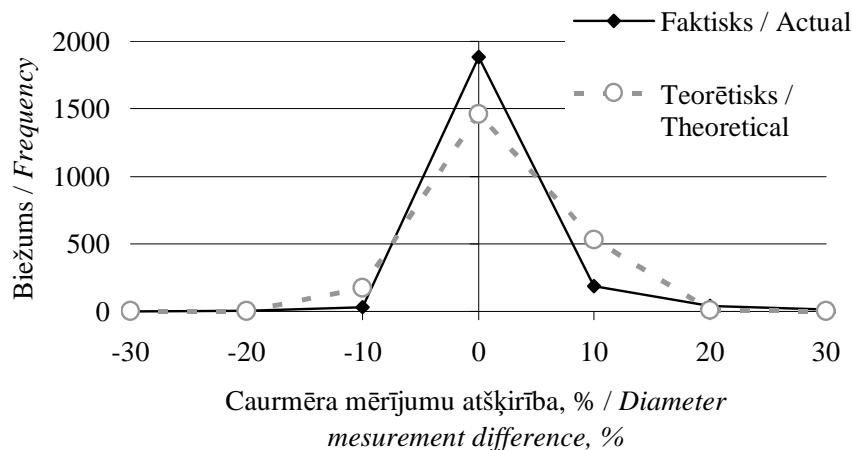
D_{nls} -no izlīdzinātās līnijas nolasītais caurmērs, cm / diameter read from smoothed curve, cm.



3.3. att. Izlīdzināta līnija ar mizu mērīta caurmēra izmaiņām paraugkoka Pr35-1 stumbra garenvirzienā

Fig. 3.3. The smoothed curve of the variance of over bark diameter lengthwise the stem of the sample tree Pr35-1

Atšķirību sadalījumā pa biežumiem redzams centrālās, t.i., ap nulli grupējošās klases spilgti izteikts pārsvars, ko apstiprina arī ekscesa lielums statistiskajos rādītājos. Mērījumu atšķirības sadalījuma poligons (skat. 3.4. att.) un aprēķinātās varbūtības norāda uz to, ka ar varbūtību 0.91 nav sagaidāma 10 % pārsniedzosa atšķirība.



3.4. att. Ar dastmēru uzņēmētais un no izlīdzinātās līnijas iegūtais caurmēra atšķirība

Fig. 3.4. The difference between diameters measured by calliper and obtained from smoothed curve

Līdzīgi kā stumbra caurmēra noteikšanai jebkurā attālumā no resgaļa, tiek konstruēta mizas biezuma izmaiņas parādoša izlīdzināta līnija. Lai pārļiecinātos par to, cik labi pēc izlīdzinātās līnijas iegūtais mizas biezums sakrīt ar faktiskajiem mērījumiem, ir aprēķināta šo lielumu procentuālā atšķirība.

3.3.2. Relatīvais stumbra garums. Caurmēra un mizas biezuma izmaiņu skaidrojumam starp visiem paraugkokiem nepieciešams relatīvais stumbra garums, lai izslēgtu paraugkoku stumbru garumu atšķirību ietekmi savstarpējos dažādu stumbru salīdzinājumos. Stumbra garumu pieņemot vienlīdzīgu 100 %, jebkuru attālumu no stumbra resgaļa aprēķina, neizsakot to metros, bet procentos (skat. 2. form.).

$$L_{\%} = 100 * l / L_m, \quad (2)$$

kur $L_{\%}$ -attālums no stumbra resgaļa, %; / *the distance from stem butt end, %*;

l -attālums no stumbra resgaļa, m / *the distance from stem butt end, m*;

L_m -stumbra garums, m / *stem length, m*.

3.3.3. Raukums. Raukums katra paraugkoka sumbram rēķināts atsevišķi pa 1 m gariem nogriežņiem un īsākajai atlikušajai stumbra galotnes daļai (skat. 3. form.).

$$R = (d_{rsg} - d_{tvg}) / l, \quad (3)$$

kur R -rauķums, cm m^{-1} ; / *taper, cm m^{-1}* ;

d_{rsg}, d_{tvg} -attiecīgi caurmērs ar mizu apaļā kokmateriāla resgalī un tievgalī, cm / *round timber diameter over bark, accordingly at the log butt end and top end, cm*;

l -apaļā kokmateriāla garums, m / *round timber length, m*.

3.3.4. Mizas procentuālais daudzums. Mizas procentuālo daudzumu, kas rāda, kādu daļu no kopējā tilpuma aizņem miza, jebkurā apaļā kokmateriāla vietā var iegūt pēc attiecības starp šķērsriezuma laukuma lielumiem šajā vietā, nosakot tos ar mizu un bez mizas (skat. 4. form.).

$$V_{m\%} = 100 * (d_{am}^2 - d_{bm}^2) / d_{am}^2, \quad (4)$$

kur $V_{m\%}$ -mizas procentuālais daudzums, %; / *bark percentage, %*;

d_{am}, d_{bm} -attiecīgi kokmateriāla caurmērs ar mizu un bez mizas, cm / *round timber diameter, accordingly over bark and under bark, cm*.

3.3.5. Kokmateriālu nosacītā vērtība. Pamatojoties uz Latvijas kokmateriālu cenu analīzē noteiktajām vidējām vērtībām dažādiem caurmēra skaitliskajiem lielumiem un korekcijai izmantojot kvalitātes indeksu, ir sastādīta vidējo cenu tabula. Maksimālā skaitliskā vērtība šajā tabulā pieņemta vienlīdzīga 100 % un tad visas pārējās vērtības attiecīgi pārrēķinātas, tādējādi iegūstot 1 m^3 kokmateriālu relatīvo vērtību skaitliskos lielumus atkarībā no caurmēra un no kvalitātes rādītāja lieluma (skat. 3.5. att.).

Nosacītās vērtības skaitlisko lielumu atrod, kokmateriāla faktiskajai kvalitātei atbilstošo relatīvā formā izteikto vērtību izsakot procentos no koksnes pilnas vērtības (skat. 5. form.). Par pilnu vērtību pieņemts augstākajai kvalitātei atbilstošs vērtības lielums, neatkarīgi no kokmateriāla caurmēra un īpašībām, kas varētu ietekmēt tā tālāko izmantošanu.

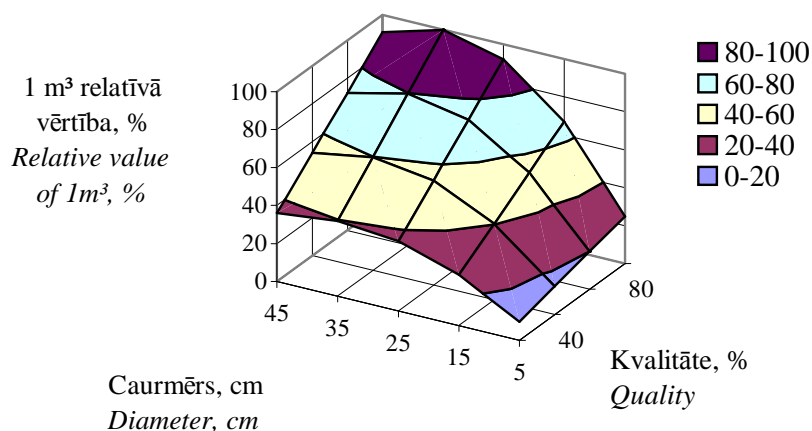
$$K_v = 100 f_{kv} / f_{p\ln}, \quad (5)$$

- kur K_v - apaļā kokmateriāla nosacītā vērtība, % / *the relative value of round timber, %*;
 f_{kv} - faktiskajai kvalitātei atbilstoša relatīvā formā izteikta vērtība; % / *relative value corresponding to actual quality, %*;
 $f_{p\ln}$ - augstākajai kvalitātei atbilstoša (pilna) tā paša kokmateriāla koksnes vērtība, % / *relative value corresponding to the best quality of the same timber, %*.

Ja nosacītā vērtība jānosaka visam stumbram vai tādai stumbra daļai, kas sastāv no kvalitātes ziņā atšķirīgiem nogriežņiem, tad to rēķina kā vidējo svērto lielumu pēc kvalitātes ziņā atšķirīgo nogriežņu tilpuma (skat. 6. form.).

$$K_v = (100 \sum_{i=1}^n V_i f_{kv,i}) / (f_{p\ln} \sum_{i=1}^n V_i), \quad (6)$$

- kur V_i - pēc kvalitātes viendabīgas kokmateriāla i-tās daļas tilpums, m³, / *the volume of i-part of timber of uniform quality, m³*;
 n - pēc kvalitātes atšķirīgo daļu skaits / *the number of parts of unequal quality*;
 $f_{kv,i}$ - pēc kvalitātes viendabīgas kokmateriāla i-tās daļas relatīvā vērtība, % / *the relative value of i-part of timber of uniform quality, %*.



3.5. att. Priedes apaļo kokmateriālu 1 m³ relatīvā vērtība atkarībā no caurmēra un kvalitātes
Fig. 3.5. The relative value of 1m³ pine round timber depending on diameter and quality

3.3.6. Koka stabilitātes rādītājs. Koka stabilitātes rādītājs (19) raksturo attiecību starp koka augstumu, izteiktu metros un tā paša koka krūšaugstuma caurmēru, izteiktu centimetros (skat. 7. form.):

$$K_{stb} = H / D_{1,3}, \quad (7)$$

- kur K_{stb} - koka stabilitātes rādītājs / *tree slenderness*;
 H - koka augstums, m / *tree height, m*;
 $D_{1,3}$ - koka krūšaugstuma caurmērs, cm / *tree breast-height diameter, cm*.

4. REZULTĀTI

4.1. Galvenie izmēri

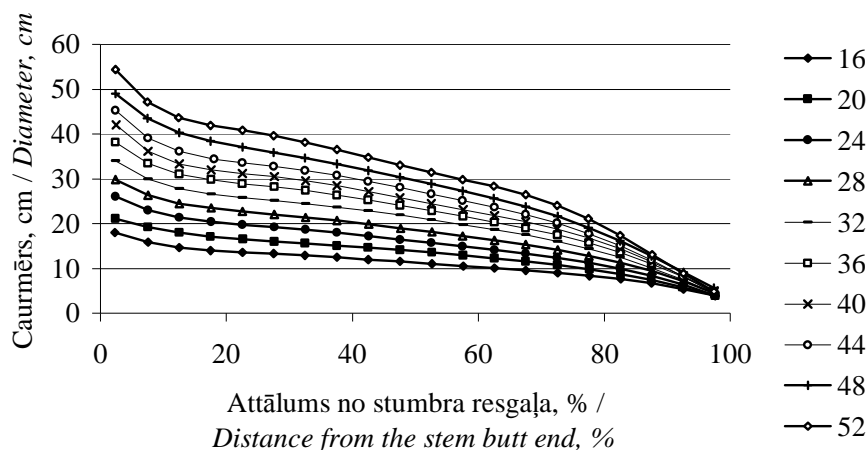
Apaļo kokmateriālu galvenie izmēri raksturo to garumu un resnumu. Augošiem kokiem tie ir caurmērs un koka augstums. Pētījumos analizētās paraugkoku kopas koku krūšaugstuma caurmēru sadalījums atbilst normālajam, tāpēc var uzskatīt, ka izvēlētie paraugkoki reprezentē cērtama vecuma priedes Latvijas mežos.

Paraugkoku krūšaugstuma caurmēra (cm) statistiskie rādītāji:

- aritmētiskais vidējais	32.21
- standartklūda	0.65
- standartnovirze	8.73
- ekscess	-0.40
- asimetrija	-0.01

Pamatojoties uz aprēķinātajiem statistiskajiem lielumiem var spriest, ka vidēji ap 59 % cērtamo koku sagaidāmi ar krūšaugstuma caurmēru starp 20 un 36 cm, 33 % koku – ar vairāk nekā 36 cm caurmēru, 8 % koku – ar caurmērs līdz 20 cm. Ap 55 % koku var būt ar augstumu starp 19 un 27 m, 34 % koku – ar augstumu virs 27 m, 11 % koku – ar augstumu līdz 19 m.

Caurmēra izmaiņas stumbra garenvirzienā ir noteiktas ne tikai atsevišķi katram paraugkokam, bet tās skatītas arī visiem paraugkokiem kopā un pa paraugkoku caurmēra grupām (skat. 4.1. att.).



4.1. att. Ar mizu mērīta caurmēra izmaiņas stumbra garenvirzienā pa visu paraugkoku krūšaugstuma caurmēra grupām

16 ... 52 – krūšaugstuma caurmērs, cm

Fig. 4.1. Over bark diameter variance lengthwise the stem in the breast-height diameter groups of all sample trees

16...52 – tree breast-height diameter, cm

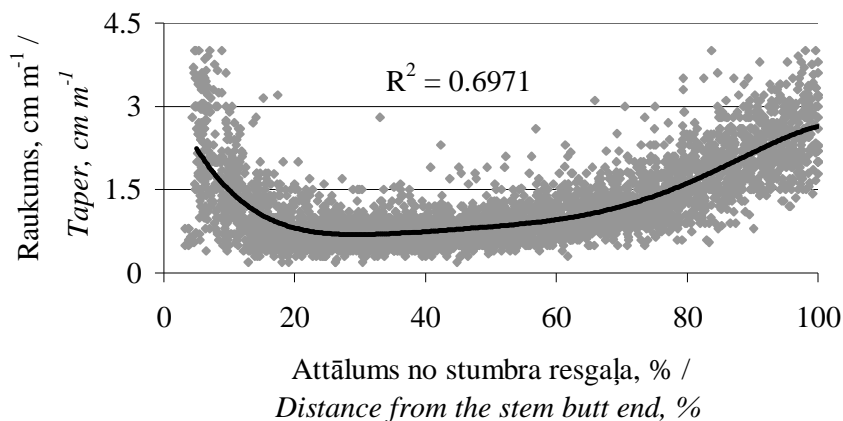
4.2. Raukums

Lai izsekotu raukuma izmaiņām stumbra garenvirzienā un iegūtu priekšstatu par vidējām vērtībām dažādās stumbra daļās, katra paraugkoka stumbram tas rēķināts atsevišķi pa 1 m gariem nogriežņiem, pēc tam izdarot analīzi kā visai paraugkoku kopai, tā arī pa stumbru galveno izmēru grupām. Konstatēts, ka vidēji starp visiem paraugkokiem lielākais raukums ir stumbra resgalī līdz apmēram 15 % attālumam no stumbra garuma un galotnes daļā, sākot jau ar apmēram 65 % no stumbra garuma, kur tas pārsniedz 1 cm m⁻¹. Stumbra vidusdaļā raukums vidēji ir zem 1 cm m⁻¹, un var teikt, ka kopumā puse no priedes stumbra garuma ir ar šādu raukumu. Vislielākā izkliede ap raukuma vidējām vērtībām ir pašā resgalī un galotnes daļā (skat. 4.2. att.).

