



3. aktivitātes atskaite

FW TEHNOLOĢIJAS TILPĪGUMA KOEFIČIENTA NOTEIKŠANAS AUTOMATIZĀCIJA - IZSTRĀDE

Projekta numurs: 2.2.1.3i.0/1/24/A/CFLA/001

Atskaiti sagatavoja: Mareks Millers

2025. gada
decembris

Saturs

Ievads	3
1. Apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirze.....	4
2. Tilpīguma koeficienta izvērtēšana	6
3. Matemātiskās funkcijas tilpīguma koeficienta noteikšanai	10
4. Sagatavotā matemātiskā modeļa tilpuma novirzes	13
Secinājumi un rekomendācijas	15

Ievads

Apaļo kokmateriālu sagatavošanas, pievešanas, izvešanas un realizēšanas gaitā nākas noteikt to tilpumu, lai optimizētu ražošanas procesu, samaksātu par veikto darbu vai piegādātiem kokmateriāliem. Tilpuma noteikšanas metodes reglamentē Latvijas valsts standarts LVS 82:2024.

Apaļo kokmateriālu krautņu tilpuma noteikšana ir darbietilpīgs un sarežģīts uzdevums, jo darba priekšmets ir neviendabīgs. Precīza rezultāta iegūšanu ietekmē daudzi faktori: koku suga, sortiments, caurmērs, mizas biezums, sortimenta forma, krāvuma veids un kvalitāte.

Krautnē esošo kokmateriālu tilpumu aprēķina pēc krautnes izmēriem un kokmateriālu tilpīguma koeficienta. Krautnes izmērus iegūst no krautnes augstuma, attāluma starp kravas balstiem un kokmateriālu garuma. Kokmateriālu tilpīguma koeficients ir koksnes īpatsvars iedomātas taisnstūrveida kastes tilpumā. Kokmateriālu tilpums ir krautnes izmēru un kokmateriālu tilpīguma koeficienta reizinājums.

Valsts standartā LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” ir aprakstīti principi krautnes garuma mērīšanai, kas šobrīd praksē tiek īstenoti, izmantojot iepriekš reģistrētus kokvedēja kravas balstu attālumus virs to pamatnes. Šī parametra izpētes rezultātā (1. un 2. aktivitāte), ņemot vērā ietekmējošos faktoros, sagatavoti algoritmi automatizētai krautnes garuma noteikšanai, tādējādi pilnībā automatizēta ģeometrijas noteikšana.

Apaļo kokmateriālu krautņu uzmērīšanā un tilpuma noteikšanā svarīgs aspekts ir tilpīguma koeficienta izvēle. Tā vērtību ietekmē sortimenta veids, kokmateriālu caurmērs, garums, mizas tilpums, atzarošanas kvalitāte, koku sugas īpatnības (līkumainība un stumbra forma) un krāvuma kvalitāte.

Valsts standartā LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” ir aprakstīta faktiskā tilpīguma koeficienta novērtēšanas metodika. Šī projekta 3. aktivitātes ietvarā paredzēts izvērtēt tilpīguma koeficienta automatizētas novērtēšanas iespēju FotoWeb (FW) tehnoloģijai, kas būtu būtisks ieguldījums kokmateriālu uzmērīšanas precizitātē un produktivitātē.

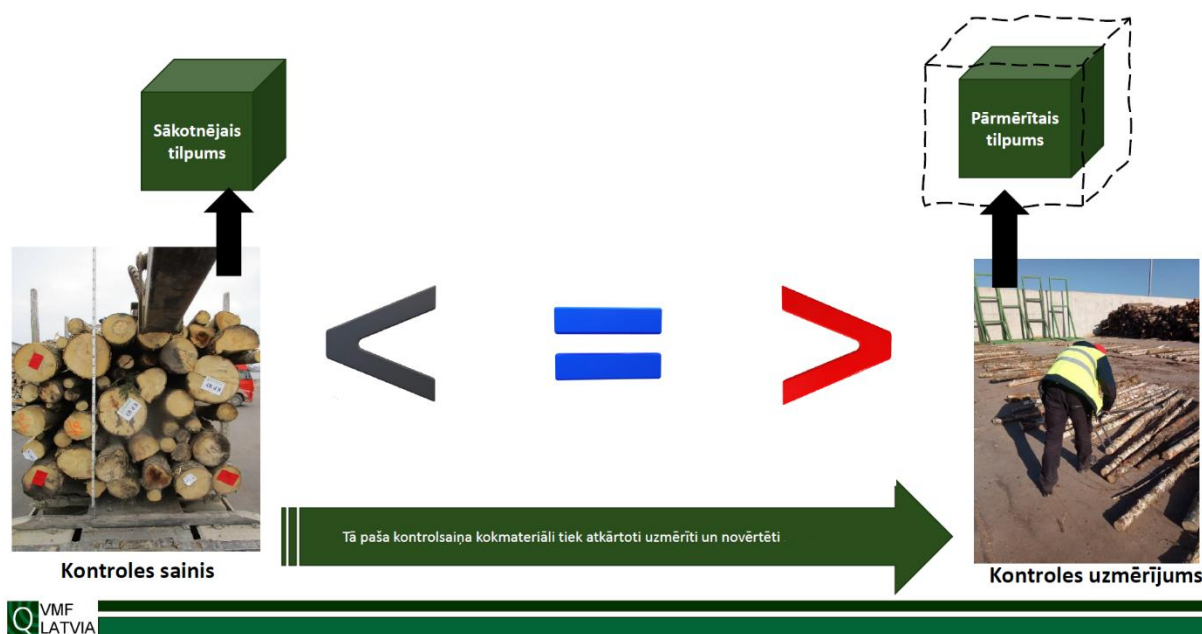
Aktivitātes mērķis ir izvērtēt tilpīguma koeficienta noteikšanas metodes un ietekmējošos faktoros dažādiem sortimentu veidiem. Šobrīd tilpīguma koeficienta noteikšana ir manuāla, izmantojot standarta LVS 82:2024 piedāvāto metodiku. Tilpīguma koeficienta piemērošanai uzmērīšanas procesā ir nozīmīga ietekme uz tilpuma noteikšanas precizitāti.

Aktivitātes ietvaros tiks izstrādāta tilpīguma koeficienta noteikšanas funkcionalitāte FotoWeb (FW) tehnoloģijai atbilstoši iepriekš sagatavotajai prasību definīcijai.

1. Apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirze

Pirms FotoWeb (FW) tehnoloģijas tilpīguma koeficienta noteikšanas automatizācijas izstrādes, aktivitātes ietvaros tiek izvērtētas tilpumu novirzes, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, pamatojoties uz tilpīguma koeficienta noteikšanu manuāli pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma.

Datu apstrādē un izvērtēšanā izmantoti 5529 kontrolsaiņu dati, kas reģistrēti laika periodā no 2022. gada 8. decembra līdz 2025. gada 6. maijam VMF LATVIA Kontrolsaiņu sistēmā. Kontrolsaiņu sistēmā tiek apkopota informācija no uzmērīto kokmateriālu krautņu kontroles. Kontrolsainis tiek izvēlēts pēc nejaušības principa, kuram pēc tam piešķir kontrolsaiņa numuru, lai nodrošinātu datu izsekojamību. Ar kokmateriālu pircēju saskaņotā laikā darba vietā ierodas VMF LATVIA kokmateriāla uzmērītāji - kontrolmērnīki un uzmēra kontrolsaini atbilstoši instrukcijai VMF MI 04.02 "Grupveida uzmērīšanas kontrole", izmantojot elektroniskos dastmērus (skat. 1. att.).



1. att. Kontroles process.

Pēc kontrolsaiņa uzmērīšanas dati tiek apkopoti VMF LATVIA informācijas sistēmā Kontrolaiņu salīdzinājums, kurā iespējams salīdzināt iegūtos rezultātus (kopējais vai tehnoloģiskais tilpums un tilpīguma koeficients) ar kokmateriāla uzmērītāja norādītiem rezultātiem (kopējais vai tehnoloģiskais tilpums un tilpīguma koeficients).

Izvērtējot apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirzes (skat. 1. tab.), atkarībā no koku sugas vai koku sugu grupas un sortimenta veida kontrolsaiņu tilpuma novirze svārstās robežās no -4,6 % (priedes II šķiras zāgbaļķi) līdz 5,6 % (lapu koku malka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,4 %, bet standartnovirze ir 7,6 %.

Augtāko uzmērīšanas precizitāti un zemāko izkliedi apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanā var novērot lietkoksnēs sortimentiem, piemēram, bērza finierklučiem.

Apažo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirze un standartnovirze

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Kopējais vai tehnoloģiskais tilpums, m³ (kokm. uzm.)	Kopējais vai tehnoloģiskais tilpums, m³ (kontrolē)	Tilpuma novirze, m³	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze
Apses malka	40	376,242	377,323	-1,081	-0,3	8,8
Apses papīrmalka	309	2616,416	2646,766	-30,35	-1,1	7,5
Bērza finierkluči	103	839,311	839,079	0,232	0,0	5,7
Bērza kamīnmalka	128	958,819	946,888	11,931	1,3	8
Bērza malka	31	237,956	235,481	2,475	1,1	8,8
Bērza papīrmalka	919	7046,456	6959,749	86,707	1,2	7,1
Citu skuju koku III šķiras zāģbalki	117	1147,026	1175,648	-28,622	-2,4	6,1
Egles II šķiras zāģbalki	108	1060,562	1081,443	-20,881	-1,9	6,1
Egles mieti	108	1092,171	1079,187	12,984	1,2	8,4
Egles papīrmalka	35	312,406	313,155	-0,749	-0,2	8,1
Jauktu koku malka	581	4981,812	4977,266	4,546	0,1	8,6
Lapu koku kamīnmalka	56	440,764	447,537	-6,773	-1,5	7,2
Lapu koku malka	137	1208,151	1143,775	64,376	5,6	11,4
Lapu koku taras kluči	242	1765,717	1807,027	-41,31	-2,3	5,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2583,999	2604,749	-20,75	-0,8	8,7
Melnalkšņa malka	46	405,122	397,622	7,5	1,9	9,2
Melnalkšņa papīrmalka	47	365,238	376,178	-10,94	-2,9	8
Priedes II šķiras zāģbalki	40	445,792	467,431	-21,639	-4,6	7,4
Priedes mieti	28	315,681	322,795	-7,114	-2,2	6,1
Priedes un egles III šķiras zāģbalki	244	2088,626	2116,132	-27,506	-1,3	6,9
Skuju koku malka	88	918,726	926,033	-7,307	-0,8	8,9
Skuju koku papīrmalka	735	6329,392	6349,75	-20,358	-0,3	6,6
Skuju koku taras kluči	479	3629,421	3696,183	-66,762	-1,8	6
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4642,971	4698,94	-55,969	-1,2	7,7
Cits sortiments	28	225,998	224,9	1,098	0,5	9,7
Kopā	5529	46034,775	46211,037	-176,262	-0,4	7,6

2. Tilpīguma koeficienta izvērtēšana

Kokmateriālu tilpīguma koeficientu nosaka kā koksnes tilpuma īpatsvaru krautnē un izsaka procentos vai kā procentuālu attiecību veselos skaitļos. Koksnes tilpīguma koeficients ir atkarīgs no turpmāk uzskaitītajiem krautnes un kokmateriālu raksturlielumiem:

1. krautnes raksturlielumi:
 - krāvuma kvalitāte;
 - mežizstrādes (cirsmu) atlieku klātbūtne;
 - sniega un ledus klātbūtne;
 - krautnes augstums;
2. kokmateriālu raksturlielumi:
 - koku suga;
 - vidējais caurmērs;
 - mizas raksturojums;
 - līkumainība;
 - atzarošanas kvalitāte (ieskaitot blīzumu);
 - kokmateriālu garums;
 - stumbra forma / raukums.

Valsts standartā LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” ir aprakstīta faktiskā tilpīguma koeficienta novērtēšanas metodika. Tilpīguma koeficienta raksturošanai ir izstrādātas vadlīnijas, kuras ir kā palīglīdzeklis uzmērīšanas procesā. Izvērtējot apaļo kokmateriālu un krautņu iepriekš minētos raksturlielumus, pēc noteiktām vadlīnijām tiek koriģēta tilpīguma koeficienta pamatvērtība.

Vispirms, atkarībā no koku sugas, izvēlas tilpīguma koeficienta pamatvērtību. Tā atbilst 3 m gariem, 15 cm resniem, taisniem līdz kokmateriālu virsmai atzarotiem, blīvi sakrautiem kokmateriāliem, kuru tilpumu nosaka ievērtējot mizu. Izraudzīto tilpīguma koeficienta pamatvērtību pēc tam koriģē, izmantojot 2. tabulā ietvertos raksturlielumus.

