1. aktivitātes atskaite (1.1. un 1.2. posms)

KOKMATERIĀLU KRAUTNES GARUMA TRANSPORTLĪDZEKLĪ MĒRĪŠANAS AUTOMATIZĀCIJA – IZSTRĀDE

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

Atskaiti sagatavoja: Mareks Millers

2025. gada
septembris

Saturs

Ievads 3
1. Transportlīdzekļu sastāvi apaļo kokmateriālu transportēšanā 4
2. Kokmateriālu krautnes uzmērīšana uz kokvedēja tehnoloģiskā aprīkojuma 6
3. Datu bāžu strukturēšana un savienojamība 10
4. Matemātiskās funkcijas kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanai 13
5. Matemātisko funkciju aprobēšana 19
6. Matemātisko funkciju modeļa funkcionalitātes izstrāde 29
Secinājumi un rekomendācijas 32

Ievads

Latvijas valsts standarts LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” nosaka principus kokmateriālu krautnes garuma mērīšanai, kas šobrīd praksē tiek īstenoti, izmantojot iepriekš uzmērītus kokvedēja kravas balstu attālumus virs to pamatnes. Šī parametra izpētes rezultātā, ievērtējot ietekmējošos faktorus, būtu iespējams pilnībā automatizēt kraujmēra (ģeometriskā tilpuma) noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb, kurš plaši tiek izmantots kokmateriālu uzmērīšanā Latvijā un KpDC Frame.

Aktivitātes mērķis ir izvērtēt apaļo kokmateriālu krautnes garumu uz transportlīdzekļa un noteikt tā ietekmējošos faktorus. Aktivitātes ietvaros 1.1. posma uzdevums ir izvērtēt datu bāžu strukturēšanas iespējas un sagatavot krautnes garuma novērtēšanas algoritmus, savukārt, 1.2. posma izdevums ir matemātisko funkciju modeļa aprobēšana un funkcionalitātes izstrāde, kā arī novērtēt algoritma precizitāti salīdzinājumā ar pašreiz pielietotajiem parametriem.

Aktivitātes ietvaros izvērtēti transportlīdzekļu sastāvi apaļo kokmateriālu transportēšanā un to gabarīti. Tāpat izvērtēts kokvedēju tehnoloģiskais aprīkojums un dažādi kravas balstu konstruktīvie risinājumi, kas izstrādāti, lai nodrošinātu lielāku kravas ietilpību ievērtējot gabarīta ierobežojumus.

Izvērtēts kokmateriālu krautnes garuma mērīšanas process transportlīdzeklī, izvērtējot datu ievades kvalitāti un sistēmu savienojamību no 3 datu bāzēm (Kontrolsaiņu sistēma, VITA, CIEDRS). Veikta ietekmējošo faktoru kopuma identificēšana un novērtēta potenciālo korekciju ietekme uz precizitāti.

Sagatavots matemātisko funkciju modelis kokmateriālu krautnes garuma korekcijai, kā arī veikta matemātisko funkciju modeļa aprobēšanu un funkcionalitātes izstrāde.

1. Transportlīdzekļu sastāvi apaļo kokmateriālu transportēšanā

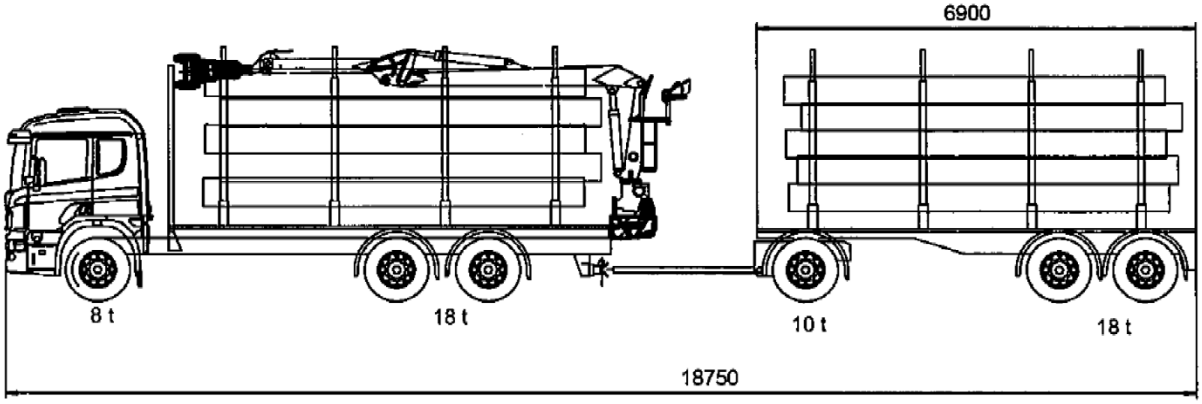
Latvijā, tāpat kā citās Eiropas Savienības (ES) valstīs, transportam ir nozīmīga loma ekonomikā un resursu pieejamības nodrošināšanā. Lai autopārvadājumi būtu ar lielu ražīgumu, efektīvi un līdz ar to lētāki, pielieto lielas vestspējas kravas transportlīdzekļus. Lielas vestspējas transportlīdzekļus parasti veido no vairākiem transportlīdzekļiem, kuri savā starpā savienoti ar kustīgu savienojumu. Šādam transportlīdzekļu sastāvam ir vairākas būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar atsevišķu mehānisko transportlīdzekli.

Autotransporta uzņēmumiem pieder daudz dažādu tipu un zīmolu kravas automobiļu, piekabju un puspiekabju. To skaits un tipi atkarīgi no autotransporta uzņēmuma rakstura, specializācijas, pārvadājumu attālumiem, kravas veidiem u.tml.

Balstoties uz Eiropas parlamenta un padomes regulu (ES) 2018/858, apaļo kokmateriālu pārvadājumos tiek izmantoti specializētie N un O kategorijas transportlīdzekļi, kuru tehniskie raksturlielumi un aprīkojums ļauj izpildīt pārvadāšanas funkciju.

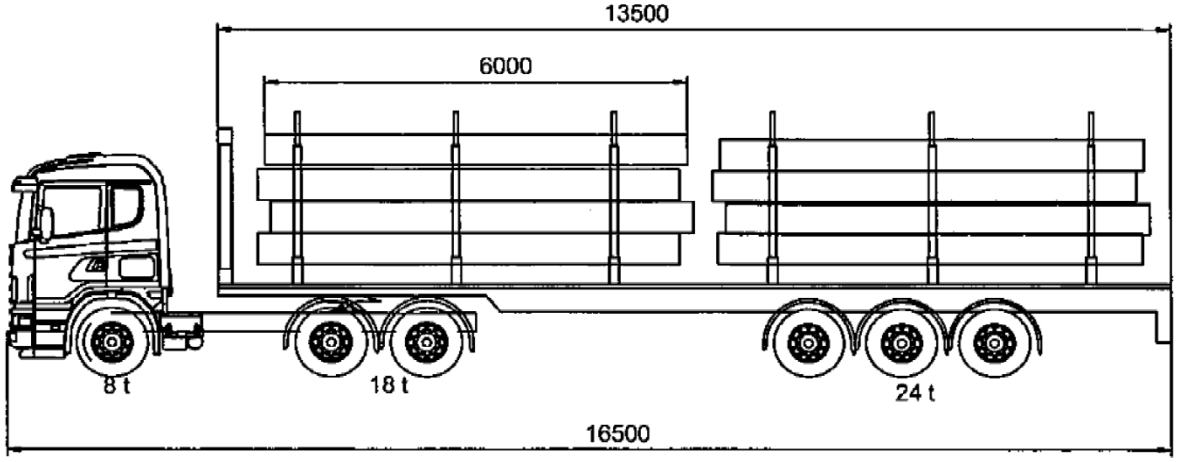
N kategorijas mehāniskie transportlīdzekļi, kas konstruēti un izgatavoti galvenokārt kravu pārvadāšanai – kravas automobilis un puspiekabju vilcējs. Savukārt O kategorijā ietilpst piekabes un puspiekabes.

Kravas automobilis ir transportlīdzeklis, kas projektēts un konstruēts tikai vai galvenokārt kravas pārvadāšanai un tas var arī vilkt piekabi. Piekabe ir transportlīdzeklis kam ir vismaz divas asis, no kurām vismaz viena ir vadāmā ass (skat. 1. att.).



1. att. Kravas automobilis ar piekabi.

Puspiekabju vilcējs ir velkošs transportlīdzeklis, kas projektēts un konstruēts tikai vai galvenokārt puspiekabju vilkšanai. Puspiekabe ir piekabe, kas projektēta un konstruēta savienošanai ar puspiekabju vilcēju vai autovilciena ratiņiem un ievērojama vertikāla slogojuma radīšanai uz velkošo transportlīdzekli vai autovilciena ratiņiem. Transportlīdzekļu savienošanai izmanto sakabi, ko veido sakabes tapa un vilcēja seglierīce (skat. 2. att.).



2. att. Puspiekabju vilcējs ar puspiekabi.

Latvijas Republikas (LR) normatīvo aktu bāze ir sakārtota atbilstoši ES dokumentos noteiktajam normām. Attiecībā uz maksimāli pieļaujamo transportlīdzekļu un to sastāvu garumu, LR normatīvajos aktos ir iekļautas ES dokumentos definētās prasības.