Atsevišķi aprēķinot raukuma vidējos lielumus un standartnovirzi 1.5, 2.5 utt. līdz 8.5 m attālumā no resgaļa, noteikts raukuma skaitliskā lieluma novirzes lielums, kāds atbilst varbūtībai 0.95 (skat. 4.1. tabulu). Arī šie skaitļi liecina, ka izkliede ap vidējām vērtībām ir liela. Ievērojams novirzes samazinājums parādās, sākot tikai ar 5.5 m attālumu no stumbra resgaļa. Vismazākā raukuma izkliede saskaņā ar veikto aprēķinu ir 7.5 m attālumā no resgaļa. Varbūtība, ka raukums no aprēķinātās vidējās vērtības neatšķirsies vairāk kā 10 %, nav liela. Tā mainās no 0.15 pie 4.5 m attāluma no resgaļa līdz 0.26 pie 7.5 m attāluma no resgaļa. Stumbra caurmēra ietekme uz raukumu izpaužas galvenokārt resgaļa daļā. No 7... 8 m attāluma no stumbra resgaļa raukuma atšķirības starp dažāda caurmēra kokmateriālu grupu vidējiem caurmēriem vairs nav būtiskas, kas noskaidrots, ar T – testa pārbaudi salīdzinot raukumus dažāda kokmateriālu caurmēra grupās.

Ir aprēķināts un analizēts raukums katram 2, 3, 4 un 5 m garam kokmateriālam, sagatavotam stumbra resgalī, vidusdaļā un galotnes daļā. Konstatēts, ka īsākiem kokmateriāliem (2 un 3 m) raukums ir lielāks stumbra resgalī, bet garākiem (4 un 5 m) galotnes daļā. Tam par iemeslu ir apstākļi, ka stumbra daļa ar palielinātu raukumu resgalī ir īsāka nekā galotnes daļā. Nelielās raukuma atšķirības starp centrālajā stumbra daļā sagatavotiem dažāda garuma kokmateriāliem nav uzskatāmas kā būtiskas.

Pieņemot, ka jebkuram no nogriežņiem ir koniska forma, ir aprēķināts raukums dažāda garuma kokmateriāliem, sagatavotiem stumbra resgalī, vidusdaļā un galotnes daļā, par pamatu ņemot nogriežņa tilpumu un tievgaļa caurmēru. Šādi aprēķinātu raukuma lielumu var izmantot kokmateriāla formas novērtēšanai: ja pēc tilpuma aprēķinātais raukums ir lielāks nekā pēc galu caurmēriem noteiktais, tad kokmateriālam ir izliekta forma. Pretējā gadījumā, t.i., ja raukums pēc tilpuma ir mazāks nekā pēc galu caurmēriem noteiktais, tad kokmateriāla forma ir ieliekta.



4.2. att. Visu paraugkoku raukuma izmaiņa stumbra garenvirzienā
Fig. 4.2. Stem lengthwise variance of taper of all sample trees

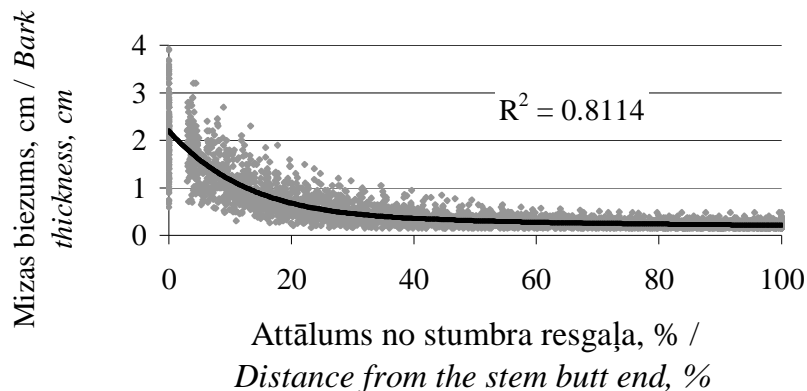
Raukums, cm m^{-1} , dažādā attālumā no stumbra resgaļa, iespējams ar varbūtību 0.95
Taper, cm m^{-1} , at different distances from stem butt end, at probability 0.95

Attālums no stumbra resgaļa, m / <i>Distance from the stem butt end, m</i>	Vidējais / <i>Mean</i>	Maksimālais / <i>Maximum</i>	Minimālais / <i>Minimum</i>
1.5	2.37	4.51	0.24
2.5	1.50	2.87	0.12
3.5	1.01	1.93	0.08
4.5	0.83	1.70	0.04
5.5	0.71	1.29	0.14
6.5	0.72	1.24	0.20
7.5	0.72	1.15	0.29
8.5	0.74	1.24	0.24

4.3. Mizas biežums un daudzums

Vispirms mizas biežums noteikts aprēķinu ceļā, pamatojoties uz caurmēra mērījumiem ar mizu un bez mizas. Tālākai analīzei lietoti izlīdzināti mizas biežumi, kas iegūti no līnijas, konstruētas pamatojoties uz mērīšanas vietās aprēķinātajiem mizas biežumiem. Vidējā procentuālā atšķirība starp aprēķināto un no izlīdzinātas līnijas nolasīto mizas biežumu ir $1.37 \pm 0.39 \%$.

Vidēji jau pirmajos 15 % no stumbra garuma, virzienā no stumbra resgaļa, mizas biežums samazinās līdz 1 cm, bet pēc 30 % no stumbra garuma tā vidējais lielums vairs nepārsniedz 5 mm (skat. 4.3. att.).



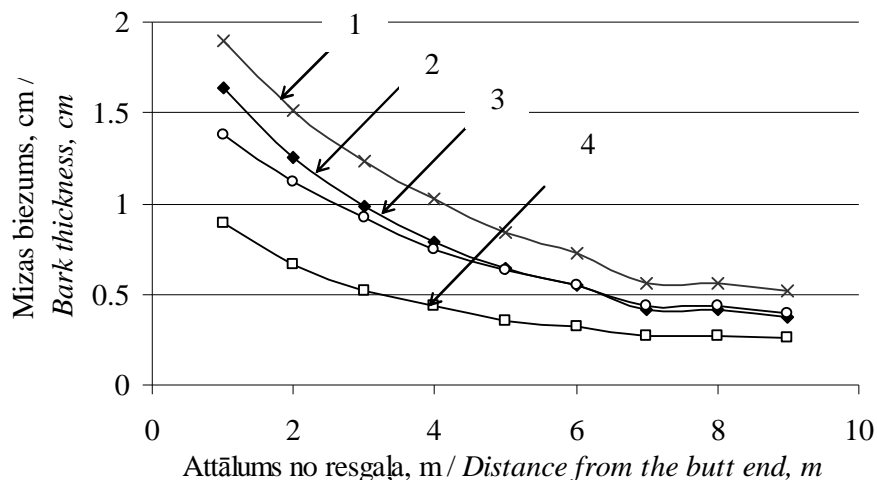
4.3. att. Visu paraugkoku mizas biežuma izmaiņa stumbra garenvirzienā

Fig. 4.3. Stem lengthwise variance of bark thickness of all sample trees

Izkliede ap vidējām mizas biežuma vērtībām liecina par lielu atšķirību starp atsevišķiem kokiem. Nelielas, līdz 10 % atšķirības no vidējiem lielumiem sagaidāmas ar varbūtību, ne augstāku kā 0.15. Viens no galvenajiem atšķirību iemesliem ir stumbra caurmērs (skat. 4.4. att.).

Izsakot mizas biežumu procentos no kokmateriāla caurmēra, iegūst relatīvo mizas biežumu. Vidēji starp visiem paraugkokiem tas ir 6 % pašā stumbra resgalī, bet līdz vietai, aptuveni līdzīgai

1/3 no stumbra garuma, samazinās līdz 2 %. Šāds lielums saglabājas stumbra tālākajā daļā, un tikai pēdējos stumbra garuma 20 % tas strauji palielinās līdz 8 %.



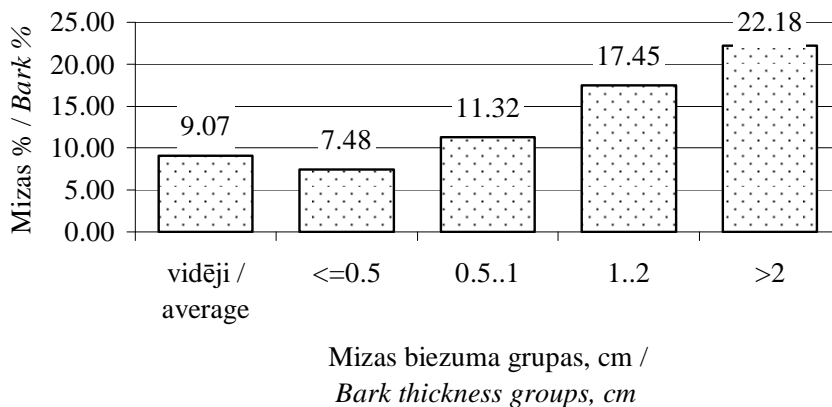
4.4. att. Mizas biezuma vidējais lielums dažādā attālumā no stumbra resgaļa atkarībā no stumbra caurmēra mērīšanas vietā

Caurmērs: 1 – virs 30 cm; 2 – vidējais;
3 – starp 20 un 30 cm; 4 – līdz 20 cm

Fig. 4.4. The mean value of bark thickness at different distance from the stem butt end regarding to stem diameter at measuring point

Diameter: 1 – over 30 cm; 2 – average;
3 – between 20 and 30 cm; 4 – under 20 cm

Pa visu paraugkoku kopu pēc tilpuma noteikts vidējais mizas daudzums ir 9.07 ± 0.08 %. Tas aprēķināts arī gan atsevišķiem paraugkokiem, gan pa kokmateriālu caurmēra un mizas biezuma grupām. Lielākais, ap 22 %, mizas daudzums ir to kokmateriālu grupā, kuriem mizas biezums tievgalī pārsniedz 2 cm (skat. 4.5. att.).



4.5. att. Mizas procentuālā daudzuma vidējais lielums apaļo kokmateriālu grupās ar atšķirīgu mizas biežumu

Fig. 4.5. The average bark percentage of round timber groups with different bark thickness

Salīdzināšanai ņemtas 1 m garu nogriežņu grupas, mizas biezumu nosakot tievgalī. Kā redzams 4.5. attēlā, tad 8 % nepārsniedzošs mizas procentuālais daudzums ir tikai plānās mizas grupā, bet ievērojami palielinās reizē ar mizas biezumu. Atsevišķiem kokmateriāliem miza var pārsniegt 20 % no kopējā tilpuma.

Tā kā mizas relatīvais biezums un procentos izteikts mizas daudzums pamatojas uz vieniem un tiem pašiem apaļā kokmateriāla izmēriem šķērsvirzienā, tad labi saprotama šo abu rādītāju ciešā korelatīvā saistība (koeficients 0.90). To var izmantot mizas procentuālā daudzuma vērtēšanai pēc mizas biezuma. Saistību labi apraksta taisnes vienādojums (skat. 8. form.):

$$V_{m\%} = 3.5304b_{mz\%} + 07724, \quad (8)$$

kur $V_{m\%}$ - mizas tilpums, % / bark volume, %;

$b_{mz\%}$ - mizas relatīvais biezums, % / the relative thickness of bark, %.

4.4. Zaru raksturojums

Pa visiem paraugkokiem kopā uzmērīti un novērtēti 25041 vaļējo zaru, no tiem 9679 trupējuši, 7095 nokaltuši un 8267 veseli. Viena paraugkoka stumbra vidējais zaru skaits ir 141 ± 4 . Tas mainās no 67 paraugkoku grupā ar 16 cm krūšaugstuma caurmēru līdz 222 paraugkoku grupā ar 52 cm krūšaugstuma caurmēru. Analizējot priedes stumbra zarus pēc to sadalījuma pa paveidiem konstatēts, ka vidēji starp visiem paraugkokiem ir 33.7 ± 1.0 % trupējušo (standartnovirze 14.0 %), 28.9 ± 0.9 % nokaltušo (standartnovirze 12.6 %) un 37.4 ± 0.9 % veselo, saaugušo zaru (standartnovirze 11.6 %).