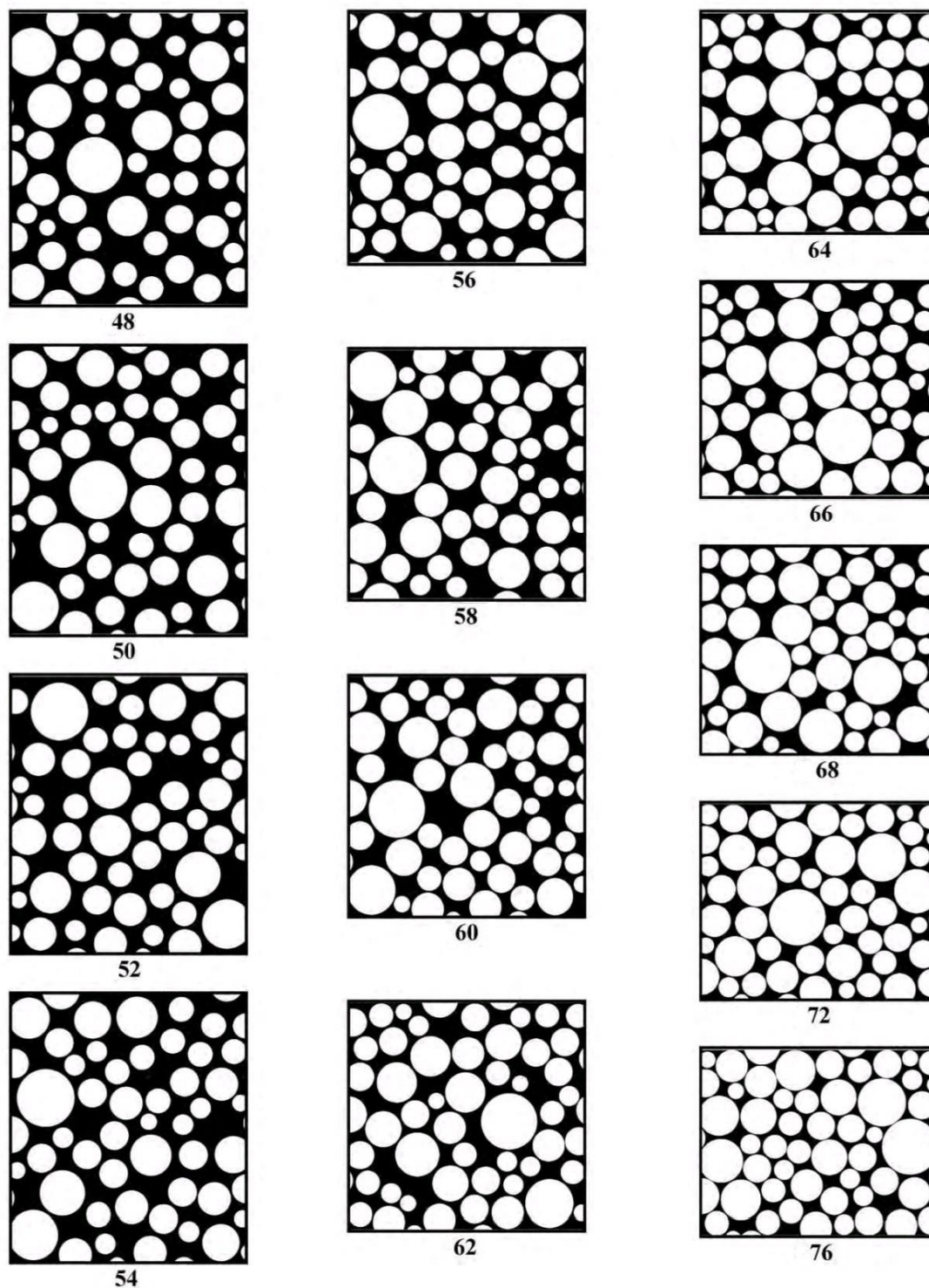
2. tabula

Tilpīguma koeficienta pamatvērtības un korekcijas intervāli

NPK	Raksturlielums	Gradācija vai korekcija
1.	Koeficienta pamatvērtība dažādām koku sugām	Gradācija no 64 līdz 70 %
2.	Samazinājums dēļ mizas	Korekcija no -4 līdz -12 %
3.	Aritmētiski vidējais caurmērs	Korekcija no -13 līdz 8 %
4.	Krāvuma kvalitāte	Korekcija no -9 līdz 0 %
5.	Līkumainība	Korekcija no -7 līdz 0 %
6.	Atzarošanas kvalitāte (ieskaitot blīzumu)	Korekcija no -8 līdz 0 %
7.	Stumbra forma / raukums	Korekcija no -3 līdz 3 %
8.	Sniega un ledus klātbūtne	Korekcija no -2 līdz -12 %
9.	mežizstrādes (cirsmu) atlieku klātbūtne	Korekcija no -4 līdz 0 %
10.	Kokmateriālu garums	Korekcija no -3 līdz 4 %
11.	Krautnes augstums	Korekcija no 0 līdz 2 %

Kokmateriālu uzmērītājs nosaka krautnes tilpīguma koeficientu, pamatojoties uz tabulā norādīto 11 raksturlielumu ievērtēšanu, atbilstoši valsts standarta LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” A pielikumam.