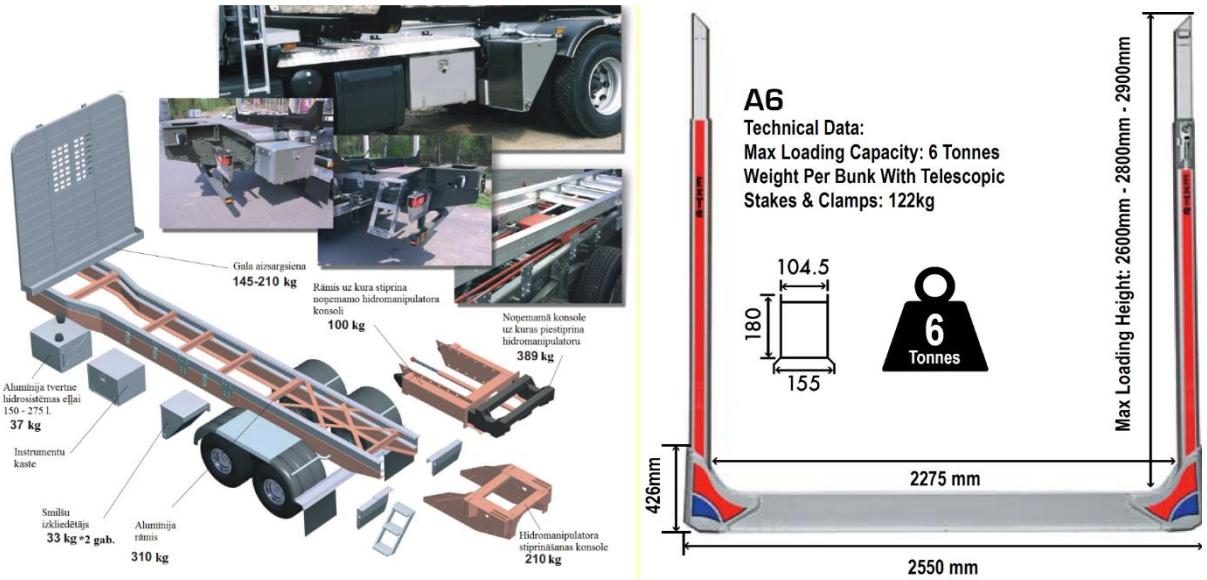
Transportlīdzekļu sastāva maksimālo garumu, platumu, augstumu un svaru nosaka ES direktīva par kravas autotransporta gabarītizmēriem un svara ierobežojumiem (Padomes Direktīva 96/53/EC). Latvijā transportlīdzekļu sastāva kravas lielumus un svara ierobežojumus nosaka Ministru Kabineta (MK) noteikumi nr. 343 "Par lielgabarīta un smagsvara pārvadājumiem". MK noteikumos noteikts, ka dalāmas koksnes produkcijas lielgabarīta un smagsvara kravas drīkst pārvadāt, ja ir saņemta attiecīga atļauja un CSDD izsniegts transportlīdzekļa sertifikāts lielgabarīta un smagsvara kravu pārvadāšanai ar specializētajiem lielgabarīta un smagsvara transportlīdzekļiem vai to sastāviem.

Pamatojoties uz sertifikātu, atļauju koksnes produkcijas transportēšanai izsniedz uz noteiktu laiku (uz 12 mēnešiem vai laika periodu, par kuru samaksāta autoceļu lietošanas nodeva jeb vinjete), ja mehāniskais transportlīdzeklis vai tā sastāvs kopā ar kravu atbilst šādiem nosacījumiem:

- faktiskā masa nepārsniedz 52 t;
- garums nedrīkst pārsniegt 18,75 m (garums ar puspiekabi 17,50 m);
- platums nepārsniedz 2,60 m (no 01.01.2024);
- augstums no brauktuves virsmas nepārsniedz 4,20 m.

No iepriekš apskatītā izriet ka kokvedējs ir specializēts kravas lielgabarīta transportlīdzeklis vai transportlīdzekļa sastāvs, kuram izsniegts transportlīdzekļa sertifikāts dalāmu kokmateriālu lielgabarīta kravu pārvadāšanai. Tas pēc savas konstrukcijas ir paredzēts apaļo kokmateriālu transportēšanai un atbilst pārējām MK noteikumos par lielgabarīta un smagsvara pārvadājumiem noteiktajām prasībām. Kokvedēja tehnoloģiskajā aprīkojumā ietilpst:

- starprāmis gala sienas un kravas balstu (statņu) uzstādīšanai;
- hidromanipulators ar konsoli apaļo kokmateriālu iekraušanai un izkraušanai;
- gala balstsiena;
- kravas balsti ar šķērsbalstiem (statņi ar statņu pamatnēm);
- mehāniskie kravas savilcēji kravas nostiprināšanai;
- un cits aprīkojums pēc nepieciešamības (skat. 3. att.).



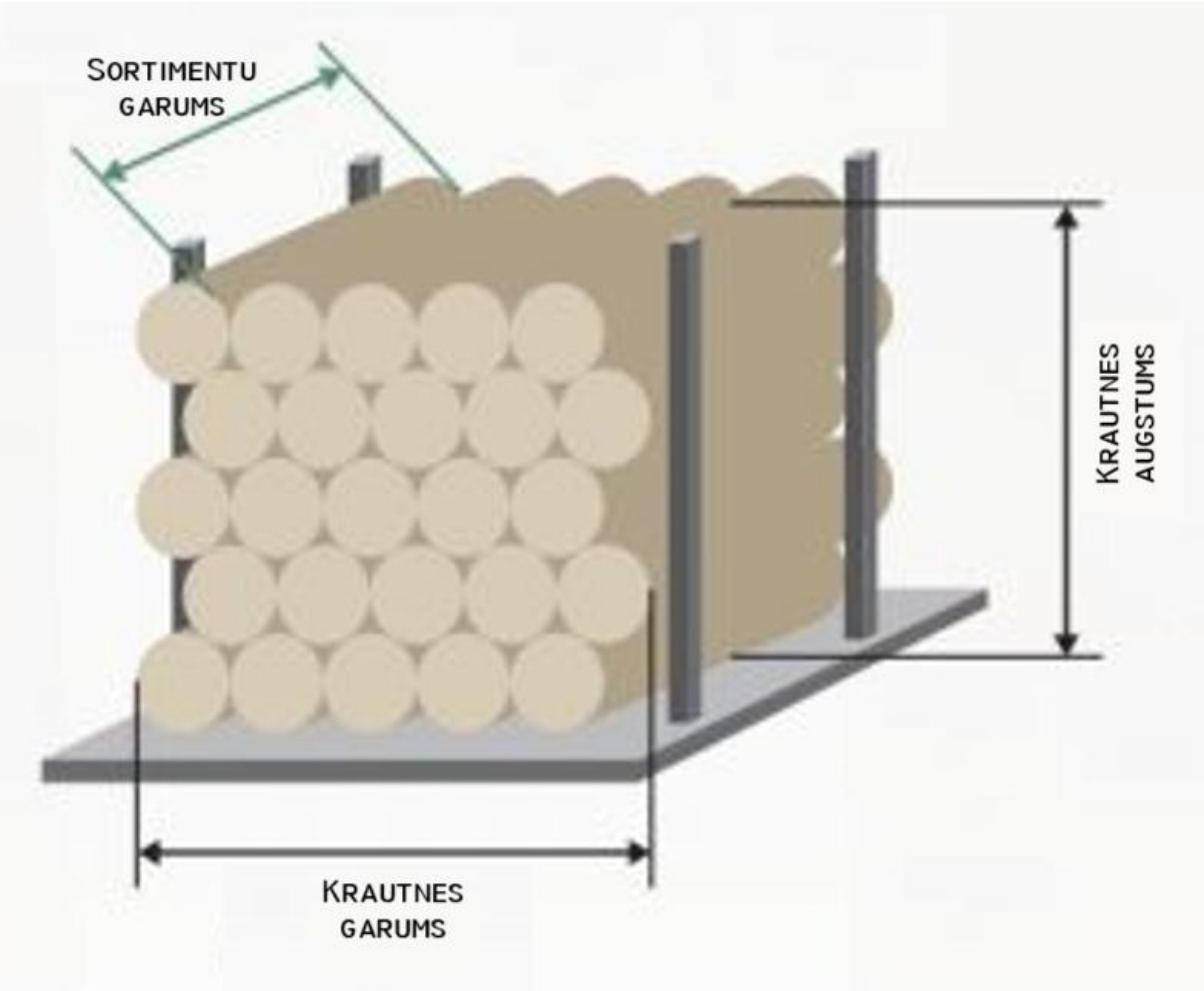
3. att. Kokvedēja tehnoloģiskā iekārta ar aprīkojumu apaļo kokmateriālu pārvadāšanai.

No kokvedēja tehnoloģiskā aprīkojuma kokmateriālu uzmērīšanā jāņem vērā uzstādīto kravas balstu (statņu) konstruktīvais risinājums un to izmēri (attālums starp kravas balstiem un to augstums). Attālumu starp kravas balstiem var pieņem kā uzkrautu kokmateriālu krautnes garumu, bet kravas balstu augstums nosaka maksimāli iespējamo krautnes augstumu. Uz kokvedāja uzkrautu kokmateriālu krautnes kraujmēra novērtēšanā šie ir divi no trim būtiskākiem faktoriem, kas ietekmē apaļo kokmateriālu tilpuma novērtēšanas precizitāti.

2. Kokmateriālu krautnes uzmērīšana uz kokvedēja tehnoloģiskā aprīkojuma

Latvijas valsts standarts LVS 82:2024 “Apaļo kokmateriālu uzmērīšana” nosaka principus apaļo kokmateriālu krautnes uzmērīšanai. Visbiežāk to izmanto automašīnās vai vagonos iekrautiem kokmateriāliem pirms izkraušanas, tādiem kā malka, papīrmalka, tehnoloģiskā koksne, taras kluči un citiem sortimentiem.