Veselo zaru vidējais caurmērs apm. pusotrkārtīgi pārsniedz trupējušos un nokaltušos, bet tikai ap 16 % ir caurmēra atšķirības starp nokaltušo un trupējušo zaru paveidiem. Starp visiem paraugkokiem vidējais caurmērs pa paveidiem ir šāds: trupējušiem zariem tas ir 17.5 ± 0.1 mm, nokaltušiem – 21.0 ± 0.1 mm, bet veseliem, saaugušiem – 30.4 ± 0.2 mm. Var uzskatīt, ka šādi zari ir nelieli.

Zaru vidējais caurmērs palielinās reizē ar stumbra krūšaugstuma caurmēru (skat. 4.2. tab.).

4.2. tabula / Table 4.2

Vidējais zara caurmērs (mm) / Average diameter of knot (mm)

Krūšaugstuma caurmēra grupa, cm / Group of breast-height diameter, cm	Trupējuši / Unsound	Nokaltuši / Dead	Veseli, saauguši / Sound
16	9.9 ± 0.2	11.1 ± 0.3	17.9 ± 0.5
20	11.6 ± 0.2	14.7 ± 0.3	24.6 ± 0.6
24	13.9 ± 0.2	16.7 ± 0.2	25.4 ± 0.5
28	13.7 ± 0.2	18.7 ± 0.4	26.4 ± 0.6
32	16.5 ± 0.2	20.4 ± 0.3	30.2 ± 0.4
36	18.4 ± 0.2	23.0 ± 0.3	30.7 ± 0.4
40	18.8 ± 0.3	23.1 ± 0.4	34.1 ± 0.6
44	21.8 ± 0.2	26.0 ± 0.4	33.9 ± 0.5
48	22.1 ± 0.4	27.1 ± 0.9	32.2 ± 0.7
52	24.5 ± 0.4	26.8 ± 1.0	35.1 ± 1.0

Krūšaugstuma caurmēram palielinoties no 16 cm līdz 52 cm, vidējais trupējušo zaru caurmērs palielinās 1.4 reizes, nokaltušo – 1.2 reizes, bet veselo, saaugušo – 1.7 reizes.

Analizēto paraugkoku grupai šo palielinājumu labi apraksta vienkāršas lineāras sakarības (9 – trupējušiem zariem, 10 – nokaltušiem zariem, 11 – veseliem, saaugušiem zariem):

$$d_z = 0.3956d_{1,3} + 3.6605, \quad (R^2 = 0.9837) \quad (9)$$

$$d_z = 0.4401d_{1,3} + 5.7861, \quad (R^2 = 0.9615) \quad (10)$$

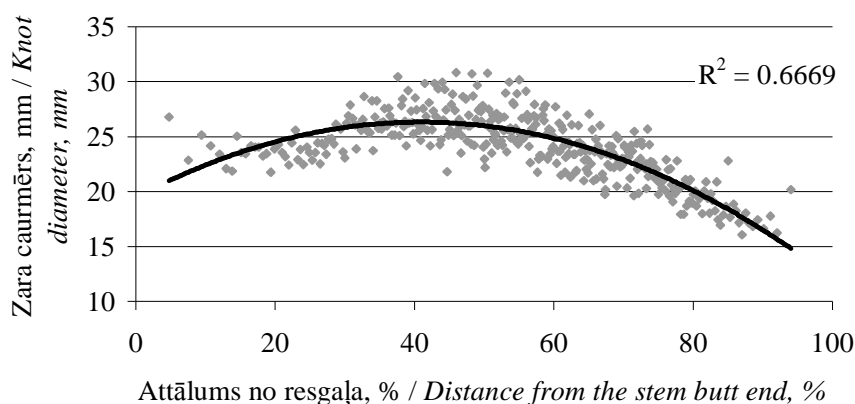
$$d_z = 0.415d_{1,3} + 14.924, \quad (R^2 = 0.8617) \quad (11)$$

kur d_z - zara vidējais caurmērs, mm / the mean diameter of knot, mm;

$d_{1,3}$ - krūšaugstuma caurmērs, cm / the breast-height diameter, cm.

Vērtējot pa 1.5 m garām zonām konstatēts, ka lielākie trupējušie zari stumbra resgaļa daļā vidēji ir ar 21 mm caurmēru. Tālāk to caurmērs pakāpeniski palielinās līdz 26 mm, un tas ir stumbra vietā, kas atbilst 40% no stumbra garuma. No šīs vietas trupējušo zaru caurmērs atkal sāk samazināties un stumbra vietā, atbilstošā 80% no tā garuma, vairs ir tikai 20 mm. Pašā galotnes daļā esošie lielākie trupējušie zari ir ar caurmēru ap 15 mm (skat. 4.6. att.). Tievajiem (krūšaugstuma caurmērs 16 līdz 20 cm) stumbriem lielāko trupējušo zaru vidējais caurmērs nesasniedz 20 mm un izteikti nemainās stumbra garenass virzienā. Resnākiem stumbriem trupējušo zaru caurmērs ir lielāks, un 52 cm krūšaugstuma caurmēra grupā tas sasniedz 38 mm.

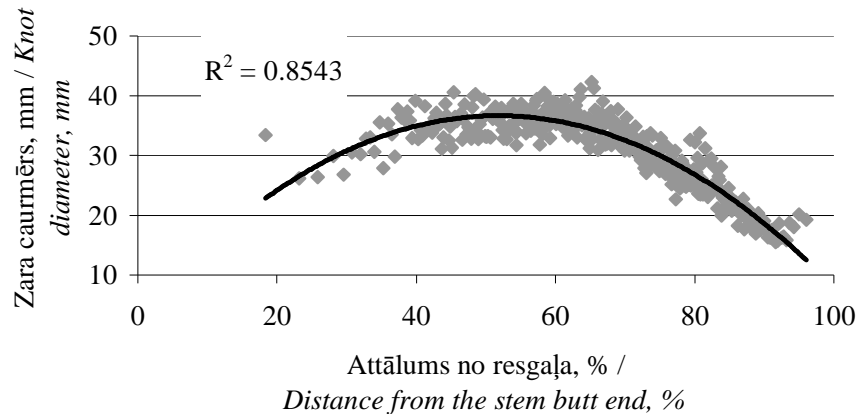
Katros vērtētajos 1.5 m lielākais nokaltušo zaru caurmērs vidēji ir 20 mm stumbra resgaļa daļā, bet palielinās līdz 37 mm stumbra vidū. Zem 20 mm tas samazinās tikai pēdējos 10 % no stumbra garuma (skat. 4.7. att.). Nokaltušo zaru caurmēra palielināšanās reizē ar stumbra resnumu ir tikpat izteikta kā trupējušiem zariem: 52 cm krūšaugstuma caurmēra grupā lielāko zaru vidējais caurmērs sasniedz 55 mm.



4.6. att. Lielāko trupējušo zaru caurmēra izmaiņas stumbra garenvirzienā

Fig. 4.6. The variance of the diameter of the biggest unsound knots lengthwise the stem

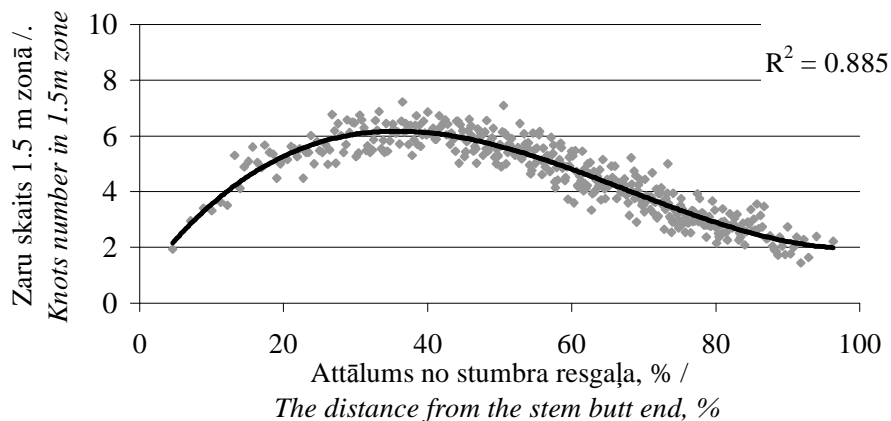
Katrā 1.5 m garā stumbra vērtēšanas daļā lielākie veseli, saaugušie zari stumbra garenass virzienā mainās daudz mazāk nekā trupējušie un nokaltušie. Stumbra vidusdaļā to caurmērs vidēji ir 49 mm. Tālāk tievgaļa virzienā tas palielinās līdz 54 mm vietā, kas atbilst 80 % stumbra garuma, bet pēc tam pakāpeniski samazinās līdz 40 mm pašā tievgaļī.



4.7. att. Lielāko nokaltušo zaru caurmēra izmaiņas stumbra garenvirzienā
Fig. 4.7. The variance of the diameter of the biggest dead knots lengthwise the stem

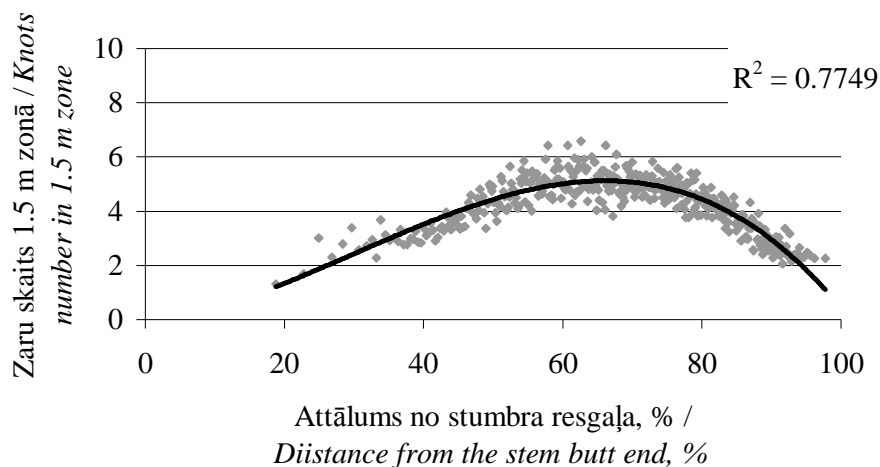
Vērtējot zaru skaita izmaiņas stumbra garenvirzienā pa katriem stumbra garuma 5 % konstatēts, ka trupējušo zaru skaits palielinās visai vienmērīgi, maksimumu sasniedzot starp 30 un 40 % no stumbra garuma. Tad novērojama skaita samazināšanās, un pēdējos stumbra garuma 15 % šādu zaru jau ir pavisam maz. Nokaltušo zaru skaita izmaiņu raksturs stumbra garenvirzienā ir līdzīgs trupējušiem zariem. Tie parādās, sākot ar 15 % no stumbra garuma, un to skaits garuma vienībā tālāk stumbra garenvirzienā sākotnēji palielinās maz. Straujāka skaita palielināšanās sākas, tuvojoties 40 % no stumbra garuma, maksimumu sasniedzot pie 60 – 70 % no stumbra garuma. Pēc tam šo zaru skaits garuma vienībā vienmērīgi samazinās līdz pat pašai stumbra galotnei. Veselie, saaugušie zari vidēji sākas pie attāluma no stumbra resgaļa, kas līdzinās 35 % no stumbra garuma. Skaita palielinājumam ir izteikts tempa kāpinājums, kas sāk samazināties pie 80 % no stumbra garuma. Lielākais veselo zaru skaits ir pie 90 % no stumbra garuma.

Trupējušo zaru vislielākais (vidēji no 6 līdz 7) skaits 1.5 m garas stumbra daļas sliktākajā pusē ir vietā, kas atbilst 35 % no stumbra garuma (skat. 4.8. att.).



4.8. att. Trupējušo zaru skaita izmaiņas 1.5 m vērtēšanas zonās
Fig. 4.8. The variance of the number of unsound knots in 1.5 m grading zones

Lielākais (vidēji no 5 līdz 6) nokaltušo zaru skaits 1.5 m garā vērtēšanas zonā ir ievērojami tālāk no stumbra resgaļa (skat. 4.9. att.). Vidēji tā ir vieta, kas līdzinās 65 % no stumbra garuma. Veselajiem zariem ir izteikta to skaita palielināšanās stumbra tievgaļa virzienā. Pēdējos 5 % no stumbra garuma stumbra sliktākās puses 1.5 m daļā vidēji ir 10 līdz 12 veseli zari.



4.9. att. Nokaltušo zaru skaita izmaiņas 1.5 m vērtēšanas zonās
Fig. 4.9. The variance of the number of dead knots in 1.5 m grading zones

Zaru mieturu attālums mainās stumbra garuma virzienā. Stumbra resgaļa daļā tas ir lielāks, tad diezgan vienmērīgi samazinās līdz 4/5 no stumbra garuma, bet pēdējā stumbra garuma piektdaļā atkal kļūst lielāks. Vidējais attālums starp mieturiem ir 28.4 ± 0.29 cm.

Līdz apm. 55% no stumbra garuma mieturos pēc skaita pārsvarā ir trupējušie zari. Tālāk līdz 75% no stumbra garuma mieturos visvairāk ir nokaltušo zaru, bet tikai stumbra garuma pēdējos 25% dominē veselie zari. Vidējais zaru skaits vienā mieturī ir 2.8 ± 0.03 .

Zaru caurmēra atšķirības pa stumbra perimetra sektoriem ir līdz 14.3 %. Zaru skaita sadalījumā pa sektoriem atšķirības nav tik izteiktas. Tās nepārsniedz 6.6 %. Lai arī konstatētās atšķirības ir būtiskas, vērtējot ar matemātiskās statistikas paņēmieniem, tās nevar kalpot par pamatu, lai ierosinātu noteikt apaļā kokmateriāla kvalitāti pa tā pusēm vai ceturtdaļām, dalot kokmateriālu pa tā garenasi ar vienu (lai iegūtu 2 pusēs) vai divām (lai iegūtu 4 ceturtdaļas) plaknēm.