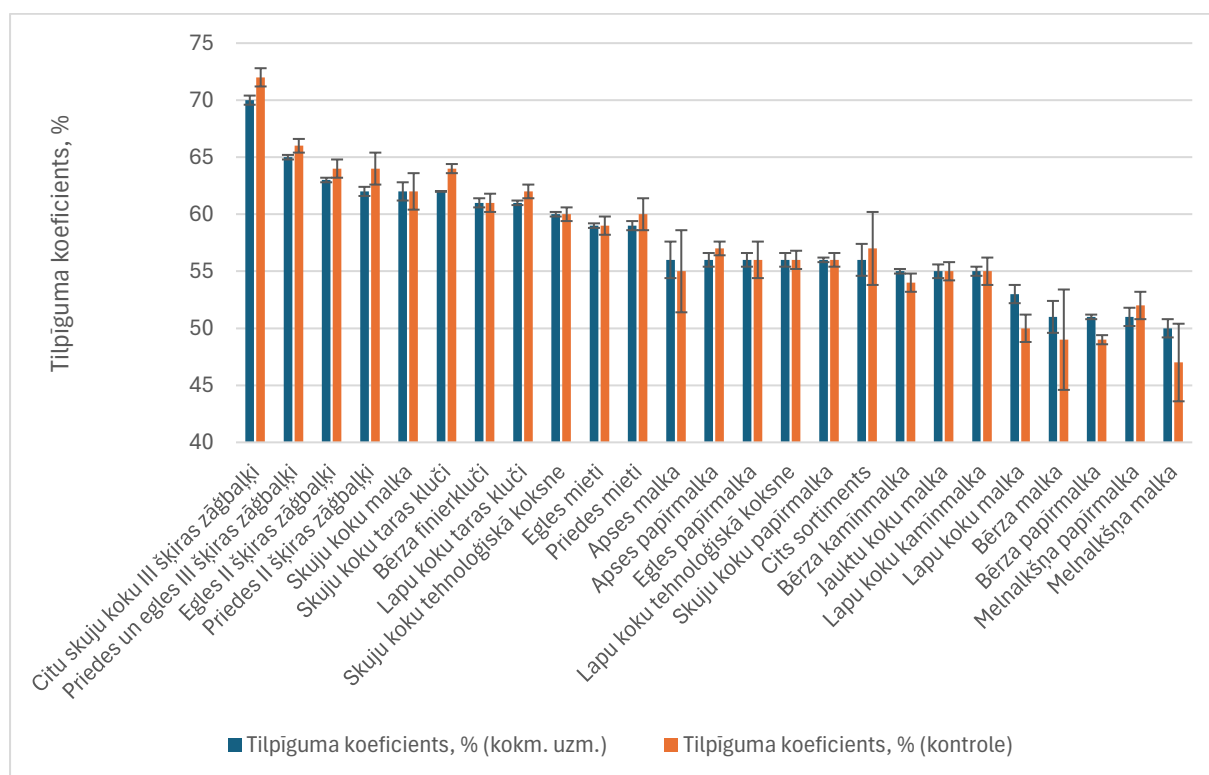
Ievērtējot iepriekš minētos raksturlielumus, iespējams sagatavot vizuālos modeļus tilpīguma koeficienta raksturošanai atkarībā no krāvuma blīvuma – apaļo kokmateriālu savstarpējā novietojuma krautnē (skat. 2. att.).



2. att. Tilpīguma koeficientu izmaiņas atkarībā no krāvuma blīvuma gala planē.

Apaļo kokmateriālu kvalitātes prasībās (LVS 80:2024) katram sortimentam vai sortimentu grupai ir nodefinētas pieļaujamās koksnes vainas un to pieļaujamās robežvērtības, kas sekmē noteiktas tilpīguma koeficienta vērtības veidošanos ar noteiktu izkliedi

Lai noteiktu, vai tilpīguma koeficients pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma un kontroles statistiski būtiski atšķiras starp dažādiem koku sugu vai koku sugu grupas sortimentiem, rādītāju vidējās vērtības grafikā attēlo kopā ar ± 2 standartklūdām. Divu neatkarīgo paraugkopu vidējo vērtību ± 2 standartklūdas raksturo (ietver) 95% ticamības intervālu. Ja divas neatkarīgas paraugkopas ar 95% ticamības intervālu nepārklājas viena ar otru, tad to starpība būs statistiski būtiska. Savstarpēji salīdzinot dažādu koku sugu vai koku sugu grupas sortimentu vidējo tilpīguma koeficientu, var novērot, ka vairumā gadījumu atšķirības ir statistiski būtiskas (skat. 3. att.).



3. att. Dažādu sortimentu tilpīguma koeficienta vidējās vērtības ar ± 2 standartklūdām.

Vidējais tilpīguma koeficients pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma svārstās robežās no 50 – 56 % malkai un papīrmalkai līdz 61 – 70 % taras klučiem un zāģbalkiem. Savukārt pēc kontrolmērījumiem (kontrolē) vidējais tilpīguma koeficients svārstās robežās no 47 – 57 % malkai un papīrmalkai līdz 62 – 72 % taras klučiem un zāģbalkiem. Izvērtējot vidējo tilpīguma koeficientu pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma un kontroles, var novērot vidējo vērtību starpības no 0 līdz 3 vienībām.

Bez vidējā tilpīguma koeficienta un tā standartklūdas novērtēta arī tilpīguma koeficienta izkliede – standartnovirze. Pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma standartnovirze svārstās robežās no 1 līdz 4, bet pēc kontroles no 4 līdz 12. Tilpīguma koeficientam, kas iegūts baltoties uz veiktajiem kontrolmērījumiem, novērojama 2 – 4 reizes plašāka izkliede (skat. 3. tab.).

3. tabula

Tilpīguma koeficienta vidējo vērtību un standartnovirzes salīdzinājums pēc kokmateriālu uzmērītāja un kontroles

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Tilpīguma koeficients, % (kokm. uzm.)	Standartnovirze (kokm. uzm.)	Tilpīguma koeficients, % (kontrolē)	Standartnovirze (kontrolē)
Apses malka	40	56	5	55	11
Apses papīrmalka	309	56	5	57	6
Bērza finierkluči	103	61	2	61	4
Bērza kamīnmalka	128	55	2	54	4
Bērza malka	31	51	4	49	12
Bērza papīrmalka	919	51	3	49	7
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	70	2	72	4
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	63	1	64	4
Egles mieti	108	59	1	59	4
Egles papīrmalka	35	56	1	56	5
Jauktu koku malka	581	55	6	55	9
Lapu koku kamīnmalka	56	55	2	55	4
Lapu koku malka	137	53	4	50	7
Lapu koku taras kluči	242	61	2	62	4
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	56	5	56	8
Melnalkšņa malka	46	50	3	47	11
Melnalkšņa papīrmalka	47	51	3	52	4
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	62	1	64	5
Priedes mieti	28	59	1	60	4
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	65	1	66	4
Skuju koku malka	88	62	4	62	7
Skuju koku papīrmalka	735	56	2	56	8
Skuju koku taras kluči	479	62	1	64	4
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	60	3	60	7
Cits sortiments	28	56	4	57	8
Kopā	5529	57	6	57	9

Salīdzinoši plašā tilpīguma koeficienta izkliede pēc veiktajiem kontrolmērījumiem saistīta ar to, ka atsevišķi netiek uzskaitītas un izdalītas tilpīguma koeficienta ietekmējošo raksturlielumu korekcijas, kā rezultātā nav iespējams novērtēt to ietekmi. Šī iemesla dēļ matemātiskās funkcijas un vidējās vērtības tilpīguma koeficienta noteikšanas automatizācijai sagatavotas baltoties uz kokmateriālu uzmērītāju manuālā vērtējuma.