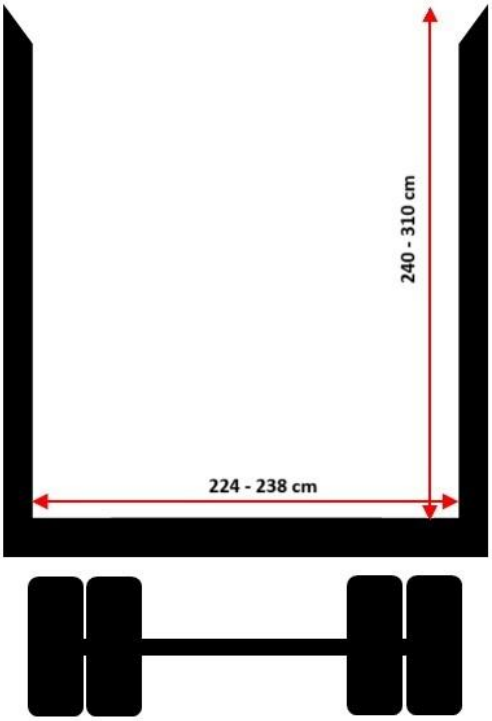
Uz kokvedēja uzkrautiem sortimentiem uzmēra krautnes garumu (L), augstumu (H) un platumu jeb sortimentu garumu (P). Sareizinot iegūtos lielumus, iegūst kokmateriālu krautnes kraujmēru jeb ģeometrisko tilpumu (V), kas sevī ietver koksni, mizu, gaisa spraugas starp sortimentiem un cirsmu atliekas, sniegu, ledu. Par krautnes platumu pieņem krautnē sakrauto sortimentu vidējo garumu. Krautnes garumu uzmēra kā attālumu starp kravas balstiem. Katras krautnes augstumu uzmēra krautnes platuma vidū, izlīdzinot krautnes augšējo daļu (skat. 4. att.).



4. att. Kokmateriālu krautnes uzmērīšana uz transportlīdzekļa.

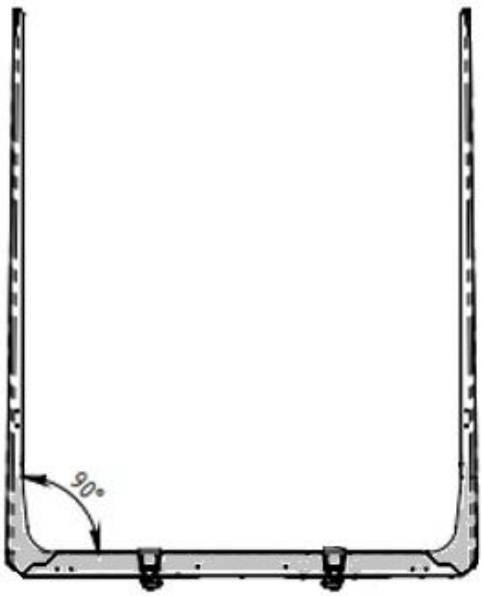
Krautnes tilpumu m^3 (Q - ciešmetros) iegūst, reizinot kraujmēru ar tilpīguma koeficientu K, kas izsaka koksnes vairumu kopējā krautnes tilpumā.

Kokvedējā iekrautu sortimentu tilpuma novērtēšana ir salīdzinoši vienkārša, pie nosacījuma, ka attālums starp kravas balstiem ir zināms. Jāmēra praktiski tikai krautnes augstums un kokmateriālu garums. Bet, lai nonāktu līdz tam, ir jānovērtē uz kokvedēja uzstādītās tehnoloģiskās iekārtas kravas balstu attālumi. Attālums starp kravas balstiem un to augstums var atšķirties katram kravas automobiļu un piekabju (puspiekabju) veidam, kā arī pastāv atšķirības kravas automobiļu un piekabju veida ietvaros. Uz kokvedēja uzstādītā tehnoloģiskā aprīkojuma kravas balstu attālumi svārstās robežas no 224 līdz 238 cm, bet augstums var sasniegt 310 cm (skat. 5. att.).



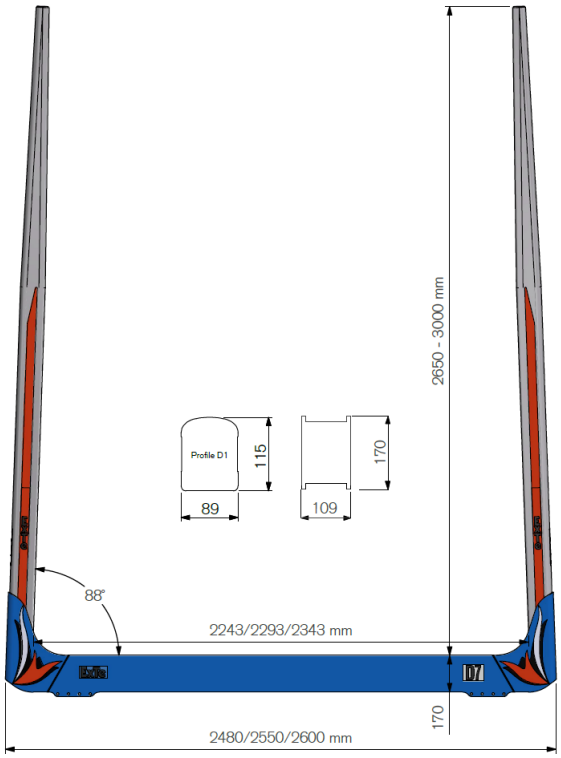
5. att. Kokvedēja tehnoloģiskā aprīkojuma kravas balstu attāluma un augstuma intervāli.

Bez izmēru svārstību amplitūdas jāņem vērā arī dažādi kravas balstu konstruktīvie risinājumi, kas izstrādāti, lai nodrošinātu lielāku kravas ietilpību ievērtējot iepriekš minētos gabarīta ierobežojumus – platums 2,60 m. Plaši ir izmantots konstruktīvais risinājums, kurā kravas balsti pie to pamatnes stiprinās 90° leņķī. Šāds konstruktīvais risinājums nodrošina lielāku kravas ietilpību (skat. 6. att.).



6. att. Kravas balstu (statņu un statņu pamatnes) stiprinājums 90° leņķī.

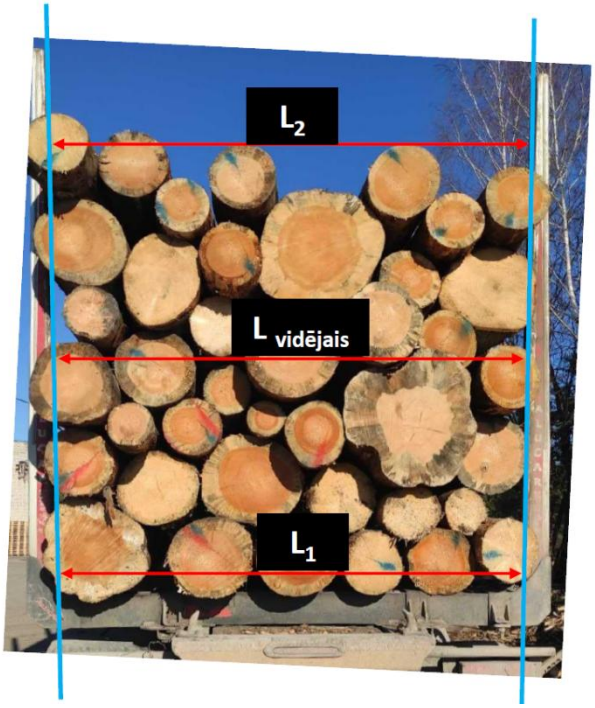
Lai izvairītos no noteikto gabarītu pārsniegšanas apaļo kokmateriālu transportēšanas laikā dēļ kravas balstu izplešanās iespējamības, daļa kokvedēju tehnoloģiskā aprīkojuma ražotāji izvēlas citu konstruktīvo risinājumu – kravas balsti pie to pamatnes stiprinās 88 – 89° leņķī. Pie šāda konstruktīvā risinājuma attālums starp kravas balstiem, piemēram, 2,8 m augstumā būs par 10 – 20 cm šaurāks salīdzinot ar attālumu pie pamatnes (skat. 7. att.).



7. att. Kravas balstu (statņu un statņu pamatnes) stiprinājums 88° leņķī.

Pie dažādiem konstruktīviem risinājumiem kravas balstu savienošanā un attālumu svārstībām starp tiem nevar pieņemt vienu kravas balstu attālumu visiem kokvedējiem. Viena centimetra kļūda kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanā var rezultēties kā 0,5 % kļūda tilpuma noteikšanā.

Līdz ar to katram transportlīdzekļu sastāvam atsevišķi tiek uzmērīts attālums starp kravas balstiem, kuru pēc tam izmanto kā kokmateriālu krautnes garumu. Nosakot krautnes garumu apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanā jāņem vērā arī kravas balstu izplešanās iespējamība. Līdz ar to, lai iegūtu atbilstošu krautnes garumu, kravas balstu attālums jāuzmēra ne tikai pie pamatnes, bet arī pie kokmateriālu krautnes augšējās daļas (skat. 8. att.).



8. att. Kravas balstu attālumu novērtēšana.

Apaļo kokmateriālu kraujmēra noteikšanā nepieciešamais krautnes garums (L vidējais) tiek iegūts no diviem kravas balstu attāluma uzmērījumiem – virs pamatnes (L_1) un pie krautnes augšējās daļas (L_2).