4.5. Stumbra zarojuma zonas

Katra paraugkoka stumbrs iedalīts zonās atkarībā no zaru raksturojuma. Stumbra resgalim tuvākā daļa, kurā nav vaļējo zaru, apzīmēta kā bezzaru zona. Par nākamās zonas sākumu pieņemta stumbra resgalim tuvākā vaļējā zara atrašanās vieta. Ja tas ir nokaltis vai jau trupējies, tad ar to sākas nokaltušo zaru zona. Ar pirmo veselo, saaugušo zaru sāk uzskaitīt veselo zaru zonu. Stumbra iedalījums pa ārējā zarojumā zonām minētajā veidā ir nedaudz nosacīts, jo veselo zaru zonā nereti sastopami arī nokaltuši un trupējuši zari. Atšķirība starp nokaltušo un veselo zaru zonu garumiem ir praktiski maznozīmīga, bet atsevišķi katrai no tām garums ir apm. divas reizes lielāks nekā bezzaru zonai (skat. 4.3. tab.). Bezzaru zona aizņem apm. piekto daļu no stumbra garuma.

Tā kā izplatītākajam apaļo kokmateriālu sortimentam, ko sagatavo no priedes resgaļa daļas, zāgbaļķim, minimālais garums atbilstoši standartam nepieciešams vismaz 3.0 m (8), tad paraugkoki, kuru stumbriem bezzaru zona ir īsāka nekā 3.0 m, ir atdalīti atsevišķā grupā, to apzīmējot kā “stumbri ar īsu bezzaru zonu”. No visa analizētā stumbru skaita tādiem atbilst 33.3 %. Atlikušie stumbri savukārt vēl sadalīti pa divām grupām ar atšķirīgu bezzaru zonas garumu. Stumbri, kuriem bezzaru zona ir vismaz 3.0 m gara, bet ir īsāka nekā 6.0 m, ieskaitīti grupā “stumbri ar vidēja garuma bezzaru zonu”. Tādu pavisam ir 42.5 %. Grupā “stumbri ar garu bezzaru zonu” (bezzaru zonas garumam jābūt 6.0 m vai vairāk, lai no tās var sagatavot vismaz 2 minimālā garuma zāgbaļķus) iedalīti 24.2 % visu analizēto stumbru.

Minētās stumbru grupas ar atšķirīgu bezzaru zonu garumu sīkāk iedalītas atkarībā no nokaltušo zaru zonas garuma. Par labāko gadījumu, vērtējot no iespējamo kokmateriālu kvalitātes

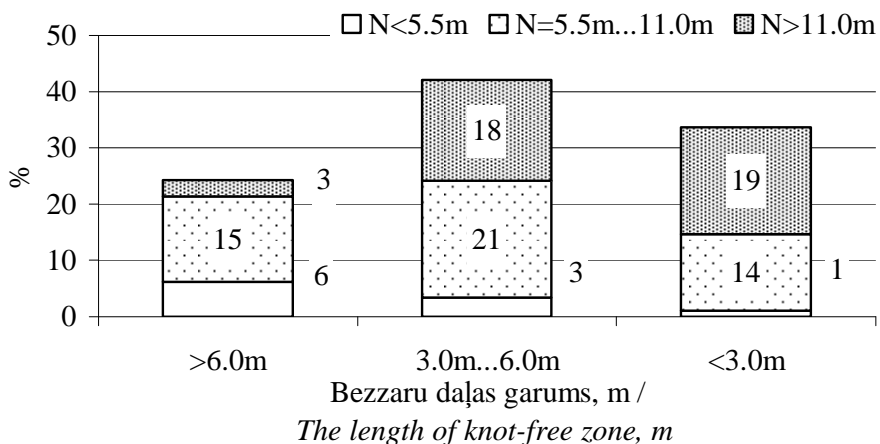
viedokļa, pieņemta zāgbaļķa maksimālo garumu, t.i., 5.5 m nepārsniedzoša nokaltušo zaru zona. Ja zona ir garāka, tad attiecīgi vērtēts, vai tā nepārsniedz 2 minētos zāgbaļķu garumus, resp., 11.0 m. Kā pats sliktākais gadījums uzskatīts tāds, kad nokaltušo zaru zona ir garāka nekā 11.0 m.

4.3. tabula / Table 4.3

Stumbra zarojuma zonu statistiskie rādītāji
The statistical indices of stem knottiness zones

Rādītājs / <i>Index</i>	Garums / <i>Length</i>					
	m / m			% no stumbra garuma / <i>in % of stem length</i>		
	bezzaru / <i>knot-free</i>	nokaltušo zaru / <i>dead knots</i>	veselo zaru / <i>sound knots</i>	bezzaru / <i>knot-free</i>	nokaltušo zaru / <i>dead knots</i>	veselo zaru / <i>sound knots</i>
aritmētiskais vidējais / <i>average</i>	4.51	9.83	9.50	19.37	41.03	39.60
standartklūda / <i>standard error</i>	0.20	0.29	0.26	0.83	0.97	0.82
standartnovirze / <i>standard deviation</i>	2.65	3.81	3.48	11.12	12.96	10.94

Analizēto stumbru skaita iedalījums atkarībā no minētajiem zarojuma zonu garumiem redzams 4.10. att. Pēc tā var spriest, ka 90 % gadījumu galvenajā cirtē priežu audzēs nākas rēķināties ar 5.5 m pārsniedzošu nokaltušo zaru zonas garumu. Līdz 5.5 m gara nokaltušo zaru zona biežāk ir kokiem ar garu bezzaru daļu. Vidēji tāda ir katram ceturtajam kokam, kura bezzaru daļa ir vismaz 6.0 m gara.



4.10. att. Paraugkoku skaita sadalījums atkarībā no zarojuma zonu garuma, %

N – nokaltušo zaru zonas garums

Fig. 4.10. The distribution of sample trees number depending on knottiness zones length, %

N – the length of dead knots zone

4.6. Priedes stumbra kvalitāte un vērtība

Stumbra kvalitāti raksturo iegūstamo apaļo kokmateriālu atbilstība noteiktām prasībām. Šajā darbā kokmateriālu kvalitātes vērtēšanai izmantots īpaši šim nolūkam izstrādāts paņēmieni, kas dod objektīvu, no dažādiem normatīviem dokumentiem neatkarīgu rezultātu. Par pamatu ir ņemta atziņa, ka zari kokmateriāla kvalitāti samazina 70-80 % no visiem vērtēšanas gadījumiem. Tā kā ir iegūts labs zaru raksturojums, tad stumbra kvalitāte pa vērtēšanas zonām pieņemta atbilstoši zaru caurmēram un skaitam katrā no tām.

Kā augstākajai kvalitātei atbilstoši uzskatīti visi gadījumi, kad vaļējo zaru vispār nav, bet kvalitāte kā vidēja vērtēta tad, kad zaru raksturojums vērtēšanas vietā sakrīt ar pētījumos iegūtā priedes zaru raksturojuma vidējām vērtībām. Attiecīgi kvalitāte starp augstāko un vidējo uzskatīta kā laba, bet starp vidējo un zemu – kā apmierinoša. Robežvērtības (skat. 4.4. tab.) starp kvalitātes grupām pamatotas, analizējot varbūtības lielumus, ar kādu sagaidāmas attiecīgās zaru raksturojuma skaitliskās vērtības.

Visi paraugkoku stumbri novērtēti atbilstoši zaru raksturojuma robežvērtībām katrā no kvalitātes grupām un sadalīti pa iedomātām sagarumošanas vietām tā, lai katra nogriežņa garums būtu starp 3.0 un 5.5 m. Pārsniedzot grupas 4 robežvērtības, kā arī tad, ja nogriežņa minimālais caurmērs bez mizas nenasniedz 10 cm, kvalitāte vērtēta kā zema, t.i., atbilstoša grupai 5.

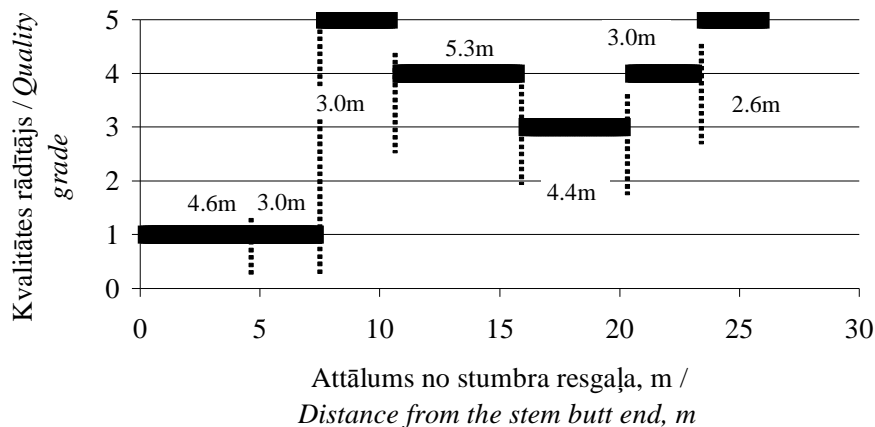
Stumbra garenvirzienā kvalitāte nemainās vienmērīgi (skat. 4.11. att.), jo pēc stumbra daļas, kur kvalitāti pazemina nokaltušie un trupējušie zari, tālāk galotnes virzienā ir veselo, saaugušo zaru zona, kurā atmirušo zaru skaits un caurmērs ir samazinājies. Lielākajā daļā (66.3 %) gadījumu pirmais nogrieznis atbilst augstākajai kvalitātei.

4.4. tabula / Table 4.4

**Zaru maksimālās vērtības pa kvalitātes grupām /
Maximum values of knots of quality groups**

Zara paveids / <i>Knot kind</i>	Kvalitāte / <i>Quality</i>			
	1	2	3	4
	caurmērs, mm / <i>diameter, mm</i>			
trupējis / <i>unsound</i>	0	15	30	40
nokaltis / <i>dead</i>	0	20	40	60
vesels, saaudzis / <i>sound</i>	0	35	60	105
	skaits 1.5 m zonā / <i>number in 1.5 m zone</i>			
trupējuši / <i>unsound</i>	0	3	6	9
nokaltuši / <i>dead</i>	0	3	6	9
veseli, saauguši / <i>sound</i>	0	4	7	10
visi / <i>all</i>	0	7	12	17

Kvalitāte: 1 – augstākā; 2 – laba;
3 – vidēja; 4 – apmierinoša /
*Quality: 1 – the best; 2 – good;
3 – average; 4 – satisfactory*



4.11. att. Paraugkoka Dnd2-60 stumbra sagarumošanas vietas un nogriežņu garumi atbilstoši kvalitātei

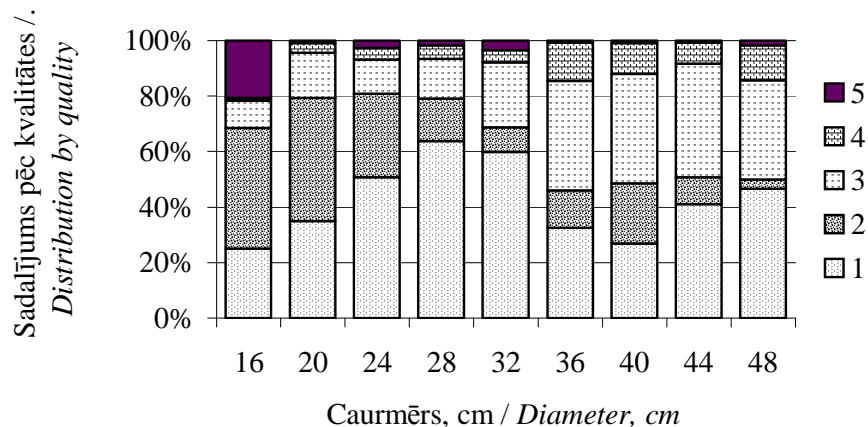
Fig. 4.11. The sample tree Dnd2-60 stem cross-cutting points and log length depending on quality

To gadījumu skaits, kad pirmais nogrieznis atbilst labai kvalitātei (11.4 %) ir nedaudz mazāks nekā tādu, kad jau pašam pirmajam nogrieznim ir tikai vidēja kvalitāte (13.7 %). Otrais nogrieznis atbilst augstākajai kvalitātei 24.6 % gadījumu, tomēr vērtējums ar rādītāju 3 ir jau 30.3 %. Salīdzinājumā ar pirmā nogriežņa kvalitāti, daudz vairāk ir gadījumu, kad tā ir ievērojami zemāka: vērtējums ar rādītāju 4 sastopams 23.4 % gadījumu, bet ar 5 – 9.1 % gadījumu. Rādītājam 2 atbilstošas kvalitātes sastopamība maz atšķiras no pirmā nogriežņa – 12.6 %.

Trešā nogriežņa vērtējums gandrīz pilnībā atbilst vidējai un zelai kvalitātei. Visbiežāk vērtējums ir ar rādītāju 5 (32.6 % gadījumu). Daudz neatšķiras vērtējums ar rādītāju 4 – 31.4 % gadījumu. Vērtējums 3 ir dots 25.7 % gadījumu. Laba kvalitāte trešajam nogrieznim ir tikai aptuveni 10 % no sagarumošanas shēmām: 8.0 % gadījumu vērtējums ir 2, bet tikai 2.3 % gadījumu ir atbilstoši augstākajai kvalitātei. Augstākā un laba kvalitāte vairs nav sastopama, sākot ar ceturto nogriezni. Strauji samazinās arī rādītājam 3 atbilstošo gadījumu skaits. Šajā attālumā no stumbra resgaļa atšķirībām starp paraugkokiem par iemeslu bieži vien ir tas, ka īsākiem stumbriem ceturtais nogrieznis ir pati galotnes daļa, bet garākajiem tā vēl ir tikai vidusdaļa. No visiem analizētajiem paraugkokiem tādu, kuriem nogriežņu skaits sagarumošanas shēmā nepārsniedz 4, ir 8.6 %.