3. Matemātiskās funkcijas tilpīguma koeficienta noteikšanai

Pēc tilpuma noviržu un vidējo tilpīguma koeficientu izvērtēšanas, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, darbs tiek turpināts pie FotoWeb (FW) tehnoloģijas tilpīguma koeficienta noteikšanas automatizācijas izstrādes. Par pamatu matemātisko funkciju sagatavošanai izmantoti tilpīguma koeficienti, kurus manuāli noteikuši kokmateriālu uzmērītāji.

Matemātisko funkciju sagatavošanai izmantoti 5529 kontrolsaiņu dati, kas reģistrēti laika periodā no 2022. gada 8. decembra līdz 2025. gada 6. maijam Kontrolsaiņu sistēmā.

Sagatavojot matemātiskās funkcijas, balstoties uz iepriekš veikto analīzi, kā būtiskākie faktori tiek izdalīti koku suga vai koku sugas grupa un sortiments, jo apaļo kokmateriālu kvalitātes prasībās (LVS 80:2024) katram sortimentam vai sortimentu grupai ar atbilstošo koku sugu vai sugas grupu ir nodefinētas pieļaujamās koksnes vainas un to pieļaujamās robežvērtības, kas sekmē noteiktu krāvuma blīvumu un attiecīgu tilpīguma koeficienta pamatvērtības korekciju.

VMF LATVIA kokmateriālu uzmērītāji - kontrolmērniki izvēlētiem kontrolsaiņiem atbilstoši instrukcijai VMF MI 04.02 “Grupveida uzmērīšanas kontrole”, izmantojot elektroniskos dastmērus, uzmēra apaļo kokmateriālu caurmērus. Praksē apaļo kokmateriālu vidējais caurmērs ir svarīgs faktors kokmateriālu tilpīguma koeficienta noteikšanā. Krāvuma blīvumu ietekmē daudz faktori, kas ir tieši vai netieši saistīti ar apaļo kokmateriālu caurmēru un sānu virsmas kopējo laukumu krautnē.

Apaļo kokmateriālu kopējais sānu virsmas laukums tievu kokmateriālu krautnē ir lielāks nekā resnāku kokmateriālu kopējais sānu virsmas laukums citā krautnē, lai gan koksnes tilpums abās krautnēs ir vienāds. Lielāks sānu virsmas laukums izpaužas arī kā lielāks skaits saskarpunktu starp kokmateriāliem. Saskarpunkti ir zaru stumbeņi vai zaru puni, tāpēc ir skaidrs, ka kokmateriālu tilpīguma koeficients tievu apaļo kokmateriālu krautnē būs zemāks nekā tas ir resnāku kokmateriālu krautnē, pat ja atzarošanas kvalitāte abos gadījumos ir vienāda. Šī iemesla dēļ, kā būtisks faktors, apaļo kokmateriālu vidējais caurmērs tiek izmantots tilpīguma koeficientu matemātisko funkciju sagatavošanai.

Lai parādītu saistību starp tilpīguma koeficientu un vidējo caurmēru, izmanto lineārās regresijas analīzi. Lineārā regresijas analīze ir statistiskā analīze, kas parāda sakarību starp diviem mainīgajiem. Lineārā regresija apskata dažādus datu punktus un iezīmē tendences līniju. Regresijas analīzes galvenais uzdevums ir parādīt sakarības starp rezultatīvo pazīmi y (tilpīguma koeficients) un faktoriālo pazīmi x (vidējais caurmērs) un novērtēt šīs sakarības funkciju. Regresijas analīze nosaka, pēc kādas likumsakarības mainās rezultatīvā pazīme, ja mainās faktoriālās pazīmes vērtība.

Lineārās funkcijas parametri ir taisnes vienādojuma ($y = a + b x$) parametri, kur a un b ir konstantes, kas nosaka taisnes novietojumu un leņķi attiecībā pret x asi. Konstante a ir taisnes

nogrieznis, kas norāda, kur tā krusto y asi, un konstante b ir taisnes slīpuma koeficients, kas norāda, cik strauji tā paaugstināsies vai pazemināsies.

Lineārās funkcijas atbilstību raksturojošie parametri ir determinācijas koeficients (R^2) un korelācijas koeficients (r vai corr). Matemātiskajā statistikā determinācijas koeficients ir skaitlis no 0 līdz 1, kas raksturo, cik labi izvēlētais statistiskais modelis prognozē rezultātu. Modelis izskaidro atkarīgā mainīgā dispersijas proporciju. Jo tuvāk koeficients ir 1, jo labāk modelis spēj prognozēt. Piemēram, ja koeficients ir 0, modelis neparedz iznākumu vispār, savukārt, ja koeficients ir 1, modelis lieliski prognozē iznākumu.

Divu datu kopu savstarpējo saistību jeb ciešumu var raksturot ne tikai ar funkciju, bet arī ar skaitli - korelācijas koeficientu. Korelācijas koeficients norāda lineārās sakarības ciešuma pakāpi:

- $0,0 < |r| \leq 0,4$ - vāja sakarība;
- $0,4 < |r| \leq 0,8$ - vidēja sakarība;
- $0,8 < |r| \leq 1$ - cieša sakarība;
- $|r| > 1$ - nepareizi aprēķini.

Izmantojot Pīrsona korelācijas koeficientu ($r_{0,05}$), papildus tiek novērtēts vai sagatavotā lineārā funkcija ir būtiska no statistikas viedokļa. Pīrsona korelācijas koeficientu kritiskās vērtības pie izvēlēta būtiskuma līmeņa ($\alpha_{0,05}$) un noteikta novērojuma skaita ($df=n-2$) ir norādītas 1. pielikumā.

Lai noskaidrotu dažādu koku sugu vai koku sugu grupas un sortimentu tilpīguma koeficienta izmaiņas atkarībā no vidējā caurmēra sainī, tika veikta grafiskā analīze (skat. 2. pielikumu). Grafiskā analīze pierāda, ka lielākai daļai no analizētiem sortimentiem starp vidējo caurmēru un saiņa tilpīguma koeficientu pastāv lineāra sakarība. Pamatojoties uz analīzes rezultātiem, sagatavotas rekomendācijas tilpīguma koeficienta novērtēšanai katram sortimentam atsevišķi. Vairumā gadījumu tilpīguma koeficienta noteikšanai tiek rekomendēts izmantot lineāro funkciju (skat. 4. tab.).