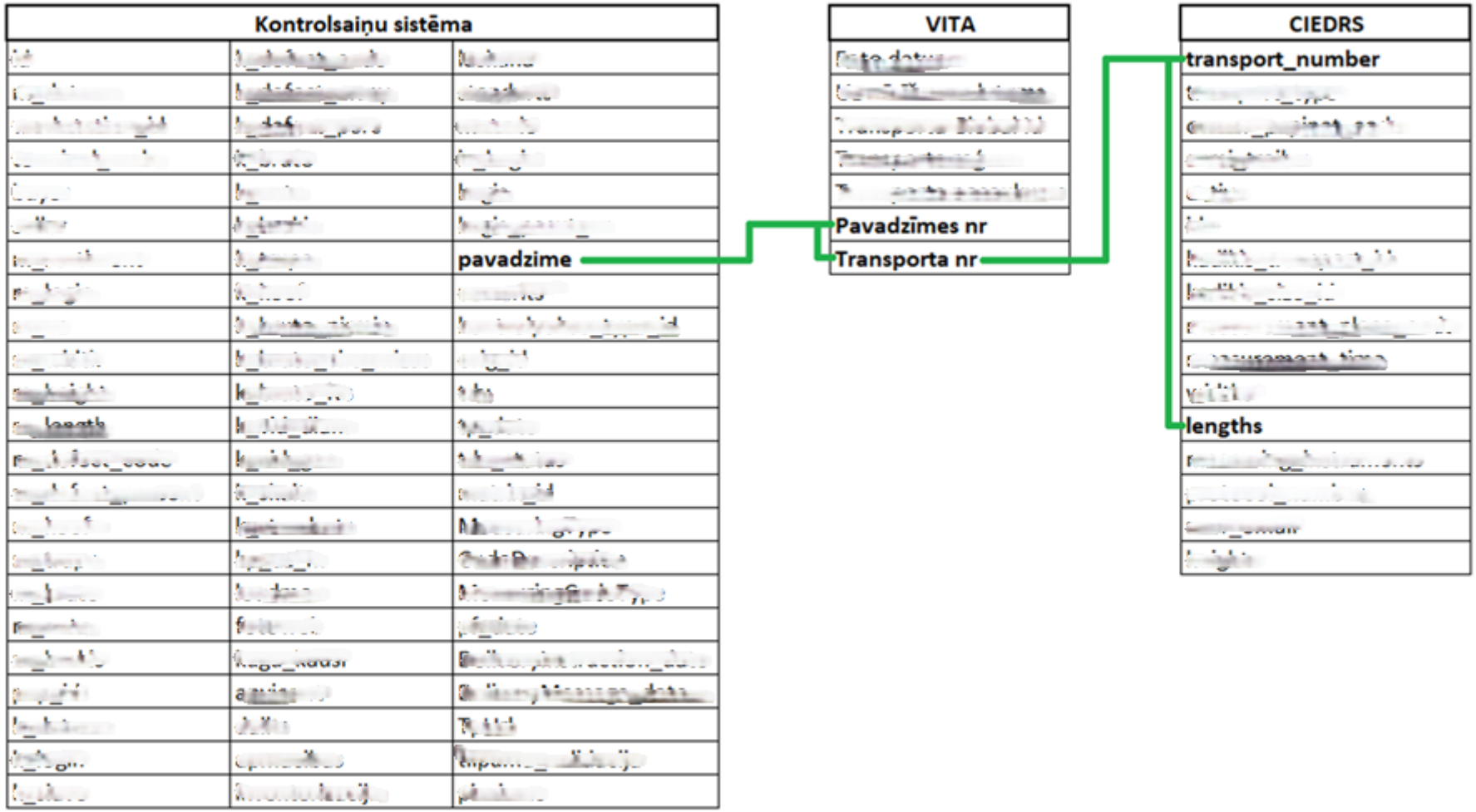
3. Datu bāžu strukturēšana un savienojamība

Veicot kokmateriālu krautņu garuma izpēti tiek izvērtēta arī 3 datu bāžu (Kontrolsaiņu sistēma, VITA, CIEDRS) savienojamība, lai būtu iespējams pilnībā izvērtēt krautnes garuma ietekmējošos faktorus un sagatavot matemātiskās funkcijas automātiskai krautnes garuma noteikšanai divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame.

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 Pircēju saskaņotā laikā darba vietā ierodas VMF LATVIA kontrolmērnieki un uzmēra kontrolsaini atbilstoši instrukcijai VMF MI 04.02 (Grupveida uzmērīšanas kontrole). Pēc kontrolsaiņa uzmērīšanas dati tiek apkopoti VMF LATVIA informācijas sistēmā Kontrolaiņu salīdzinājums.

CIEDRS ir centrālā datu uzskaites sistēma visiem izejas datiem, no kuriem tālāk tiek veidoti aprēķini, lai izveidotu Testēšanas pārskatus. Sistēma sastāv no datu bāzes un dažādiem mikroservisiem, kas nodrošina komunikāciju ar dažādām datu ieguves sistēmām.

Lai savstarpēji būtu iespējams sasaistīt Kontrolsaiņu sistēmas datu bāzi ar centrālās datu uzskaites sistēmu CIEDRS tiek izmantota biznesa datu informācijas sistēma VITA, kas ietver transporta reģistra datus (skat. 9. att.).

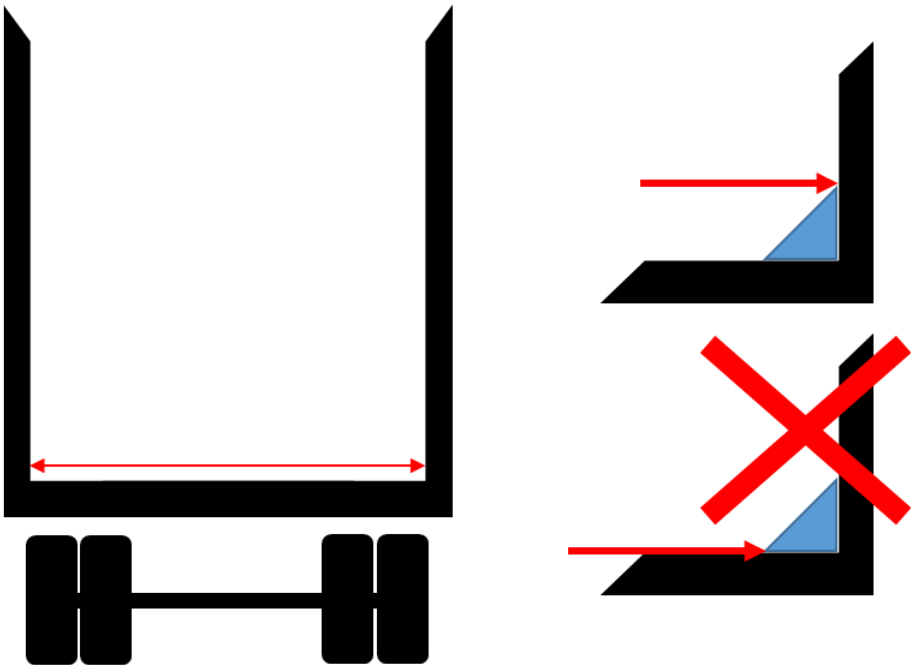


9. att. Izvēlēto datu bāžu (Kontrolsaiņu sistēma, VITA, CIEDRS) savienojamība (rediģēts).

Veicot kokmateriālu krautņu garuma izpēti un nosakot ietekmējošos faktorus ir iespējams savstarpēji savienot izvēlētās datu bāzes, piemēram, pēc pavadzīmes numura Kontrolsaiņu sistēmā ir iespējams iegūt transporta reģistrācijas numuru datu bāzē VITA un pēc tā no centrālās datu uzskaites sistēmas CIEDRS iespējams iegūtu attālumu starp kravas balstiem virs to pamatnes, kas izmantots kokmateriālu krautņu garuma novērtēšanai.

Izpētes laikā veikta arī datu validācija izmantojot informācijas sistēmu KADIĶIS, lai pārbaudītu sistēmā ievadīto datu pareizību. Informācijas sistēma KADIĶIS ir paredzēta ienākošo un izejošo kokmateriālu tilpumu reģistrēšanai un saglabāšanai. Informācijas sistēmā izvērtēti kontrolsaiņiem reģistrētie attālumi starp kravas balstiem virs to pamatnēm katram transportlīdzekļu sastāvam laika periodā no 2022. gada 8. decembra līdz 2025. gada 6. maijam – kopumā 6861 kontrolsaiņu dati, kas izmantoti arī tālākai vērtēšanai un analīzei.

Attālumus starp kravas balstiem pie to pamatnēm uzmēra atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.25 (Kokvedēja attāluma starp statņu uzmērīšana). Instrukcijā norādīts ka uzmērījumu obligāti veic visiem jauniem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem. Attālumu uzmēra katram kravas balstu pārim un datus reģistrēt piesaistot saiņa (krautnes) numuru – parasti uz transportlīdzekļa sastāva ir 4 saiņi (pirmie 2 uz kravas automašīnas un nākamie 2 uz piekabes), bet iespējamas arī cits saiņu skaits. Attālumu uzmēra virs kravas balstu horizontālās pamatnes, neiekļaujot "trīsstūri" vai jeb kādas cita formas stiprinājumus (skat. 10. att.).



10. att. Attāluma uzmērīšana starp kravas balstiem virs to pamatnes

Visiem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem attālumus starp kravas balstiem pārmēra vismaz 1 reizi mēnesī. Uzmērījuma dati tiek reģistrēti un uzturēti informācijas sistēmā KADIĶIS.

Informācijas sistēmā KADIĶIS ievadītos un reģistrētos uzmērījuma datus var atšifrēt pēc transportlīdzekļa vai transportlīdzekļa sastāva reģistrācijas numuriem un saiņa numura (skat. 11. att.).