Visvairāk (32.0 %) ir paraugkoku, kuru stumbri pēc kvalitātes sadalīti 6 nogriežņos. Tālāk pēc skaita ir tādi, kur sagarumošanas shēmā ir 7 (25.7 %) vai 5 (21.7 %) nogriežņi. Stumbrs tiek sadalīts astoņos nogriežņos 9.7 % gadījumu un deviņos – 2.3 % gadījumu. Lai noskaidrotu iespējamās kvalitātes izmaiņu rakstura atšķirības dažāda garuma stumbriem, tie sadalīti pa grupām pēc viena stumbra nogriežņu skaita. Katrā no grupām aprēķināts vidējais kvalitātes rādītāja lielums pa nogriežņu secības numuriem sagarumošanas shēmā. Analīzē noskaidrots, ka stumbriem ar nogriežņu skaitu līdz 6, novērojama izteikta kvalitātes pazemināšanās tendence stumbra galotnes virzienā. Ja nogriežņu skaits ir lielāks, tad, izņemot pašu pēdējo nogriezni, savstarpējās atšķirības starp tālākajiem nav lielas. Garākajiem stumbriem raksturīga neliela tendence kvalitātei paaugstināties stumbra daļā starp tā vidu un pēdējo nogriezni.

Analizējot kvalitātes vērtējumu pa stumbra krūšaugstuma caurmēra grupām, kvalitātes rādītājiem attiecīgs sadalījums noteikts pēc tilpuma (skat. 4.12. att.).



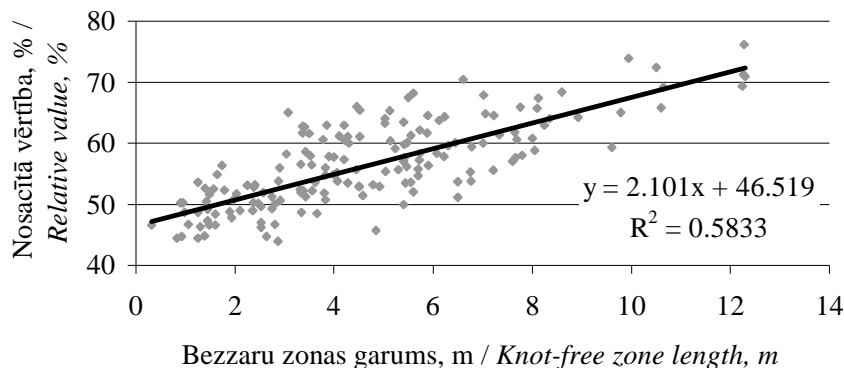
4.12. att. Stumbra tilpuma sadalījums atbilstoši kvalitātes rādītāja lielumam dažādās krūšaugstuma caurmēra grupās

1...5 – kvalitātes rādītāji

Fig. 4.12. The distribution of stem volume corresponding to quality in different breast-height diameter groups

1...5 – quality grades

Pēc tilpuma visvairāk augstākās kvalitātes kokmateriālu iegūst no kokiem, kas ir 28 un 32 cm krūšaugstuma caurmēra grupās, attiecīgi 63.8 un 59.8 %. Kopējā tendence ir kvalitātes vienmērīgam palielinājumam līdz abām minētajām caurmēra grupām, pēc tam atkal samazinoties lielāka caurmēra stumbu grupās, bet ar vājāk izteiktu izmaiņu raksturu. Kvalitātes rādītājam 2 atbilstošu kokmateriālu samazināšanās tendence ir virzienā no mazākā caurmēra grupas uz grupām ar lielāku caurmēru līdz pat 32 cm krūšaugstuma caurmēram. Kvalitātes rādītājiem 3 un 4 atbilstošu kokmateriālu ir izteikti vairāk, sākot ar 36 cm caurmēra grupu. Lielāko caurmēru grupās ir vērojama zemākas kvalitātes kokmateriālu pārsvara tendence.



4.13. att. Priedes paraugkoku stumbu nosacītā vērtība saistībā ar bezzaru zonas garumu
Fig. 4.13. The estimation of relative value of pine sample trees stems depending on the length of knotless zone

Darījumos ar kokmateriāliem vērtību izsaka cena. Kopumā cenu ietekmē daudzi apstākļi. Šajā darbā kokmateriālu vērtība izteikta relatīvā formā, lai izvairītos no reāli kokmateriālu tirgū esošo cenu svārstību pastāvīgas ietekmes uz vērtēšanas rezultātiem. Vērā ņemti tikai divi vērtības ietekmētāji: apaļā kokmateriāla caurmērs un kvalitātes vērtējums.

Katra paraugkoka stumbram ir aprēķināta nosacītā vērtība, noteikts visas paraugkoku kopas aritmētiskais vidējais lielums (55.96 ± 0.56 %) un standartnovirze (7.39 %), novērtēta atbilstība normālajam sadalījumam. Konstatēts, ka stumbra nosacītajai vērtībai ciešākā pozitīvā saistība (korelācijas koeficients 0.7637) ir ar stumbra bezzaru daļas garumu (skat. 4.13. att.).

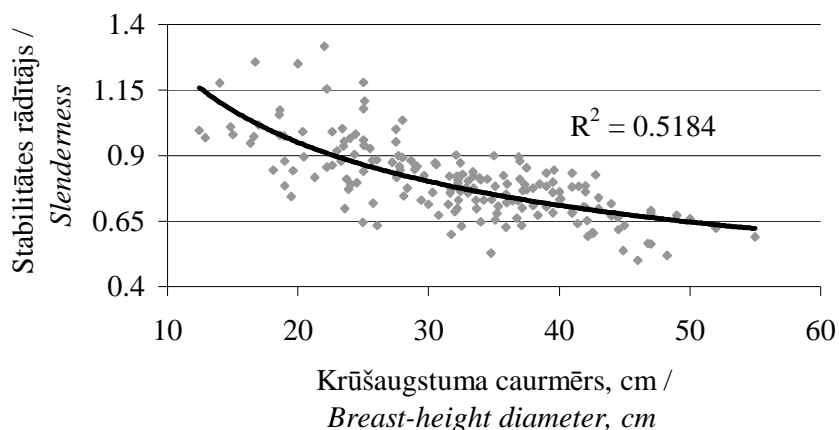
Ar koka galvenajiem izmēriem ir vāji izteikta negatīva korelācija (ar krūšaugstuma caurmēru korelācijas koeficients ir -0.2654, bet ar koka augstumu tas ir -0.1418). Ir vērojama arī tendence stumbra nosacītajai vērtībai palielināties reizē ar koka stabilitātes rādītāja lielumu (korelācijas koeficients 0.2346).

4.7. Koka stabilitātes rādītāja lielums un saistība ar zaru raksturojumu

Koka stabilitātes rādītājs aprēķināts atsevišķi katram paraugkokam un tad noteikti iegūto lielumu matemātiskās statistikas rādītāji:

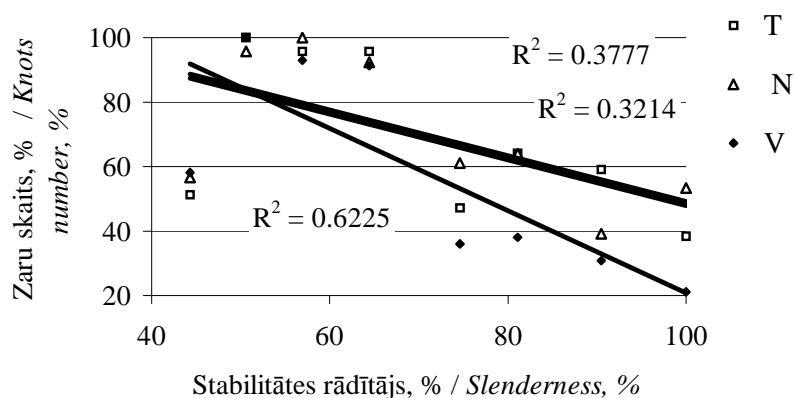
- vidējais aritmētiskais	0.81
- standartklūda	0.01
- standartnovirze	0.14
- ekscess	1.07
- asimetrija	0.76

Stabilitātes rādītāja skaitliskais lielums mainās robežās starp 0.50 un 1.32. Ar koka krūšaugstuma caurmēru (skat. 4.14. att.) tam ir ciešāka saistība (korelācijas koeficients -0.72) nekā ar koka augstumu (korelācijas koeficients -0.19).



4.14. att. Visas paraugkoku grupas stabilitātes rādītāju lielumi
Fig. 4.14. The slenderness indices of all sample tree group

Savstarpēji salīdzinot viena koka zaru relatīvo skaitu paraugkoku grupās ar atšķirīgiem stabilitātes rādītāja lielumiem ir novērota tendence tam samazināties reizē ar stabilitātes rādītāja palielināšanos (skat. 4.15. att.).



4.15 att. Zaru skaita saistība ar koka stabilitātes rādītāju

T – trupējuši ($R^2=0.3214$); N – nokaltuši ($R^2=0.3777$); V – veseli, saauguši ($R^2=0.6225$)

Fig. 4.15. The relative knot number regarding to slenderness

T – unsound ($R^2=0.3214$); N – dead ($R^2=0.3777$); V – sound ($R^2=0.6225$)

Nokaltušo un trupējušo zaru skaits samazinās apmēram tādā pašā tempā kā palielinās stabilitātes rādītāja lielums, bet veselo zaru skaits samazinās apmēram divas reizes ātrāk. No kokmateriālu izmantošanas viedokļa jebkuru zaru samazinājums neapšaubāmi ir vēlams. Veselo zaru skaita samazināšanās par negatīvu uzskatāma no tā viedokļa, ka, kokam augot, tā iespēja ražot organiskās vielas ir lielāka tad, ja veselo zaru ir vairāk.

Konstatētas zaru caurmēra atšķirības stumbru grupās ar dažāda lieluma stabilitātes rādītājiem. Vidējais zaru caurmērs ir ievērojami lielāks stumbriem ar mazāku stabilitātes rādītāju – atšķirība ir apmēram divas reizes. Zaru maksimālā caurmēra vērtējumā pa apskatītajām paraugkoku stumbru grupām novērojamas līdzīgas atšķirības.

Stabilitātes rādītāja saistība ar stumbra kvalitāti izpaužas arī caur ietekmi uz stumbra sadalījumu pa zarojuma zonām. Reizē ar stabilitātes rādītāja palielināšanos, saīsinās veselo zaru zona, bet bezzaru un nokaltušo zaru zonas kļūst garākas. Starp pēdējām straujāk pagarinās nokaltušo zaru zona.

Secinājumi

1. Pētījumos priedes galvenajā cirtē iegūtā stumbra caurmēra, garuma, raukuma un mizas biezuma datu analīze rāda, ka skaitlisko vērtību izkliede ir liela un tāpēc šo parametrisko raksturotāju savstarpējās saistības precīzai aprakstīšanai izstrādājami tieši šim nolūkam paredzēti modeļi, kuros var izmantot šajā darbā iegūtos mērījumu datus.

2. Analizējot priedes stumbra vaļējos zarus pēc to sadalījuma pa paveidiem konstatēts, ka vidēji starp visiem paraugkokiem ir 33.7 ± 1.0 % trupējušo (standartnovirze 14.0 %), 28.9 ± 0.9 % nokaltušo (standartnovirze 12.6 %) un 37.4 ± 0.9 % veselo, saaugušo zaru (standartnovirze 11.6 %). Zaru skaita sadalījumam pa minētajiem paveidiem ir tendence mainīties atkarībā no stumbra caurmēra.

3. Vaļējo zaru vidējais caurmērs pa paveidiem vidēji starp visiem paraugkokiem ir šāds: trupējušiem zariem tas ir 17.5 ± 0.1 mm, nokaltušiem – 21.0 ± 0.1 mm, bet veseliem, saaugušiem – 30.4 ± 0.2 mm. Var uzskatīt, ka šādi zari ir nelieli.

4. Vienai trešdaļai no koku kopskaita vaļējie zari sastopami jau pirmajos stumbra garuma 3 metros no resgaļa. Tas nozīmē, ka šiem stumbriem nav pietiekami garas bezzaru daļas, lai to ņemtu vērā no tālākās apaļo kokmateriālu izmantošanas viedokļa.

5. Stumbra bezzaru zona vidēji aizņem nepilnu piekto daļu no stumbra garuma. Atšķirība starp nokaltušo un veselo zaru zonu garumiem ir praktiski maznozīmīga, bet katra no tām atsevišķi nedaudz pārsniedz divkārtu bezzaru zonas garumu.

6. No kopējā galvenajā cirtē iegūstamo priedes apaļo kokmateriālu tilpuma 46.1 % atbilst augstākajai kvalitātei.

7. Pēc tilpuma kokmateriālu ar labu kvalitāti (kvalitātes rādītājs 2) ir par 55.0 % mazāk nekā ar vidēju kvalitāti (kvalitātes rādītājs 3).

8. Virzienā no stumbra resgaļa uz galotni kvalitāte samazinās. Tendence kvalitātei paaugstināties veselo, saaugušo zaru zonā novērojama tikai garāko stumbru grupā.

9. Priedes stumbra vērtība visciešāk saistās ar stumbra bezzaru daļas garumu. Tai ir tendence samazināties reizē ar koka augstuma un krūšaugstuma caurmēra palielināšanos.