Lineārās funkcijas determinācijas koeficienti dažāda veida koku sugu vai koku sugu grupas sortimentiem svārstās robežās no 0,17 līdz 0,73, kas norāda, ka 17 – 73 procentu gadījumos apaļo kokmateriālu krautnes tilpīguma koeficienta izmaiņas iespējams izskaidrot ar vidējā caurmēra izmaiņām. Atlikušajos gadījumos tilpīguma koeficienta izmaiņas skaidrojamas ar citiem fona faktoriem.

Korelācijas koeficients atkarībā no koku sugas vai koku sugu grupas un sortimenta veida svārstās robežās no 0,42 līdz 0,86 un norāda uz vidēju un ciešu sakarību. Izvēlētiem sortimentiem korelācija starp tilpīguma koeficientu un vidējo caurmēru ir statistiski būtiska, jo korelācijas koeficients ir lielāks par Pīrsona korelācijas koeficienta kritisko vērtību ($|r| > r_{\alpha,n}$).

Sortimentiem, kuriem novērojama vāja lineārā funkcija ($0,0 < |r| \leq 0,4$) un ir statistiski nebūtiska ($|r| < r_{\alpha,n}$), FotoWeb (FW) tehnoloģijas tilpīguma koeficienta noteikšanas automatizācijas izstrādē rekomendējama vidējā vērtība no iepriekš kokmateriālu uzmērītāju reģistrētiem rezultātiem.

Rekomendācijas tilpīguma koeficienta noteikšanai dažādiem sortimentiem

Sortiments	Skaits, gab.	Rekomendācija	Vienādojums vai vidējā vērtība	R ²	r	r _{0,05}	Skatīt
Apses malka	40	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 44,71 + 0,56 \cdot D_{\text{vid}}$	0,73	0,86	0,32	2. pielikums
Apses papīrmalka	309	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 45,86 + 0,56 \cdot D_{\text{vid}}$	0,61	0,78	0,11	2. pielikums
Bērza finierkluči	103	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 50,87 + 0,44 \cdot D_{\text{vid}}$	0,6	0,77	0,19	2. pielikums
Bērza kamīnmalka	128	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 48,65 + 0,4 \cdot D_{\text{vid}}$	0,47	0,69	0,17	2. pielikums
Bērza malka	31	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 44,64 + 0,44 \cdot D_{\text{vid}}$	0,73	0,86	0,36	2. pielikums
Bērza papīrmalka	919	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 41,7 + 0,67 \cdot D_{\text{vid}}$	0,48	0,69	0,08	2. pielikums
Citu skuju koku III šķiras zāgbaļķi	117	Vidējais tilpīguma koeficients	70	---	---	---	3. tabula
Egles II šķiras zāgbaļķi	108	Vidējais tilpīguma koeficients	63	---	---	---	3. tabula
Egles mieti	108	Vidējais tilpīguma koeficients	59	---	---	---	3. tabula
Egles papīrmalka	35	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 50,06 + 0,49 \cdot D_{\text{vid}}$	0,2	0,44	0,35	2. pielikums
Jauktu koku malka	581	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 43,6 + 0,78 \cdot D_{\text{vid}}$	0,46	0,68	0,09	2. pielikums
Lapu koku kamīnmalka	56	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 48,01 + 0,48 \cdot D_{\text{vid}}$	0,28	0,53	0,27	2. pielikums
Lapu koku malka	137	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 41,61 + 0,78 \cdot D_{\text{vid}}$	0,68	0,82	0,17	2. pielikums
Lapu koku taras kluči	242	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 54,03 + 0,36 \cdot D_{\text{vid}}$	0,18	0,43	0,14	2. pielikums
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 45,34 + 0,6 \cdot D_{\text{vid}}$	0,69	0,83	0,11	2. pielikums
Melnalkšņa malka	46	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 38,59 + 0,93 \cdot D_{\text{vid}}$	0,73	0,86	0,30	2. pielikums
Melnalkšņa papīrmalka	47	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 42,78 + 0,62 \cdot D_{\text{vid}}$	0,17	0,42	0,29	2. pielikums
Priedes II šķiras zāgbaļķi	40	Vidējais tilpīguma koeficients	62	---	---	---	3. tabula
Priedes mieti	28	Vidējais tilpīguma koeficients	59	---	---	---	3. tabula
Priedes un egles III šķiras zāgbaļķi	244	Vidējais tilpīguma koeficients	65	---	---	---	3. tabula
Skuju koku malka	88	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 51,15 + 0,65 \cdot D_{\text{vid}}$	0,56	0,75	0,22	2. pielikums
Skuju koku papīrmalka	735	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 49,89 + 0,52 \cdot D_{\text{vid}}$	0,28	0,53	0,07	2. pielikums
Skuju koku taras kluči	479	Vidējais tilpīguma koeficients	62	---	---	---	3. tabula
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 50,89 + 0,65 \cdot D_{\text{vid}}$	0,54	0,74	0,09	2. pielikums
Cits sortiments	28	Tilpīguma koeficients pēc vidējā caurmēra	$y = 47,13 + 0,52 \cdot D_{\text{vid}}$	0,68	0,82	0,37	2. pielikums

4. Sagatavotā matemātiskā modeļa tilpuma novirzes

Pēc matemātisko funkciju sagatavošanas un vidējo vērtību novērtēšanas, izvērtētas tilpumu novirzes, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, pamatojoties uz tilpīguma koeficienta noteikšanu pēc lineārām funkcijām vai vidējām vērtībām.

Datu apstrādē un izvērtēšanā izmantoti 5529 kontrolsaiņu dati, kas izmantoti arī iepriekš rekomendāciju sagatavošanā un matemātiskā modeļa izstrādē.

Šajā gadījumā VMF LATVIA informācijas sistēmā Kontrolsaiņu salīdzinājums apkopotie dati tiek salīdzināti ar matemātiskā modeļa rezultātiem (kopējais vai tehnoloģiskais tilpums).

Izvērtējot apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirzes pēc sagatavotā matemātiskā modeļa tilpīguma koeficienta noteikšanai (skat. 5. tab.), atkarībā no koku sugas vai koku sugu grupas un sortimenta veida, kontrolsaiņu tilpuma novirze svārstās robežās no -3,9 % (priedes II šķiras zāģbaļķi) līdz 5,7 % (lapu koku malka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,5 %, bet standartnovirze ir 8,3 %.

Izvērtējot tilpumu novirzes, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, pamatojoties uz tilpīguma koeficienta noteikšanu gan pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma, gan pēc matemātiskā modeļa vērtībām, var novērot nebūtisku tilpuma novirzes un standartnovirzes palielināšanos, izmantojot lineārās funkcijas vai vidējās vērtības tilpīguma koeficienta raksturošanai.