11. att. Informācijas sistēmā KADIĶIS reģistrētais attālumus starp kravas balstiem transportlīdzekļu sastāvam (#1 un #2 – kravas automobilis, #3 un #4 – piekabe).

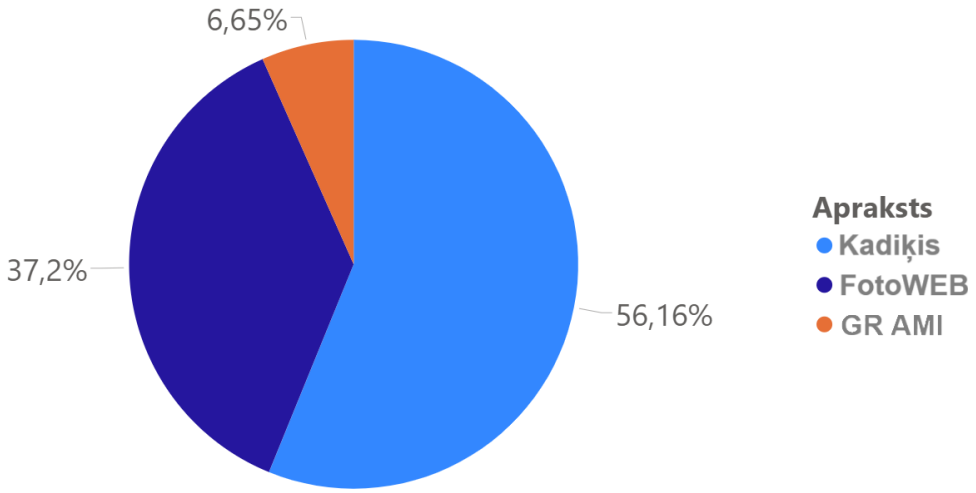
Informācijas sistēmā KADIĶIS par pamatu transportlīdzekļu sastāva reģistrēšanai tiek izmantots kravas automašīnas reģistrācijas numurs. Vairumam autotransporta uzņēmumu pieder vairāki kravas automobiļi un piekabes, kuri savstarpēji tiek kombinēti. Šī iemesla dēļ ieteicams atsevišķi reģistrēt kravas automobiļus un piekabes, balstoties uz to reģistrācijas numuru.

Vadošie kokvedēju virsbūvju ražošanas uzņēmumi piedāvā tehnoloģisko aprīkojumu ar salīdzinoši plašu izmēru svārstību amplitūdu un dažādiem kravas balstu konstruktīviem risinājumiem. Lai nodrošinātu labāku datu izsekojamību un ievērtētu to mainību, reģistrējot transportlīdzekļa kravas balstu attālumu, būtu jānorāda arī tehnoloģiskā aprīkojuma (kravas balstu) ražotājs.

4. Matemātiskās funkcijas kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanai

Šīs aktivitātes ietvaros tiek sagatavoti krautnes garuma novērtēšanas algoritmi, lai varētu automatizēt kokmateriālu krautnes garuma noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame.

Datu apstrādē un izvērtēšanā tika izmantoti 6861 kontrolsaiņu dati, kas reģistrēti laika periodā no 2022. gada 8. decembra līdz 2025. gada 6. maijam. No izvērtētiem datiem matemātikā modeļa sagatavošanai tika izmantoti dati no sistēmas KADIĶIS (skat. 12. att.), jo šeit vidējo kokmateriāla krautnes garumu iegūst no diviem kravas balstu attāluma uzmērījumiem – virs kravas balstu pamatnes un pie saiņa augšējās daļas. Līdz ar to matemātisko modeļu sagatavošanai tika izmantoti 56,2 % no sākotnēji izvērtētiem kontrolsaiņu datiem – 3853 gab.

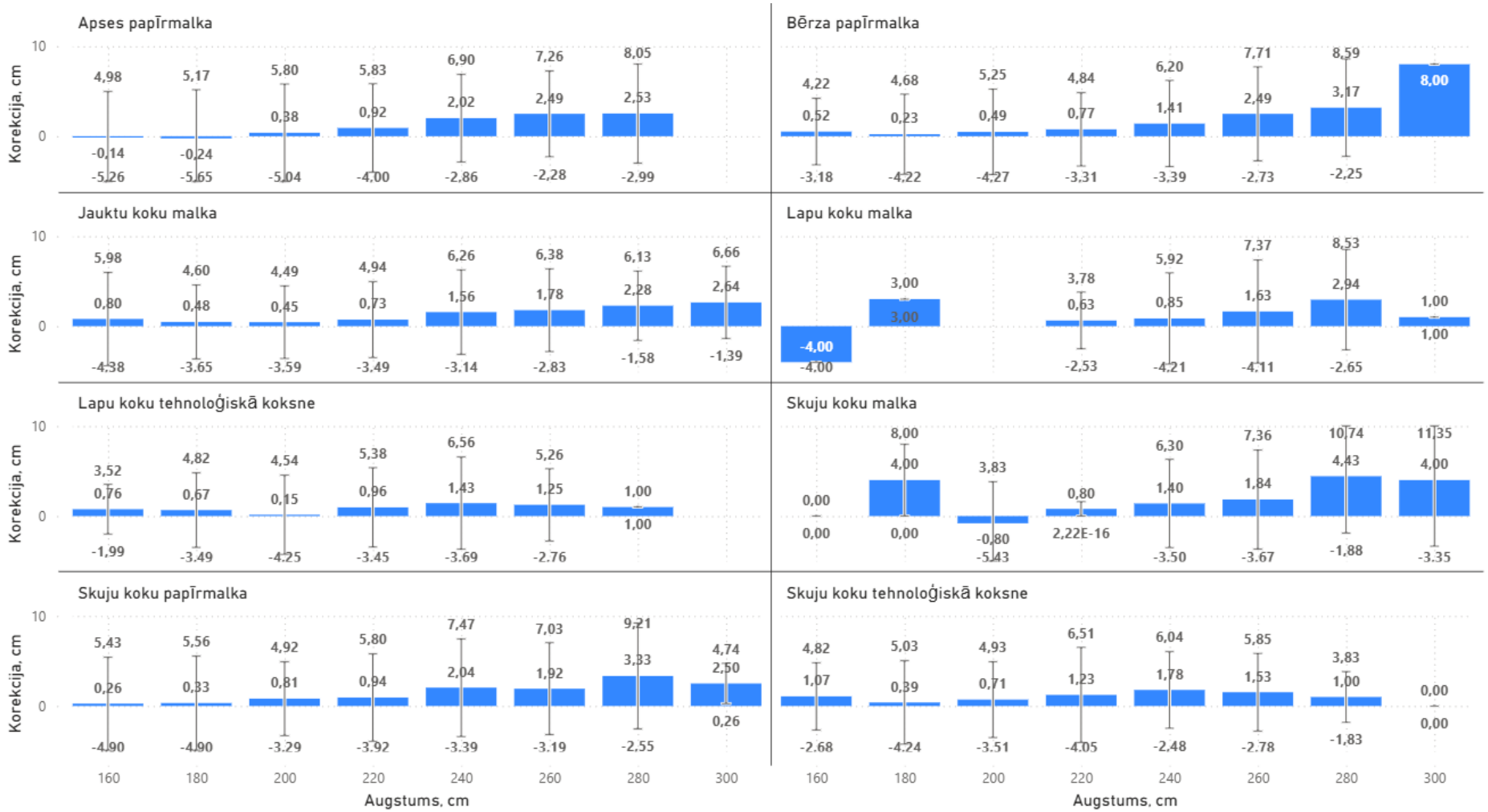


12. att. Apstrādāto un izvērtēto kontrolsaiņu apraksts.

Lai varētu automatizēt kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanu vispirms visiem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem jābūt reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes. Bet šo reģistrēto attālumu starp kravas balstiem uzreiz nevar pieņemt kā kokmateriāla saiņa garumu, jo vēl jāievērtē arī kravas balstu izplešanās iespējamība. Šajā gadījumā kā ietekmējošais faktors tiek izmantots krautnes augstums, jo palielinoties krautnes augstumam palielinās arī krautnes garums. Šo radušos starpību starp krautnes garumu un kravas balstu attālumu var izteikt kā garuma korekciju (skat. 13. att.).

Izvērtējot kokmateriālu krautnes garuma korekciju plašāk grupveidā uzmērāmiem sortimentiem (apses papīrmalka, bērza papīrmalka, jauktu koku malka, lapu koku malka, lapu koku tehnoloģiskā koksne, skuju koku malka, skuju koku papīrmalka un skuju koku tehnoloģiskā koksne) var novērot tendenci, ka palielinoties krautnes augstumam palielinās arī kokmateriālu krautnes garuma korekcija, kas būtu jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes.