10. Ir novērojama tendence stumbra vērtībai palielināties reizē ar koka stabilitātes rādītāju.

11. Zaru skaitam un caurmēram ir novērojama samazināšanās tendence reizē ar stabilitātes rādītāja palielināšanos.

12. Reizē ar stabilitātes rādītāja palielināšanos saīsinās veselo zaru zona un samazinās arī tās procentos izteiktā daļa no stumbra kopējā garuma. Pagarinās bezzaru un nokaltušo zaru zonas, turklāt nedaudz straujāk tas notiek attiecībā uz bezzaru zonas garumu.

ZINĀTNISKĀS PUBLIKĀCIJAS
PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU
SCIENTIFIC PUBLICATIONS
RELATED TO THE SUBJECT OF THE THESIS

1. Lipins L., Sarmulis Z., Kulins L. Dimensional and Qualitative Evaluation of the Pine. (*Pinus sylvestris* L.) Trunk Wood. In: *Structure and Properties of Wood Technological Utilization: Proceedings of International Scientific Conference: Forest - Wood - Environment '97*, Sept. 8-11, 1997, Zvolen, Slovakia. Zvolen: Technical University, 1997. p. 261 - 266.
2. Sarmulis Z., Līpiņš L., Drēska A. Priedes un egles stumbru mizas biezums (The bark thickness of pine and spruce stems). *Mežzinātne*, Nr. 12(45), 2003, 131. - 137. lpp.
3. Līpiņš L., Sarmulis Z. Investigations on dimensional and qualitative variation of pine (*Pinus sylvestris* L.) trunk-wood lengthwise the stem. In: *Wood Structure and Properties '02: Proceedings of the 4-th IUFRO Symposium*. Sept. 1-3, 2002, Bystrá, Slovakia. Zvolen: Technical University, 2002, p. 43 - 45.
4. Līpiņš L., Sarmulis Z. Evaluation of knots of pine stem. In: *Wood structure and properties '98: Proceedings of International Conference*. Aug. 25-27, 1998, Zvolen, Slovakia. Zvolen: Technical University, 1998, p. 39 - 42.
5. Līpiņš L., Sarmulis Z. Priedes stumbra koksnes kvalitāte (Wood quality of pine stem). *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Nr. 14 (291), 1998, 89. - 94. lpp.
6. Līpiņš L., Sarmulis Z. Priedes zarojums un stumbra koksnes vērtība (Characterization of knots and the stemwood value of pine). *Mežzinātne*. Nr. 9(42), 2000, 71. - 85. lpp.
7. Līpiņš L., Sarmulis Z., Zālītis P. Investigations on effects affecting the quality and value of pine stem wood. In: *Wood structure, properties and quality - 2000: Proceeding of III International Symposium*. Sept. 11 - 14, 2000, Petrozavodsk, Russia. Petrozavodsk: Forest Research Institute KRC RAS, 2000, p. 251 – 253.
8. Sarmulis Z., Liepa I., Drēska A., Līpiņš L. Relationships between round timber taper and factors affecting it. In: *Wood Structure and Properties '06: Proceedings of the 5-th IUFRO Symposium*. Sept. 3-6, 2006, Sliač-Sielnica, Slovakia. Zvolen: Technical University, 2006, p. 135 - 137.
9. Sarmulis Z., Līpiņš L. Priedes zarojums un citi stumbra kvalitāti raksturojoši rādītāji (Pine stem knots and other quality indices). *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Nr. 5 (300) , 2002, 34. - 38. lpp.

1. GENERAL

This paper has been presented at the Forest Utilization Department of Latvian Agriculture University. The research was carried out during the period of 1996 – 2007.

Topic of the paper

Together with continuous growth of world population, the demand for wood becomes greater (146). Therefore, among different development directions for better forest utilization, the purposefully detailed assessment of wood quality as raw material, facilitating improved wood utilization in production of traditional products as well as brand new articles, proves to be very perspective (120, 131).

Features significantly affecting wood processing have been studied in many countries all over the world (30). It is proved that parametric characteristics of them may differ substantially depending on forest stand geographic location, growing site conditions, tending of forest stands and other circumstances (15, 16, 33, 55, 86, 105, 143). Therefore, the estimation of economically more important tree species in Latvia should not be based only on scientific conclusions made in other countries, so a particular research is needed for this purpose.

In Latvia, from the national economy point of view, the production of wood is a relevant sector of forest management on the state level; nevertheless, there is a remarkable lack of information about quality of wood as raw material. Pine (*Pinus sylvestris L.*) is the most widespread tree species in Latvia; therefore, a research work to provide the characteristic of round timber, obtainable from pine tree trunk, is an actual point from several aspects, as it is necessary:

- to create models for wood quality early prediction;
- for planning purposes in forest industry;
- to create or supplement data basis of economically more relevant domestic tree species;
- for the further development of methods to provide the quantitative and qualitative assessment of round timber;
- for the estimation of the competitiveness of Latvian pine timber in the world market;
- as data useful for the national timber standards improvement;
- as supplementary information for the professional education.

The goal of study

The main goal of study is to work out the quantitative and qualitative characteristic of pine round timber from final felling in Latvia depending on tree trunk knottiness.

Main objectives

1. Determine the values and statistical assessment of the numerical data of the quantitative indices in the commercial (suitable to produce round timber) part of pine tree trunk.
2. Clear up the characteristic of knots in the commercial part of pine tree trunk.
3. Assess the quality and value of round timber, obtainable in the commercial part of pine tree trunk, depending on knottiness.
4. Clear up the distribution of pine trees in final felling depending on slenderness, and the relationship between this index and the quality of round timber.

Scientific novelty

Scientific novelty of the work appears as completely new information on the commercial part of pine tree trunk harvested in final felling in Latvia that is important for the assessment of wood as raw material:

- 1) the characteristic of knots evaluating their kind, diameter, number and location;
- 2) the characteristic of tree trunk zones differing by knottiness;
- 3) a new method for the classification of round timber depending on quality and value;
- 4) the distribution of pine trees in final felling depending on slenderness.

Practical significance

1. The obtained in research dimensional characteristic of pine tree trunk, representing mean conditions in final felling in Latvia, is suitable to apply it for strategic planning in forest enterprises.

2. The mathematical equation worked out for the calculation of bark percentage, depending on the ratio between bark thickness and tree trunk diameter, might be applied for practical assessment of bark volume in timber production, as it is simple for using and as the accuracy of result is sufficient.

3. Data obtained about knots in commercial part of pine tree trunk providing the characteristic of kind, diameter, number and location are suitable to make the background of criteria used in the national timber standards.

4. The new method for the impartial estimation of pine round timber quality depending only on knots characteristic might be used as the foundation for another kind of timber grading rules.

5. The methodical approach in estimation the relative value of tree trunk wood might be applied for the foundation in the planning of economic activities of forest enterprise.

6. The knowledge obtained about possible impact of tree slenderness on wood quality might be recommended for the planning of forest stand tending method.

Work approbation

Reports on the research included in the doctoral thesis were presented in four international and eight national conferences and symposia. Nine articles were published, five of which are in international scientific proceedings. The knowledge obtained in research has been applied in four scientific works at Forest Faculty of Latvian Agricultural University.

Structure and volume of work

The paper comprises six chapters. Chapter 1 provides an overview of the current situation in research related to the quality of wood as raw material, analysing features, impacts, interdependence, research methods and tools. Chapter 2 contains the review of methods used for the collection and handling of data. Chapter 3 contains the characteristic of sample trees, diameter and height distribution, diameter and length characterization of commercial part of pine tree stem, taper and bark quantitative and statistical evaluation. Chapter 4 contains results of investigation on knots diameter, kind, number, location and variation, distance between knot whorls, stem zones with different knottiness. Chapter 5 contains the practical applying of impartial method for grading the pine round timber regarding to knottiness, and the calculations of relative value of the commercial part of pine tree stem. Chapter 6 contains the distribution of pine trees by slenderness, statistical indices of slenderness and impact trends on wood quality.

The doctoral thesis was written on 112 pages, including 20 tables and 60 figures. Four appendixes are included in a separate volume comprising 360 pages. The list of literature consists of 153 literature sources.

2. RESEARCH OF WOOD QUALITY AS RAW MATERIAL

In accordance with the topic of this doctoral thesis, information selected in literature survey is connected with methods of tree trunk dimensional characterization, the research of knots features and the assessment of round timber quality and value. Attention was also paid to the general conceptions concerning wood quality estimation, to the interpretation of mutual relationship among components of wood flow chain from the wood quality point of view, to the methods and tools for the investigation of the internal structure of timber. Two main tendencies could be distinguished in research aimed to study wood quality as raw material: to connect research with the complete wood flow chain, and to apply different models for the investigation of relationship among quality features and factors affecting them, enabling to predict parametric indices of wood quality with sufficient accuracy (127, 128, 134, 138).

Among more important there is the question of possibility to obtain wood quality information that corresponds with demands of end products, at the very beginning of wood flow chain. The context of the approach to the development of wood utilization, based on the information about wood quality features can be depicted in simple model (see Fig. 2.1). There is vast range of questions comprising different levels of observation (forest stand, separate tree, tree trunk, log, a piece of sawn timber etc.), particular features, factors affecting them, the development of research methods and tools.

2.1. Wood quality features

The whole tree and its parts (heartwood, sapwood, wood cells and the like) can be characterized by different indices representing quality features. The most frequently cited in literature are as follows: taper (29, 30), breast-height diameter (28) and tree age (28) for a whole tree, dimensions (98), part of the tree stem (98), crookedness (45, 139), diameter and number of knots (45, 60, 139), sapwood and heartwood ratio (45, 100), amount of juvenile wood (30, 38, 87, 139), width of year-rings (30, 38), latewood portion in year-ring (38), internal structure of timber, i.e., characteristic of knots included into stem-wood (39). The angle of microfibrills is used as the quality indicator on wood cells level (38). The characteristic of wood end products is connected with quality indices as well (146).

Parametric characteristic of quality features depends on many circumstances. The quality of forest stands on the whole and growing trees are mostly affected by growing conditions (21, 39, 45, 51), method of reforestation (139, 146), means to improve forest productivity as tree breeding, fertilization (30), draining (56), arrangement of technological areas (39), tree stem shape formation, pruning (50), methods for tending forest stand (30, 56), ground water conditions (88), tree bark diseases (84), and tree competition (139).

2.2. Tree trunk quality features

Taper, as an important tree trunk quality indicator, has been formulated by several authors (29, 36, 46, 52, 60, 78, 106, 109, 114, 135, 140, 150, 151). It describes functional relation between tree breast-height diameter and tree height. There is relationship between taper and relative length of tree crown, and at the same time knots characteristic as well. There are a lot of functions known to describe taper, and research is still going on in this direction. Trigonometric, polynomial,

exponential and geometrical methods are used for taper models. Model can be based on the distance from tree top up to the commercial part of tree trunk (52). It is possible to describe taper by a single equation for all the tree height, nevertheless, inaccuracy appears at the very butt portion of tree trunk (106).

The amount of tree bark should be known from the both economical and ecological aspects (29). Bark thickness is hardly predictable parameter even for a separate tree species. A quite frequently used model is based on the ratio between tree stem diameter under the bark and over the bark (29, 140). The accurate estimation of bark amount is important for timber volume calculation. In Sweden the special equations are used for this purpose (104).

Knots are the most frequent defect that serves as the reason to lower timber grade. Characteristic of knots comprises diameter, number, kind and their location. Ingrowths angle of knot has a substantial effect on further use of timber, because of dimensions of knot and its volume inside stem-wood (19, 20, 30, 90, 133, 134, 152, 153). It is important to know knots characteristic in connection with the possibility to disbranch harvested trees (153).

To prepare knots characteristic, data are collected about tree crown length, mean and maximum knot diameter for every whorl, distance from the tree top, knot ingrowths angle, diameter at stem surface, number of knot whorls, stem diameter just under the whorl and whorl to whorl distance (19, 20, 60, 133, 136). There are different references concerning knot minimum diameter that has to be taken into account: they vary from 7.0 (19, 20) up to 12.5 mm (133).

Tree slenderness is expressed as ratio between tree height and diameter at breast-height. This indicator is used in investigations of tree stem and crown shape, wind durability and tree competitiveness (35). Minimum numerical value of it is constant and equals to 0.50 for pine and spruce (117).

Timber quality has tight connection with price that is one of the most substantial factors affecting forest management (62). Price increases together with round timber top diameter, but only up to some extent (80).

The knowledge obtained from literature witnesses of the actuality and significance of the research direction selected for this doctoral thesis, the rightness regarding to the quality features chosen for estimation.

3. MATERIAL AND METHODS

The methods used in research differ accordingly to separate tasks. The principles of planning were used in data collection to represent all target groups in general, and the principles of random selection to avoid partial selection of samples. Measurement methods have been chosen in accordance with the necessary accuracy of data.

The research work has been started with the choice of more important indicators, related to tree trunk dimensions and quality.

3.1. Basic indicators

Diameter and length of tree stem are the main indicators of possible quantitative outcome of round timber, and they act as factors of quality at the same time. Both in industry and research these parameters make the basis to support the application of many other indices, suitable for the characterization of round timber from different aspects. In this research work data collection of tree breast-height diameter and height, stem diameter and length is aimed at feasibility, firstly, to obtain supplementary statistical material, secondly, to enlarge information about possible dimensions of timber from final felling in pine forest stands in Latvia. These basic parameters have been applied

for entire stem and its separate parts volume calculations, and for the exploration of tree slenderness in pine forest stands.