Lai ievērtētu tilpīguma koeficienta izkliedi FotoWeb (FW) tehnoloģijai, pēc matemātiskā modeļa noteiktam tilpīguma koeficientam būtu jāparedz korekcijas iespējas vienas standartnovirzes (pēc lineārās funkcijas) un divu standartnoviržu (pēc vidējās vērtības) robežās. Par pamatu šai korekcijai var izmantot kopējo tilpīguma koeficienta standartnovirzi (6 %) pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma (skat. 3. tab.).

Lai samazinātu tilpumu novirzi un standartnovirzi, uzmērot apaļo kokmateriālu krautni uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, matemātisko modeli varētu sagatavot pamatojoties uz tilpīguma koeficientu no kontrolmērījumu rezultātiem, bet šajā gadījumā lielākai daļai sortimentu veidojās salīdzinoši liela tilpīguma koeficientu izkliede, kā rezultātā veidotos vājākas lineārās funkcijas ar zemākām determinācijas koeficienta un korelācijas koeficientu vērtībām. Matemātiskā modeļa sagatavošana no kontrolmērījumos iegūtā tilpīguma koeficienta būtu iespējama, ja papildus vidējam caurmēram tiktu reģistrēts krāvuma blīvums, kas raksturotu apaļo kokmateriālu savstarpējo novietojuma krautnē un tā ietekmējošos faktorus. Atsevišķi norādot krāvuma blīvumu (irdens, vidēji blīvs un blīvs) katram koku sugas vai koku sugu grupas sortimentam tiktu iegūtas trīs regresijas līknes: pie irdena krāvuma, pie vidēji blīva krāvuma un pie blīva krāvuma. Šādā veidā būtu iespējams tilpuma novirzi tuvināt nullei un standartnovirzi samazināt vismaz par trešdaļu.

Apažo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirze pēc matemātiskā modeļa

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Kopējais vai tehnoloģiskais tilpums, m ³ (modelis)	Kopējais vai tehnoloģiskais tilpums, m ³ (kontrolē)	Tilpuma novirze, m ³	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze
Apses malka	40	375,181	377,323	-2,142	-0,6	8,8
Apses papīrmalka	309	2609,296	2646,766	-37,47	-1,4	7,8
Bērza finierkluči	103	842,641	839,079	3,562	0,4	5,2
Bērza kamīnmalka	128	956,347	946,888	9,459	1,0	7,4
Bērza malka	31	238,112	235,481	2,631	1,1	9,2
Bērza papīrmalka	919	7032,299	6959,749	72,55	1,0	7,4
Citu skuju koku III šķiras zāģbalki	117	1146,597	1175,648	-29,051	-2,5	5,4
Egles II šķiras zāģbalki	108	1068,717	1081,443	-12,726	-1,2	6,2
Egles mieti	108	1085,671	1079,187	6,484	0,6	7,9
Egles papīrmalka	35	312,323	313,155	-0,832	-0,3	8,2
Jauktu koku malka	581	4996,346	4977,266	19,08	0,4	12,1
Lapu koku kamīnmalka	56	441,014	447,537	-6,523	-1,5	6,9
Lapu koku malka	137	1209,518	1143,775	65,743	5,7	11,7
Lapu koku taras kluči	242	1765,515	1807,027	-41,512	-2,3	5,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2580,811	2604,749	-23,938	-0,9	8,7
Melnalkšņa malka	46	405,352	397,622	7,73	1,9	9,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	365,184	376,178	-10,994	-2,9	7,4
Priedes II šķiras zāģbalki	40	449,429	467,431	-18,002	-3,9	7
Priedes mieti	28	317,115	322,795	-5,68	-1,8	6
Priedes un egles III šķiras zāģbalki	244	2075,061	2116,132	-41,071	-1,9	6,9
Skuju koku malka	88	919,151	926,033	-6,882	-0,7	9,7
Skuju koku papīrmalka	735	6317,165	6349,75	-32,585	-0,5	7,4
Skuju koku taras kluči	479	3602,927	3696,183	-93,256	-2,5	5,8
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4651,091	4698,94	-47,849	-1,0	7,9
Cits sortiments	28	225,017	224,9	0,117	0,1	10,7
Kopā	5529	45987,88	46211,037	-223,157	-0,5	8,3

Secinājumi un rekomendācijas

1. Izvērtētas matemātiskās sakarības starp dažādu koku sugu vai koku sugu grupas sortimentu vidējo apaļo kokmateriālu caurmēru un tilpīguma koeficientu, kā rezultātā sagatavots jauns matemātiskais modelis tilpīguma koeficienta noteikšanai, izmantojot lineāras regresijas vienādojumus vai tilpīguma koeficienta vidējās vērtības, kas ir izmantojamas FotoWeb (FW) tehnoloģijas tilpīguma koeficienta noteikšanas automatizācijai.
2. Būtiskākie tilpīguma koeficienta ietekmējošie faktori ir koku suga vai koku sugu grupa, sortimenta veids un apaļo kokmateriālu vidējais caurmērs. Matemātiskais modelis tilpīguma koeficienta automātiskai noteikšanai FotoWeb (FW) tehnoloģijā ietver koku sugu vai koku sugu grupu, sortimenta veidu un apaļo kokmateriālu vidējo caurmēru.
3. Aktivitātes ietvaros izvērtētas tilpumu novirzes, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, pamatojoties uz tilpīguma koeficienta noteikšanu manuāli pēc kokmateriālu uzmērītāju vērtējuma. Izvērtējot apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirzes atkarībā no koku sugas vai koku sugu grupas un sortimenta veida kontrolsaiņu tilpuma novirze svārstās robežās no -4,6 % (priedes II šķiras zāģbaļķi) līdz 5,6 % (lapu koku malka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,4 %, bet standartnovirze ir 7,6 %.
4. Izvērtējot apaļo kokmateriālu grupveida uzmērīšanas tilpuma novirzes pēc sagatavotā matemātiskā modeļa tilpīguma koeficienta noteikšanai atkarībā no koku sugas vai koku sugu grupas un sortimenta veida, kontrolsaiņu tilpuma novirze svārstās robežās no -3,9 % (priedes II šķiras zāģbaļķi) līdz 5,7 % (lapu koku malka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,5 %, bet standartnovirze ir 8,3 %.
5. Lai ievērtētu tilpīguma koeficienta izkliedi FotoWeb (FW) tehnoloģijai pēc matemātiskā modeļa noteiktam tilpīguma koeficientam, būtu jāparedz korekcijas iespējas vienas standartnovirzes (pēc lineārās funkcijas) un divu standartnoviržu (pēc vidējās vērtības) robežās. Par pamatu šai korekcijai rekomendējama kopējā tilpīguma koeficienta standartnovirze (6 %) pēc kokmateriālu uzmērītāja vērtējuma.
6. Lai samazinātu tilpumu novirzi un standartnovirzi, uzmērot apaļo kokmateriālu krautnes uz kokvedējiem pēc ģeometriskiem parametriem, matemātisko modeli varētu sagatavot pamatojoties uz tilpīguma koeficientu no kontrolmērījumu rezultātiem, bet šajā gadījumā lielākai daļai sortimentu veidojās salīdzinoši liela tilpīguma koeficienta izkliede, kā rezultātā veidotos vājākas lineārās funkcijas ar zemākām determinācijas koeficienta un korelācijas koeficientu vērtībām.
7. Matemātiskā modeļa sagatavošana no kontrolmērījumos iegūtā tilpīguma koeficienta būtu iespējama, ja papildus vidējam caurmēram tiktu reģistrēts krāvuma blīvums, kas raksturotu apaļo kokmateriālu savstarpējo novietojuma (ieviešams no jauna). Atsevišķi norādot krāvuma blīvumu (irdens, vidēji blīvs un blīvs), katram koku sugas vai koku sugu grupas sortimentam tiktu iegūtas trīs regresijas līknes: pie irdena krāvuma, pie vidēji blīva krāvuma un pie blīva krāvuma. Šādā veidā būtu iespējams tilpuma novirzi tuvināt nullei un standartnovirzi samazināt vismaz par trešdaļu.