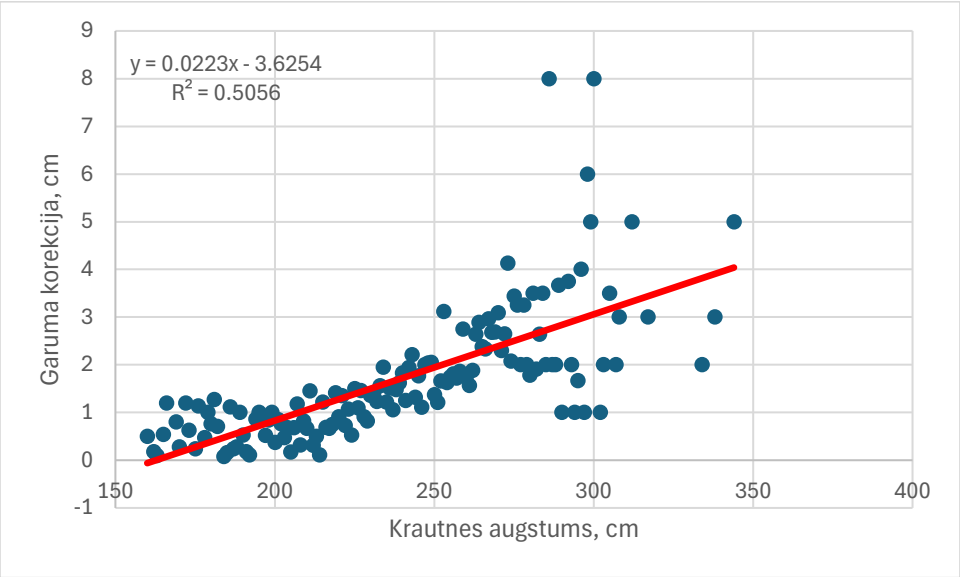
Tai pat laikā izvērtējot 95 % datu izkliedi (±2 standartnovirzes) novērojama salīdzinoši plaša datu izkliede kokmateriālu krautņu garuma korekcijai – no -5 līdz 11 cm. To sekmē dažādi kravas balstu konstruktīvie risinājumi, kas izstrādāti lai nodrošinātu lielāku kravas ietilpību ievērtējot gabarīta ierobežojumus platumam – 2,60 m. Negatīvās vērtības parasti veidojas situācijās, kad kokmateriālu krautņu garums uzmērīts uz konstruktīvā risinājuma, kurā kravas balsti pie pamatnes stiprinās 88 – 89° leņķī. Šobrīd transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem tehnoloģiskā aprīkojuma kravas balstu stiprinājuma leņķis netiek uzmērīts un reģistrēts.



13. att. Kokmateriālu saiņu garuma korekcijas izmaiņas atkarībā no saiņa augstuma par pamatu izmantojot attālumu starp kravas balstiem virs to pamatnes (±2 standartnovirzes).

Kokmateriālu krautņu garuma korekcija var tikt aprakstīta, izmantojot matemātiskas funkcijas modeli. Viena no vienkāršākajām funkcijām matemātikā ir lineārā funkcija, kas apraksta taisnu līniju koordinātu plaknē. Šis lineārās funkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kokmateriālu krautņu garuma korekciju atkarībā no krautņu augstuma.

Kokmateriālu krautnes garuma korekciju, kas būtu jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem un tās izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma, iespējams raksturot ar lineāru funkciju (skat. 14. att.).

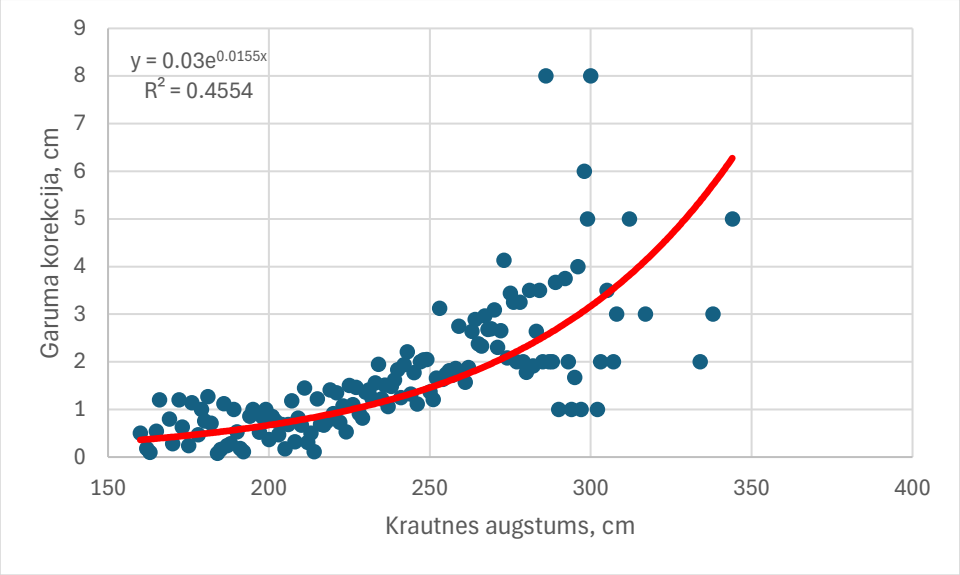


14. att. Kokmateriālu krautnes garuma korekcija atkarībā no krautnes augstuma pēc lineāras funkcijas.

Pēc šīs tendences var spriest ka kokmateriālu krautnes garuma korekcija pakāpeniski palielinās palielinoties krautnes augstumam. Pie šīs tendences jāņem vērā, ka krautņu augstumiem līdz 162 cm būs negatīva krautnes garuma korekcija.

Determinācijas koeficients, kas tiek apzīmēts kā R^2 ir statistisks rādītājs, kas raksturo cik labi izmantotā lineārā funkcija atbilst faktiskajiem datiem. Tas norāda, cik liela daļa datu variabilitātes tiek skaidrota ar izmantoto funkciju. Šajā gadījumā determinācijas koeficienta vērtība 0,5056 norāda uz to, ka 51% gadījumu kokmateriālu krautnes garuma korekciju iespējams izskaidrot ar krautnes augstumu izmaiņām. Atlikušos 49% būtu iespējams izskaidrot ar citiem fona faktoriem, kas sekmē kokmateriālu krautnes garuma korekcijas izmaiņas.

Vēl kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma var aprakstīt ar eksponentfunkciju. Eksponentfunkcija ir matemātiska funkcija, kurā mainīgais atrodas kāpinātāja vietā. Izmantojot eksponentfunkcija jāņem vērā ka tā vienmēr ir pozitīva un nekad nesasniedz 0, bet tai tuvojas. Šis eksponentfunkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma (skat. 15. att.).



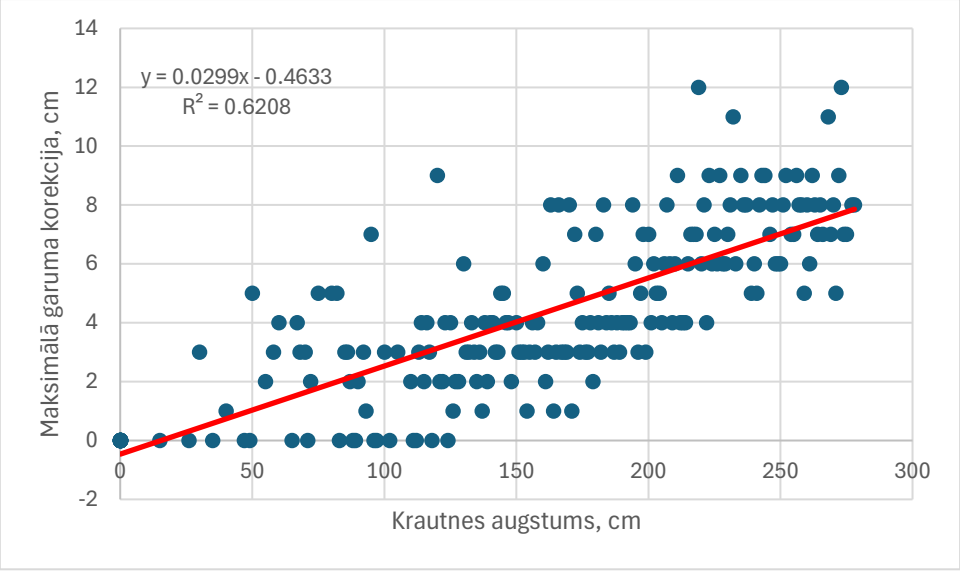
15. att. Kokmateriālu krautnes garuma korekcija atkarībā no krautnes augstuma pēc eksponentfunkcijas.

Pēc eksponentfunkcijas tendences var spriest, ka kokmateriālu krautnes garuma korekcija palielinās straujāk palielinoties krautnes augstumam. Pie šīs tendences jāņem vērā, ka palielinoties krautnes augstumiem funkcijas vērtība (kokmateriālu krautnes garuma korekcija) pieaugs straujāk nekā lineārai funkcijai.

Šajā gadījumā determinācijas koeficienta vērtība 0,4554 norāda uz to, ka 46 % gadījumu kokmateriālu krautnes garuma korekcija iespējams izskaidrot ar krautnes augstumu izmaiņām. Atlikušos 54% būtu iespējams izskaidrot ar citiem fona faktoriem, kas sekmē kokmateriālu krautnes garuma korekcijas izmaiņas.

Lai raksturotu kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma var izmantot lineāro funkciju vai eksponentfunkciju, bet izvērtējot plašo datu izkliedi būtu jānodefinē arī maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas.

Maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju, ko var pieskaitīt pie iepriekš reģistrēta attāluma starp kravas balstiem un tās izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma arī iespējams raksturot ar lineāru funkciju (skat. 16. att.).