Diameter variance lengthwise tree stem is characterized by taper, the indicator, which provides useful information for round timber shape and quality estimation. It is substantial factor in round timber volume calculation, and this is the main reason facilitating to include taper among the more important indicators, chosen for exploration in this research work.

The quantitative indicators of tree bark are substantial factors in round timber diameter and volume calculations. The automatic timber measurement devices provide numerical values of diameter over bark in any measuring point, but diameter under bark should be calculated.

The good information on bark percentage is necessary in stacked timber volume calculations. Incorrect numerical value of bark percentage is one of the reasons of timber volume difference between figures, fixed in documentation, and those of actual volume. Sometimes stacked volume calculation method is used for high-quality timber; hence, volume differences can cause economical losses.

Round timber grading is process, which is unimaginable without applying knots characteristic as the main criterion. Current information on knots of pine and other tree species, commonly used in industry in Latvia, is not sufficient. Therefore, one of the tasks of this research work is to obtain enough data about pine tree stem knots – dimensions, number, soundness, and arrangement alongside tree stem.

There is a tight connection between knots characteristic and tree stem quality at different places from the stem butt end. Knottiness zones should to be taken in account estimating the round timber quality, and there is some relationship between them and tree stem dimensions. Hence, the characteristic of knottiness zones is important enough to analyse it as separate indicator.

Tree slenderness indicator is used in the exploration of stem shape variance, wind durability, tree crown characteristic, and inter-competitiveness among trees. It is in relationship with timber quality; therefore, it is decided to include slenderness among other more substantial indicators.

3.2. Data collection

In accordance with research target and tasks the necessary data collection territorially includes only the information about Latvia. Another limitation, corresponding to research target, was the pine tree age: sample plots were chosen only in stands at the age of final felling. There were 22 sample plots arranged all over the territory of Latvia (see Fig. 3.1).

The arrangement of sample plot in stand chosen for research was arranged so that stand trees were represented in all, and the number of pine trees was 60 at least. Every pine tree inside the sample plot was numbered. Number was arranged toward the North, to use it as reference-point when the location of knots around tree trunk perimeter was being fixed. The tree trunk diameter was measured by calliper in two directions perpendicularly to each other.

At least 20 sample trees were randomly chosen out of all pine trees inside the sample plot to obtain data for further research. The tree trunk length was measured up to the place near the tree top where over-bark diameter equalled 3 cm. The distance from the tree trunk butt end up to the change to thin bark, the first dead knot and the first sound knot were fixed at the same time. Tree trunk diameter was measured over bark and under bark. Before the measuring diameter under bark, debarking at the place of measurement had to be done thoroughly, but without taking part of wood off.

The knots distance was measured by measuring tape. If there was doubt regarding to soundness of knot, the knot surface was cleaned up by sharp axe. Every knot was marked after it had been measured.

The arrangement of zones for knots measurement depends on the task: pattern *A* was used to analyse variance of knots number and diameter lengthwise the trunks; following pattern *B* the trunk

quality grading was performed on the basis of quality assessment zones in the every portion of 1.5 m length with different parameters of quality features (see Fig. 3.2).

In all, 178 pine tree trunks were measured to obtain data necessary for research.

3.3. Data processing

3.3.1. The accuracy of trunk diameter. On the basis of tree trunk diameter measurements by calliper at every 1 m up to 3 m from trunk butt end and further at every 2 m, the model of trunk shape had been prepared for every tree sample, and it was depicted by a curve line (see Fig. 3.3). The difference, expressed as percentage, had been calculated between diameters measured by a calliper and read on model curve (see formula 1) to ascertain if conformity between both numerical values is tight enough.

The mean of difference between diameters measured by a calliper and read on trunk shape curve is 1.77 ± 0.12 %.

As the mean difference is under 2.0 %, i.e., numerical value 1 cm of it would be only at diameter 50 cm (diameter is expressed as integer in measuring round timber). It is likely that such a small difference can not be the reason of significantly differing results in further calculations based on data read on trunk model curve.

The distribution of frequency shows clearly expressed grouping around zero class that is confirmed by the skewness in calculation of statistical indices. The area of measurements difference distribution (see Fig. 3.4.) and probability evidence that the difference of 10 % will not be exceeded with probability of 0.91.

Smoothed curve, representing the variance of bark thickness lengthwise tree stem, has been constructed for each sample tree similarly as for detection of stem diameter at any distance from tree stem butt end. The difference between both numerical values of bark thickness, from model curve, and from tree stem measurements over and under bark, expressed as percentage, has been calculated to be sure if it is acceptable.

3.3.2. Relative length of tree trunk. To avoid impact of inequality of sample tree stems length in the exploration of stem diameter and bark thickness variance among all the sample trees, it is necessary to apply relative length of tree stem. The length of any tree stem is assumed as equal to 100 %, and after that any distance from tree stem butt end is expressed as percentage (see formula 2).

3.3.3. Taper. The numerical value of taper are calculated for any 1 m long portion of tree stem, and separately for the rest at tree stem top (see formula 3).

3.3.4. Bark percentage. The numerical value of bark percentage, which represents the portion of bark if it is compared with total volume, at any point of tree stem or log, can be acquired from the ratio between cross-section areas, calculated under and over bark at this point (see formula 4).

3.3.5. The relative value of round timber. The table of round timber mean prices in Latvia is prepared on the basis of price analysis in timber market depending on log top diameter, after the correction by index in correspondence to timber quality. The maximum value in this table is taken as equal to 100 %, and after that all other values are recalculated accordingly to it. The relative price of 1 m³ timber is obtained in this way, depending on both diameter and quality (see Fig. 3.5.).

To obtain the relative value of the entire stem, the ratio is calculated between the value, corresponding to actual quality, and the highest theoretical value, irrespective of timber diameter and quality features (see formula 5).

If tree stem consists of several sections of different quality, the relative value is calculated as the mean weighted value depending on volume of each section (see formula 6).

3.3.6. Tree slenderness. This indicator characterizes the ratio between tree height, expressed in metres, and diameter at breast-height, expressed in centimetres (see formula 7).

4. RESULTS

4.1. The main parameters

The main parameters of round timber characterize the length and diameter of them. For growing trees the breast-height diameter and the tree height are used. There is the normal distribution of the breast-height diameters of sample trees, analysed in this research, hence, it can be assumed that sample trees are representing pine trees of final felling age in forests in Latvia.

Statistical indices of sample trees breast-height diameters (cm) are as follows:

- average	32.21
- standard error	0.65
- standard deviation	8.73
- kurtosis	-0.40
- skewness	-0.01

On the basis of these indices, it is possible to estimate that in average 59 % from pine trees in final felling could be in breast-height diameter group between 20 and 36 cm, 33 % – in group over 36 cm, 8 % – in group under 20 cm. In its turn, about 55 % of pine trees could be in tree height group between 19 and 27 m, 34 % – in group over 27 m, 11 % – in group under 19 m.

Tree stem diameter lengthwise variance is analysed on every sample tree level separately, in average on all the sample trees level, and on breast-height diameter groups level (see Fig. 4.1).

4.2. Taper

The numerical value of taper is calculated in every 1 m long portion of each sample tree stem. Further, the analysis is made to study the average variance of taper in sample trees groups with different tree dimensions, and in all set of sample trees as well.

The greatest taper, exceeding 1 cm m^{-1} , is from very butt end of tree trunk up to 15 % of trunk length, and at the top end portion starting from 65 % of trunk length. At the trunk middle part which is approximately equal with a half of entire length of trunk, the mean value of taper is under 1 cm m^{-1} . The numerical value of taper is most dispersed around the mean at the both butt end and top part of a tree trunk (see Fig. 4.2).

Applying mean values of taper and standard deviation calculated at distances of 1.5 m, 2.5 m ... 8.5 m from trunk butt end, the values of deviations, which could appear with probability of 0.95, are detected (see Table 4.1). These figures confirm a considerable dispersion of taper around average values. The dispersion of taper diminishes remarkably farther as 5.5 m from tree stem butt end. Calculations show the minimum of dispersion at 7.5 m from tree stem butt end. There is a small probability that difference between particular case of taper and average value would be under

10 %. The numerical value of it is from 0.15 (at 4.5 m from tree stem butt end) up to 0.26 (at 7.5 m from tree stem butt end). The impact of timber diameter on taper appears mainly near the tree stem butt end. Farther as 7... 8 m from tree stem butt end, there are not significant taper differences in timber groups of unequal diameter, as it has been stated using T-test to compare taper values in different timber groups.

The numerical values of taper are calculated and analysed of every 2, 3, 4 and 5 m long log processed out of butt part, middle part and top part of tree trunk. There are ascertained the greater values of taper for the shorter (2 and 3 m) logs in tree stem butt end section, and for the longer (4 and 5 m) logs in tree stem top section. The reason is difference of the length of the most tapered tree stem portions from the tree stem butt end and in stem top part. Taper differences in the middle part of tree stem are not significant.

The calculation of taper has been performed on log volume and top end diameter basis, i.e., on the supposition that the shape of any of these logs is conical. If the log shape is concave or convex, the value of actual taper will differ from that calculated on volume basis. Such a fact can be applied for the assessment of log shape: in the case in which the taper, calculated on volume basis, is greater the timber shape is convex; otherwise it is concave.

4.3. Bark thickness and volume percentage

At first, bark thickness is calculated on the basis of sample trees stem diameter measurements over and under bark. For further analysis numerical values of bark thickness are used, which are read on smoothed curve, constructed on the basis of bark thickness, calculated for each diameter measurement point. The average value of the difference between actual measurement of bark thickness and the numerical value read on bark model curve is 1.37 ± 0.39 %.

In average, bark thickness decreases up to 1 cm in the trunk butt end portion equal to 15 % of entire trunk length. At the trunk portion after 30 % of trunk length the mean value of bark thickness does not exceed 5 mm (see Fig. 4.3). The dispersion of values of different trees witnesses about considerable inequality. One of the main reasons of it is trunk diameter (see Fig. 4.4).

The numerical value of probability that the difference between particular case of bark thickness and average value would be under 10 % does not exceed 0.15.

Bark thickness and timber diameter ratio, expressed as percentage, is the relative bark thickness. In average among all the sample trees the value of this index equals to 6 % at tree stem butt end, but farther, up to 1/3 of tree stem length, it decreases, and in the middle part of tree stem is about 2 %. Along the last 20 % of tree stem length relative bark thickness increases rapidly up to 8 %.

Average bark percentage, calculated on volume basis, among all the sample trees group is 9.07 ± 0.08 %. Bark percentage is obtained for separate sample trees, and in timber groups of different diameter or bark thickness. The greatest value, about 22 %, is in timber group, where bark thickness exceeds 2 cm at log top end (see Fig. 4.5). Round timber groups, consisting of 1 m long logs with similar bark thickness at top end, have been taken for comparison. As it is seen from Fig. 4.5, bark percentage under 8 % is in thin bark log group only. Index increases remarkably together with bark thickness. The bark percentage of some logs can be over 20 %.

As the bark relative thickness and bark volume percentage are based on the same dimensions of trunk cross-section, the tight correlation ($R=0.90$) is natural fact. It is used to calculate bark volume percentage on the basis of bark thickness. Relationship between both bark relative thickness and bark volume percentage is described by linear equation (see formula 8).

4.4. Knots characteristic

There had been measured altogether and assessed 25041 uncovered pine knots, out of them 9679 unsound, 7095 dead and 8267 sound. The average number of knots per trunk is 141 ± 4 . It varies from 67 in sample trees group of 16 cm breast-height diameter up to 222 in group of 52 cm breast-height diameter group. An average percentage of uncovered knots per tree if analysed them by the kind has been found out as follows: 33.7 ± 1.0 % unsound knots (standard deviation 14.0 %), 28.9 ± 0.9 % dead knots (standard deviation 12.6 %) and 37.4 ± 0.9 % sound knots (standard deviation 11.6 %).

The average diameter of sound knots is one and a half times greater as diameter of dead or unsound knots. The difference between diameters of dead and unsound knots is about 16 % only. The average diameter among all the sample trees has been found out as follows: 17.5 ± 0.1 mm for unsound knots, 21.0 ± 0.1 mm for dead knots, and 30.4 ± 0.2 mm for sound knots. It may be said that knots of such dimensions are small.

Diameter of all kinds of knots increases rapidly at the same time as trunk diameter (see Table 4.2). Analysing separately each tree group of breast-height diameter, it is ascertained that within group of small diameter (16 to 20 cm at breast-height) the average diameter of unsound knots does not exceed 20 mm and remains quite constant in all places of tree trunk. Diameter of unsound knots increases at the same time as trunk diameter, and it is on average 38 mm within 52 cm breast-height diameter group. At the same time as breast-height diameter increases from 16 cm up to 52 cm, the average diameter of unsound knots increases 1.4 times, dead knots diameter – 1.2 times, and sound knots diameter – 1.7 times.

In analysed sample trees group, the relationship mentioned above is described by simple linear equations (see formulae: 9 – for unsound knots, 10 – for dead knots, 11 – for sound knots).

Analysing knots diameter in every different 1.5 m long timber grading zone, it is ascertained that diameter of the largest unsound knots in tree stem butt end part is 21 mm in average. Towards the middle of tree stem, diameter of knots of this kind increases up to 26 mm at 40 % of tree stem length. After this point, average value of unsound knots diameter decreases, and it is only 20 mm at 80 % of tree stem length. At the very top part of tree stem average diameter of unsound knots is about 15 mm (see Fig. 4.6). In 16 to 20 cm tree breast-height diameter group diameter of unsound knots is less than 20 mm, and the stem lengthwise variance of it is much softer as in the group of the largest trees. In 52 cm tree breast-height diameter group the largest diameter of unsound knots is 38 mm.