1. pielikums

Pirsona korelācijas koeficientu kritiskās vērtības

df \ α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.951057	0.987688	0.996917	0.999507	0.999877	0.999999
2	0.800000	0.900000	0.950000	0.980000	0.990000	0.999000
3	0.687049	0.805384	0.878339	0.934333	0.958735	0.991139
4	0.608400	0.729299	0.811401	0.882194	0.917200	0.974068
5	0.550863	0.669439	0.754492	0.832874	0.874526	0.950883
6	0.506727	0.621489	0.706734	0.788720	0.834342	0.924904
7	0.471589	0.582206	0.666384	0.749776	0.797681	0.898260
8	0.442796	0.549357	0.631897	0.715459	0.764592	0.872115
9	0.418662	0.521404	0.602069	0.685095	0.734786	0.847047
10	0.398062	0.497265	0.575983	0.658070	0.707888	0.823305
11	0.380216	0.476156	0.552943	0.633863	0.683528	0.800962
12	0.364562	0.457500	0.532413	0.612047	0.661376	0.779998
13	0.350688	0.440861	0.513977	0.592270	0.641145	0.760351
14	0.338282	0.425902	0.497309	0.574245	0.622591	0.741934
15	0.327101	0.412360	0.482146	0.557737	0.605506	0.724657
16	0.316958	0.400027	0.468277	0.542548	0.589714	0.708429
17	0.307702	0.388733	0.455531	0.528517	0.575067	0.693163
18	0.299210	0.378341	0.443763	0.515505	0.561435	0.678781
19	0.291384	0.368737	0.432858	0.503397	0.548711	0.665208
20	0.284140	0.359827	0.422714	0.492094	0.536800	0.652378
21	0.277411	0.351531	0.413247	0.481512	0.525620	0.640230
22	0.271137	0.343783	0.404386	0.471579	0.515101	0.628710
23	0.265270	0.336524	0.396070	0.462231	0.505182	0.617768
24	0.259768	0.329705	0.388244	0.453413	0.495808	0.607360
25	0.254594	0.323283	0.380863	0.445078	0.486932	0.597446
26	0.249717	0.317223	0.373886	0.437184	0.478511	0.587988
27	0.245110	0.311490	0.367278	0.429693	0.470509	0.578956
28	0.240749	0.306057	0.361007	0.422572	0.462892	0.570317
29	0.236612	0.300898	0.355046	0.415792	0.455631	0.562047
30	0.232681	0.295991	0.349370	0.409327	0.448699	0.554119

df \ α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
35	0.215598	0.274611	0.324573	0.380976	0.418211	0.518898
40	0.201796	0.257278	0.304396	0.357787	0.393174	0.489570
45	0.190345	0.242859	0.287563	0.338367	0.372142	0.464673
50	0.180644	0.230620	0.273243	0.321796	0.354153	0.443201
60	0.164997	0.210832	0.250035	0.294846	0.324818	0.407865
70	0.152818	0.195394	0.231883	0.273695	0.301734	0.379799
80	0.142990	0.182916	0.217185	0.256525	0.282958	0.356816
90	0.134844	0.172558	0.204968	0.242227	0.267298	0.337549
100	0.127947	0.163782	0.194604	0.230079	0.253979	0.321095
125	0.114477	0.146617	0.174308	0.206245	0.227807	0.288602
150	0.104525	0.133919	0.159273	0.188552	0.208349	0.264316
175	0.096787	0.124036	0.147558	0.174749	0.193153	0.245280
200	0.090546	0.116060	0.138098	0.163592	0.180860	0.229840
250	0.081000	0.103852	0.123607	0.146483	0.161994	0.206079
300	0.073951	0.094831	0.112891	0.133819	0.148019	0.188431
350	0.068470	0.087814	0.104552	0.123957	0.137131	0.174657
400	0.064052	0.082155	0.097824	0.115997	0.128339	0.163520
450	0.060391	0.077466	0.092248	0.109397	0.121046	0.154273
500	0.057294	0.073497	0.087528	0.103808	0.114870	0.146436
600	0.052305	0.067103	0.079920	0.094798	0.104911	0.133787
700	0.048427	0.062132	0.074004	0.087789	0.097161	0.123935
800	0.045301	0.058123	0.069234	0.082135	0.090909	0.115981
900	0.042711	0.054802	0.065281	0.077450	0.085727	0.109385
1000	0.040520	0.051993	0.061935	0.073484	0.081340	0.103800
1500	0.033086	0.042458	0.050582	0.060022	0.066445	0.084822
2000	0.028654	0.036772	0.043811	0.051990	0.057557	0.073488
3000	0.023397	0.030027	0.035775	0.042457	0.047006	0.060027
4000	0.020262	0.026005	0.030984	0.036773	0.040713	0.051996
5000	0.018123	0.023260	0.027714	0.032892	0.036417	0.046512

2. pielikums

Tilpīguma koeficienta izmaiņas atkarībā no vidējā caurmēra sainī