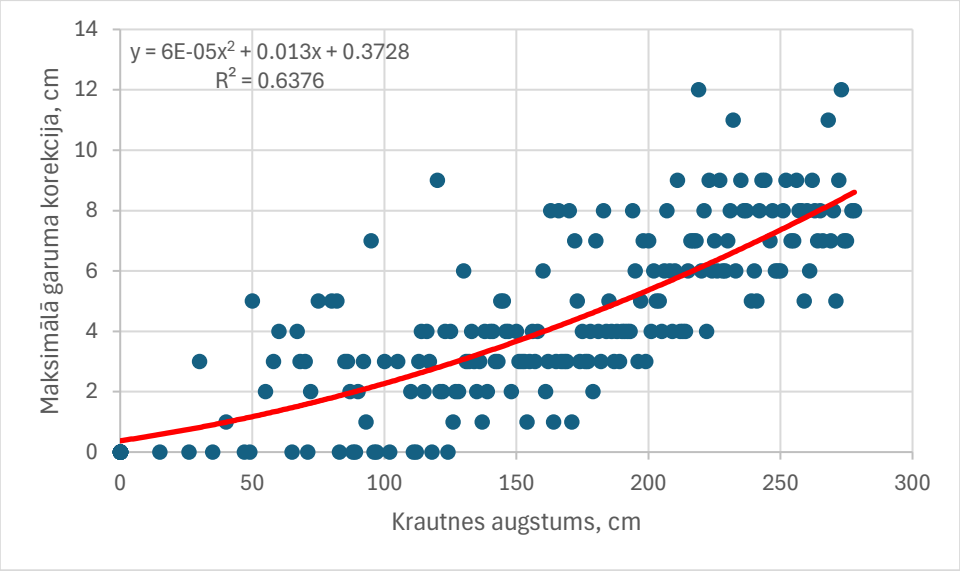


16. att. Maksimālā kokmateriālu krautnes garuma korekcija atkarībā no krautnes augstuma pēc lineāras funkcijas.

Pēc šīs tendences var spriest ka maksimāli pieļaujamā kokmateriālu krautnes garuma korekcija pakāpeniski palielinās palielinoties krautnes augstumam. Vienīgi šeit jāņem vērā, ka krautņu augstumiem līdz 15 cm būs negatīva maksimāli pieļaujamā krautnes garuma korekcija.

Determinācijas koeficienta vērtība 0,6208 norāda uz to, ka 62 % gadījumu maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju iespējams izskaidrot ar krautnes augstumu izmaiņām. Atlikušos 38% būtu iespējams izskaidrot ar citiem fona faktoriem.

Vēl maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju var aprakstīt ar 2. pakāpes polinoma funkciju (skat. 17. att.). Polinomu funkcija ir matemātiska funkcija, kurā mainīgais x tiek kāpināts ar veseliem skaitļiem un katram kāpinājumam ir savs koeficients. Šis polinomu funkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma .



17. att. Maksimālā kokmateriālu krautnes garuma korekcija atkarībā no krautnes augstuma pēc 2. pakāpes polinoma funkcijas.

Pēc šīs tendences var spriest ka maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas līkne ir ieliekta un pakāpeniski palielinās palielinoties krautnes augstumam.

Determinācijas koeficienta vērtība 0,6376 norāda uz to, ka 64% gadījumu maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju iespējams izskaidrot ar krautnes augstumu izmaiņām. Atlikušos 36% būtu iespējams izskaidrot ar citiem fona faktoriem.

Ir jāņem vērā, ka šie ir tikai daži no daudziem funkciju modeļiem, ko var izmantot, lai aprakstītu kokmateriālu krautnes garuma korekcijas izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma, un faktiskais funkcijas modelis var atšķirties atkarībā no konkrētā transportlīdzekļa tehnoloģiskā aprīkojuma gabarītiem un kravas balstu konstruktīviem risinājumiem. Lai iegūtu precīzākus rezultātus, būtu nepieciešams veikt detalizētu izpēti un analīzi vadošo kokvedēju virsbūvju ražotāju piedāvātiem tehnoloģiskiem aprīkojumiem ar dažādiem kravas balstu stiprinājuma risinājumiem.

5. Matemātisko funkciju aprobēšana

Apaļo kokmateriālu kraujmēra noteikšanā nepieciešams vidējais krautnes garums, kas tiek iegūts no diviem kravas balstu attāluma uzmērījumiem – virs pamatnes un pie saiņa augšējās daļas. Lai automatizēt kokmateriālu krautnes garuma noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame ir sagatavotas matemātiskās funkcijas ar kuru palīdzību iespējams iegūt vidējo krautnes garumu pēc iepriekš veiktiem kravas balstu attāluma uzmērījumiem virs pamatnes un krautnes garuma korekcijas. Tālākajā izvērtēšanā nepieciešams novērtēt piemērotāko matemātisko funkciju krautnes garuma korekcijas prognozēšanai.

Matemātisko funkciju aprobēšana veic, lai izvērtētu matemātisko funkciju piemērotību un precizitāti kokmateriālu krautnes garuma korekcijas prognozēšanai. Šajā procesā iepriekš sagatavotās matemātiskās funkcijas tiek pārbaudītas kā atsauci izmantojot kontrolsainu datus, kas iegūti atbilstoši instrukcijai VMF MI 04.02 (Grupveida uzmērīšanas kontrole), lai nodrošinātu, ka funkcija korekti atspoguļo nepieciešamās krautnes garuma korekcijas.

Matemātisko funkciju aprobēšana ietver datu bāzes sagatavošanu, simulācijas veikšanu, rezultātu salīdzināšanu, parametru kalibrēšanu, validāciju un verificēšanu.

Datu bāzes sagatavošana ietver nepieciešamo novērojumu savākšanu un strukturēšanu, kurus pēc tam izmanto matemātisko funkciju izvērtēšanai. Matemātisko funkciju izvērtēšanā tika izmantoti 5529 kontrolsaiņu dati, kas reģistrēti laika periodā no 2022. gada 8. decembra līdz 2025. gada 6. maijam.

Simulācijas veikšana ietver iepriekš sagatavoto matemātisko funkciju palaišanu uz datiem ar dažādiem sākotnējiem nosacījumiem un parametriem (kravas balstu attālums, krautnes augstums, sortiments).

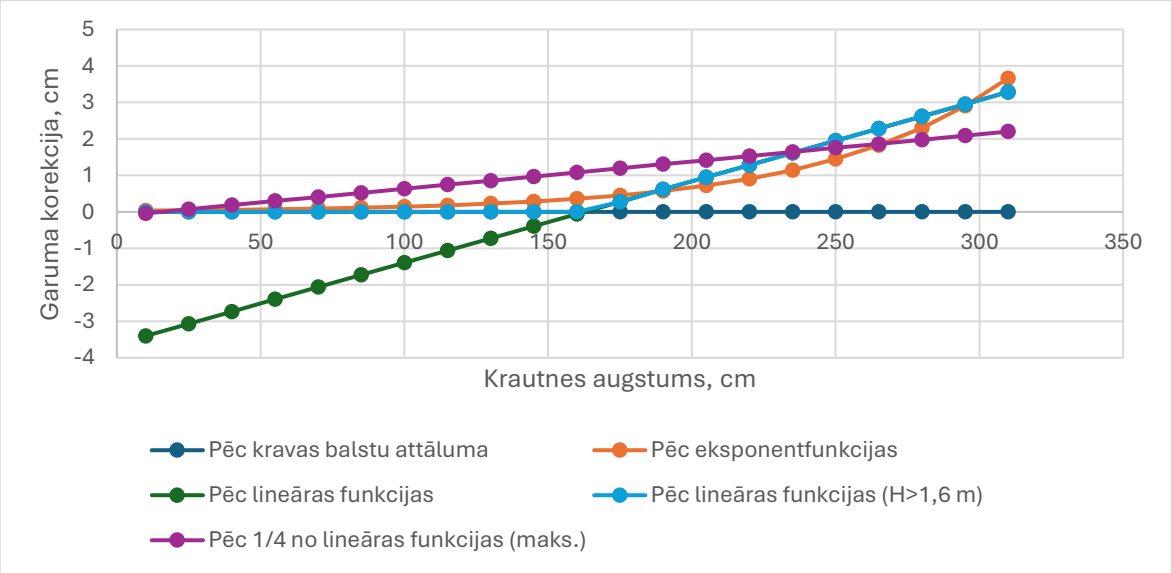
Rezultātu salīdzināšana ietver matemātisko funkciju iznākumu analīzi un salīdzināšanu ar reālajiem datiem. Lai novērtētu krautnes garuma korekcijas prognozēšanai sagatavotās matemātiskās funkcijas tiek izmantota apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, kas radusies dēļ krautnes garuma korekcijas.

Parametru kalibrēšana ietver matemātisko funkciju parametru pielāgošana, lai uzlabotu sakritību ar reālajiem datiem. Šajā gadījumā tas ietver iepriekš sagatavoto matemātisko

funkciju pielāgošanu un pārveidošanu, lai iegūtu mazākas tilpuma novirzes, kas radušās dēļ krautnes garuma korekcijas.

Validācija un verificēšana ir pārliecināšanās, ka izvēlētā matemātiskā funkcija spēj prognozēt ne tikai funkcijas sagatavošanā izmantotos datus, bet arī citus. Jāpārliecinās, ka vidējais krautnes garums, kuru iegūst no iepriekš reģistrēta attāluma starp kravas balstiem virs to pamatnes un kokmateriālu krautnes garuma korekcijas summas ir atbilstošs faktiski uzmērītam vidējam kokmateriāla krautnes garumam no diviem kravas balstu attāluma uzmērījumiem – virs kravas balstu pamatnes un pie krautnes augšējās daļas.

Visiem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem ir reģistrēti attālumi starp kravas balstiem virs to pamatnes, bet šo reģistrēto attālumu starp kravas balstiem uzreiz nevar pieņemt kā kokmateriāla krautnes garumu, jo vēl jāievērtē arī kravas balstu izplešanās iespējamība. Šajā gadījumā kā ietekmējošais faktors, kurš tiek reģistrēts veicot krautnes uzmērīšanu ir augstums. Palielinoties krautnes augstumam palielinās arī krautnes garums un šo radušos starpību starp krautnes garumu un kravas balstu attālumu izsaka kā garuma korekciju. Veicot matemātisko funkciju aprobēšanu, izvērtēti pieci iespējamie risinājumi garuma korekcijas novērtēšanai (skat. 18. att.). Tāpat izvērtēta vidējā krautnes garumu noteikšana atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.17.01 (Attālums starp statņiem).