The largest dead knots diameter in every different 1.5 m long timber grading zone is very similar to unsound knots diameter. It is in average 20 mm in tree stem butt end part, and after that it increases up to 37 mm in the middle of tree stem length. In the last 10 % of tree stem length diameter of dead knots is less than 20 mm (see Fig. 4.7). Increasing of dead knots diameter together with tree breast-height diameter is similar to that of unsound knots: in 52 cm tree breast-height diameter group the largest diameter of dead knots is 55 mm.

The variance of sound knots diameter, analysing them in every different 1.5 m long timber grading zone, is not as distinguishable as that of dead or unsound knots diameter. The average diameter of the largest sound knots is as follows: 49 mm in the middle of tree stem length, 54 mm at 80 % of tree stem length, 40 mm at the very top part of tree stem.

Analysing the arrangement of knots stemwise tree trunk in every 5 % of trunk length, it is ascertained that the number of unsound knots increases in direction from trunk butt end to top quite equally, and the maximum is at 40 % of trunk length. After that point the unsound knot number decreases, and in the last 15 % of trunk length there are not many of them.

The pattern of stemwise variance of dead knots is similar to that of unsound knots. Dead knots appear approximately at 15 % of trunk length, and at the beginning the increase of number is even and slow. Further to the trunk top, near of 40 % trunk length, there is seen some sort of

acceleration, and the maximum is achieved at 60 – 70 % of entire trunk length. After that the number of dead knots decreases evenly up to trunk top.

In average sound knots appear at 35 % of tree stem length. The number of sound knots increases rapidly up to 80 % of tree stem length, and the maximum is at 90 % of tree stem length.

The greatest number of unsound knots in every different 1.5 m long timber grading zone (in average 6 to 7 knots on the worst surface of timber) is at 35 % of tree stem length (see Fig. 4.8).

There are little bit less dead knots as unsound knots, analysing them in every different 1.5 m long timber grading zone: in average 5 to 6 knots at 65 % of tree stem length, where is the place of the greatest number of them (see Fig. 4.9). The arrangement of sound knots is of another kind. There is remarkable increase of the number of sound knots in every different 1.5 m long timber grading zone towards tree stem top. In the last 5 % of tree stem length there are 10 to 12 sound knots on the worst surface of timber in every different 1.5 m long timber grading zone.

The average distance between knot whorls is 28.4 ± 0.29 cm. It varies in direction from trunk butt end towards the top. The maximum is at the butt end portion of trunk, and the distance between knot whorls decreases quite evenly towards top up to the 4/5 of entire trunk length. There is some tendency of increasing in last 1/5 of trunk length.

Up to 55 % of trunk length the unsound knots are prevailing by number in knot whorls. After this point up to 75 % of trunk length dead knots are dominating, and only the last 25 % long portion at trunk top is such where sound knots are most of all by number.

The knots diameter differences among the trunk perimeter sectors are up to 14.3 %, differences among knots number in trunk perimeter sectors do not exceed 6.6 %. The differences are statistically significant; nevertheless, they can not serve as the basis to initiate the development of a new method for the grading of round timber separately in two halves or in four quarters of stem perimeter.

4.5. Tree trunk knottiness zones

The tree stem of every sample tree has been divided into zones depending on knots characteristic. The tree stem butt end part without uncovered knots is assumed as knot-free zone. The place of the first uncovered knot serves as the beginning of next zone. If it is dead or unsound one, then there is the beginning of dead knots zone. The sound knots zone begins at the place of the first sound knot. The dividing of tree stem in zones, mentioned above, is comparatively relative, as there are some dead and unsound knots in sound knots zone. In average, there is insignificant difference between the dead knots zone length and sound knots zone length, but each of them is approximately two times longer as knot-free zone (see Table 4.3). Knot-free zone equals approximately 1/5 of tree stem length.

The minimum length of the most widespread assortment, sawlog, commonly produced out of tree stem butt part, is 3.0 m, in accordance with standard (8). Hence, the sample trees without knot-free zone 3.0 m or longer have been assigned to separate sample trees group, named as “short knot-free zone trees”. From all number of sample trees, 33.3 % relate to this group. In its turn, the rest of all sample trees has been divided into two groups depending on knot-free zone length. Sample trees, having the knot-free zone length 3.0 m or longer, but less than 6.0 m, have been assigned to group “moderate knot-free zone trees”. It is the largest group as it comprises 42.5 % of all the sample trees. The knot-free zone length should be at least 6.0 m (2 sawlogs of the minimum length could be produced) to let a sample tree to fall into group “long knot-free zone trees”. From all the sample trees 24.2 % are corresponding with such a demand.

All three above mentioned tree groups with different knot-free zone length are divided further depending on dead knots zone length. As the best case, if looking from the timber quality point of view, the length of dead knots zone, not longer as 5.5 m (the maximum sawlogs length), is assumed. In the cases of longer dead knots zone, the twofold sawlog length maximum, i.e. 11.0 m,

has been used as criterion. Trees with dead knots zone length over 11.0 m are qualified as the worst ones in corresponding group of knot-free zone length.

There is depicted in Fig. 4.10 the distribution of analysed tree stems depending on knottiness zones length. It could be concluded that in 90 % of final felling cases in pine forest stands, the dead knots zone length over 5.5. m should be taken into account. The trees with a long knot-free zone have a short dead knots zone more frequently. In average, every fourth tree, the knot-free zone of which is at least 6.0 m long, has dead knots zone, not longer as 5.5 m.

4.6. Pine tree trunk quality and value

The trunk quality is characterized by the correspondence of available round timber to certain set of demands. In this research a new method is applied that enables possibility to achieve result impartial of regulations, instructions etc., which are not steady for long time. The method is based on the fact that quality of round timber is diminished by the presence of knots in 70 to 80 % of all cases. As a vast characteristic of pine knots are prepared in this research work, the trunk quality by separate mutually differing zones is qualified accordingly to diameter and number of knots.

The highest quality is assigned in cases without any knot. Timber is classified as of average quality in cases of similarity between knot characteristic of timber have to be graded and average values of knot characteristic, defined on the research basis. The quality between the highest and average is classified as good, but quality between average and low – as satisfactory. The criterions (see Table 4.4) to distinguish mutually all quality groups are based on the analysis of probability calculated for numerical values of knots characteristic.

All trunks of the sample trees have been graded accordingly to quality groups mentioned above. The each trunk is divided into portions in accordance to supposed cross-cutting points on the basis of assumption that none of portions is shorter than 3.0 m (excluding the rest of trunk top) or longer than 5.5 m, and cross-cutting points have been chosen so to gain as more as possible timber classified as corresponding to the better quality groups. The timber is classified as of low quality if the criterions for group of satisfactory quality are exceeded, or the minimum diameter of supposed log is under 10.0 cm (under bark measurement).

The changing of quality in direction from trunk butt to top is not evenly decreasing (see Fig. 4.11). After the part of trunk, where quality has been lowered because of presence of many dead and unsound knots, farther towards trunk top is portion with sound knots and the better quality. Mostly (in 66.3 % of all cases) the first log from the trunk butt end corresponds to the highest quality. The first log is of good quality in 11.4 % of cases. It is less than number of cases, in which the first log is of average quality (13.7 %).

There are 24.6 % of cases, in which the second log corresponds to the best quality; nevertheless, the assessment by quality index 3 is already in 30.3 % of all the cases. There are much more cases of the worst quality as in the assessment of the first log. In 23.4 % of cases the quality index is 4, in 9.1 % of cases – index is 5. The number of cases of good quality (index 2) is almost the same (12.6 %) as in the assessment of the first log.

The assessment of the third log almost completely corresponds to average (25.7 %), satisfactory (31.4 %) and low (32.6 %) quality. The better quality is only in approximately 10 % of all the bucking patterns: quality index 2 in 8.0 % of cases, index 1 (the best quality) – in 2.3 % of cases.

There are no cases of the best and good quality in the assessment of the fourth log, and further. The number of cases of average quality decreases rapidly as well. At this distance from the stem butt end, there are substantial difference between tree stems of unequal length. The fourth log of the shorter tree stem is the last one at very tree stem top part. At the same time, the fourth log of a long tree stem is located in the middle of tree stem length, where timber quality is different. There are 8.6 % of all the sample trees, the number of logs of which does not exceed 4.

Most of all (32.0 %) there are sample trees, suitable to crosscut into 6 logs. There are little bit less sample trees, suitable to crosscut into 7 logs (25.7 %), and into 5 logs (21.7 %). In 9.7 % of cases tree stem bucking pattern comprises 8 logs, but only in 2.3 % of cases – 9 logs. All the sample trees have been grouped depending on the number of logs in the bucking pattern, to analyse the variance of quality lengthwise the tree stem. The average quality index has been calculated in each group of trees in correspondence to log sequence number in bucking pattern. A remarkable tendency of decreasing of quality towards tree top has been found out in tree groups, having not more as 6 logs in bucking pattern. In cases, the number of logs in which is over 6, there is not substantial quality difference between logs, placed in the upper part of tree, excluding the very last one. There is soft tendency, among the longest stems, of quality increase between the middle of tree stem and the last log at very top.

Assessment of quality within sample trees breast-height diameter groups is provided as well and corresponding distribution of timber volume has been detected (see Fig. 4.12). The highest outcome of the best quality timber is expected from 28 and 32 cm breast-height diameter tree groups (accordingly 63.8 and 59.8 %). There is over all tendency to the increase of the best quality timber in direction from 16 cm breast-height diameter group up to 28 and 32 cm groups, and a slightly expressed decrease in groups of the larger trees (breast-height diameter 36 cm and over).

In business the timber value is expressed by price. Timber price depends on many circumstances. In this research relative value of timber is used to avoid the impacts of price continuous fluctuation in timber market. Only two factors have been taken into account: round timber top diameter and quality group.

The relative value of each sample tree trunk, mean value (55.96 ± 0.56 %) and standard deviation (7.39 %) have been calculated. It is ascertained, that the relative value correlate most tightly ($R=0.7637$) with knot-free zone length of tree trunk (see Fig. 4.13). There is slight negative correlation with tree breast-height diameter ($R= -0.2654$) and tree height ($R= -0.1418$). The tendency for increase of relative value at the same time as tree slenderness ($R= 0.2346$) is detected as well.

4.7. Tree slenderness and its relationship with knots characteristic

The numerical values of slenderness have been calculated separately for every sample tree, and then statistical indices have been found out:

- average	0.81
- standard error	0.01
- standard deviation	0.14
- kurtosis	1.07
- skewness	0.76

The numerical value of tree slenderness varies between 0.50 and 1.32 (see Fig. 4.14). It correlates most tightly with the tree breast-height diameter ($R= -0.72$) as it is with the tree height ($R= -0.19$).

If compare mutually the relative number of knots in sample tree groups having differing slenderness, (see Fig. 4.15), there is noted the tendency of decreasing the relative number of knots at the same time as slenderness increases. Two times more decrease of sound knots is detected if compared it with decreasing of dead and unsound knots. Undoubtedly, any decrease of the number of knots is desirable from the timber as raw material point of view. On the contrary, the decrease of sound knots is undesirable, because the possibility of a tree to produce organic mater is greater if there are more live branches.

The knots diameter differences are detected among tree groups having unequal slenderness. The average diameters of knots are remarkably greater within the tree groups with less slenderness.

The difference can be up to two times. The similar differences are ascertained regarding to knots having the maximum diameter within estimation zone.

The slenderness affects correspondence of trunk portions to certain knottiness zones. It is detected that with the increase of tree slenderness, the sound knot zone of trunk shortens, but knot-free and dead knot zones becomes longer. The length of the dead knot zones increases faster as the length of the knot-free zone does.

Conclusions

1. The data obtained in this research are suitable to apply them in models worked out specially for describing the relationship among trunk diameter, length, taper, bark thickness and other features of round timber, the numeric values of which are dispersed considerably, as it is followed in analysis.

2. On average among all three knot kinds there are more sound knots per tree (37.4 ± 0.9 %, standard deviation 11.6 %) than unsound knots (33.7 ± 1.0 %, standard deviation 14.0 %) and dead knots (28.9 ± 0.9 %, standard deviation 12.6 %). There is a tendency of variance of this proportion depending on trunk diameter.

3. The average diameter of knots does not differ remarkably between unsound (17.5 ± 0.1 mm) and dead knots (21.0 ± 0.1 mm). The average diameter of sound knots (30.4 ± 0.2 mm) is noticeably greater.

4. Approximately two thirds of all pine trees in final felling are with a portion, which is at least 3.0 m long, without uncovered knots. It has to be qualified as an advantage in further technological process.

5. The knot-free zone takes up approximately 20 % of entire trunk length on average. The mean difference of length, if dead knot and sound knot zones are compared, is negligible, but the length of each of these zones is more as twice longer as the knot-free zone.

6. The volume of round timber without uncovered knots makes 46.1 % out of all final felling pine timber volume.

7. Out of all final felling pine timber volume, there is more as two times greater volume of timber of average quality as of good quality.

8. The timber quality decreases in direction from trunk butt end towards top. The tendency of increased quality in trunk sound knot zone can be observed within group of longer trunks.

9. The relative value of pine tree trunk is tightly correlating with the length of knot-free zone. There is a tendency of decrease of value at the same time as tree breast-height diameter and tree height increase.

10. There is a tendency of the increase of the relative value of trunk at the same time as tree slenderness becomes greater.

11. There is a tendency of the decrease of diameter and number of knots at the same time as tree slenderness increases.

12. At the same time as tree slenderness increases, the sound knot zone becomes shorter, but knot-free and dead knot zones become longer. The increasing of dead knot zone is more expressed if compared with the knot-free zone.