18. att. Krautnes garuma korekcijas atkarībā no krautnes augstuma pēc dažādām matemātiskām funkcijām un kravas balstu attāluma.

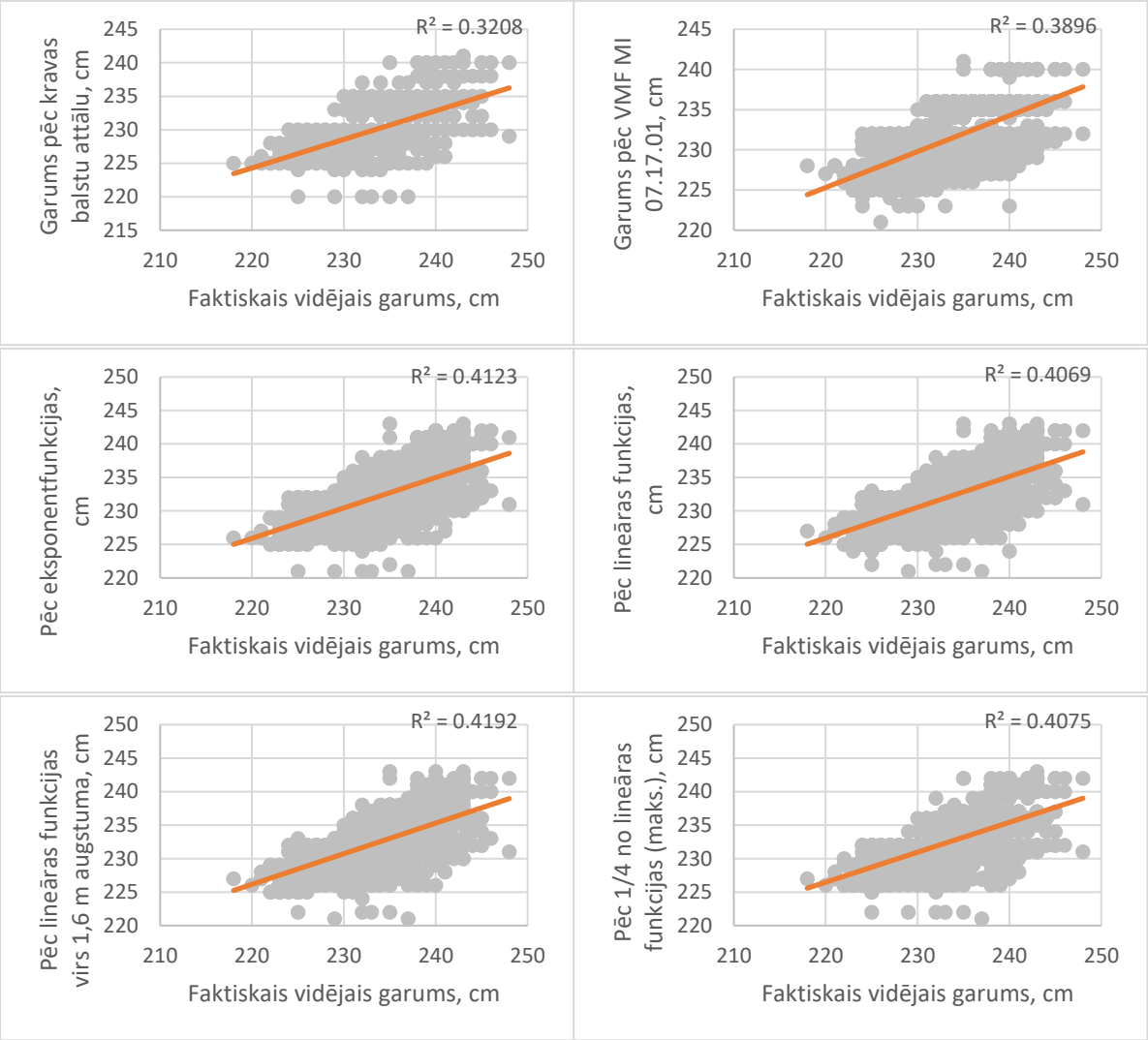
Viens no risinājumiem ir neizmantot krautnes garuma korekciju un par vidējo krautnes garumu izmantot iepriekš uzmērīto attālumu starp kravas balstiem. Šāds risinājums izvēlēts, lai novērtētu iespējamo apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirzi, neievērtējot kravas balstu izplešanās iespējamību.

Izvērtējot sagatavoto lineāro funkciju tiek veikta parametru pielāgošana, jo saiņu augstumiem līdz 162 cm būs negatīva krautnes garuma korekcija. Šī iemesla dēļ izvērtētas 2 lineārās funkcijas varietātes – vienā gadījumā tiek ņemtas vērā funkcijas negatīvās vērtības (bez korekcijas), bet otrā gadījumā izmanto tikai pozitīvās krautnes garuma korekcijas, kuras iespējams iegūt saiņu augstumiem virs 1,6 m.

Vēl parametru pielāgošana tiek veikta lineārai funkcijai ar kuru sākotnēji bija plānots novērtēt maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas. Šajā gadījumā ¼ no

funkcijas aprēķinātās vērtības iespējams izmantot arī krautnes garuma korekcijas noteikšanai un vidējā krautnes garuma raksturošanai.

Rezultātu izvērtēšanā ietverta matemātisko funkciju iznākuma salīdzināšana ar reālajiem datiem par pamatu izmantojot uzmērītos vidējos krautnes garumus. Ievērtējot dažādu matemātisko funkciju un to varietāšu rezultātus kokmateriāla krautnes garuma korekcijai, izvērtēta prognozētā krautnes garuma sakritība ar reāli uzmērītiem vidējiem krautnes garumiem (skat. 19. att.).



19. att. Faktiskā un modelētā krautnes garuma sakritība.

Kokmateriālu saiņu garuma sakritības izvērtēšanai izmanto determinācijas koeficientu, kas tiek apzīmēts kā R^2. Tas norāda, cik liela daļa datu variabilitātes iespējams izskaidrot ar izmantoto funkciju vai pieeju.

Zemākā vidējā krautnes garuma sakritība ir situācijā, kad salīdzina faktiski uzmērītos krautnes garumus ar kravas balstu attālumu – determinācijas koeficienta vērtība 0,3208 norāda uz to, ka 32% gadījumu kravas balstu attālums sakrīt ar faktiski uzmērītiem krautnes garumiem.

Izmantojot dažādus matemātisko funkciju modeļus vidējā krautnes garuma novērtēšanā sakritība svārstās robežās no 39 % (VMF MI 07.17.01) līdz 42 % (pēc lineāras funkcijas virs

1,6 m augstuma). Tas norāda, ka 61 – 58 % gadījumu vidējo krautnes garumu ietekmē citi fona faktori, kas nav ievērtēti pie ietekmējošiem faktoriem.

Tālākajā rezultātu izvērtēšanā ietverta matemātisko funkciju iznākuma analīze pēc salīdzināšanas ar reālajiem datiem par pamatu izmantojot apaļo kokmateriālu tilpuma novirzi.

Neievērtējot kravas balstu izplešanās iespējamību uz kokvedēja iekrautu sortimentu tilpuma novērtēšanā ir novērojama tendence uzmērīt mazāku apaļo kokmateriālu tilpumu (skat. 1. tab.).

1. tabula

Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, izmantojot attālumu starp kravas balstiem vidējā krautnes garuma noteikšanai

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-52,939	-0,76	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-53,126	-0,84	1,5
Jauktu koku malka	581	4977,266	-35,447	-0,71	1,4
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	-28,805	-0,61	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	-8,417	-0,23	0,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	-12,664	-0,49	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-26,344	-1	2,1
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	-5,565	-0,26	0,8
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	-4,43	-0,25	0,8
Lapu koku malka	137	1143,775	-11,439	-1	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	-2,754	-0,29	0,9
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	-4,065	-0,35	0,8
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	-5,746	-0,53	0,8
Egles mieti	108	1079,187	-8,373	-0,78	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	-2,764	-0,33	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-11,049	-1,19	1,8
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-3,215	-0,72	1,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	-1,107	-0,29	1,3
Melnalkšņa malka	46	397,622	-2,976	-0,75	1,3
Apses malka	40	377,323	-3,409	-0,9	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-3,223	-0,69	1,1
Egles papīrmalka	35	313,155	-4,2	-1,34	1,7
Bērza malka	31	235,481	-1,334	-0,57	1
Priedes mieti	28	322,795	-4,112	-1,27	1,5
Cits sortiments	28	224,9	-1,663	-0,74	1
Kopā	**5529**	**46211,037**	**-299,167**	**-0,65**	**1,4**

Pieņemot, ka vidējais krautnes garums tiek noteikts pēc attāluma starp kravas balstiem virs to pamatnes atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no -0,23 % (skuju koku taras kluči) līdz -1,34 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze, neievērtējot kravas balstu izplešanās iespējamību ir -0,65 % (standartnovirze – 1,4 %).

Vidējo krautnes garumu var noteikt arī atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.17.01 (Attālums starp statņiem). Instrukcijā norādīts ka atbilstoši krautnes augstumam jāizvēlas atbilstošs vidējais krautnes garums, izmantojot lineāros vienādojumus. Diagrammas un vienādojumi sadalīti pa 4 attālumiem starp kravu balstiem - 225, 230, 235 un 240 cm.

Novērtējot vidējo krautnes garumu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.17.01 arī ir novērojama tendence uzmērīt mazāku apaļo kokmateriālu tilpumu (skat. 2. tab.).

2. tabula

Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, veicot vidējā krautnes garuma novērtēšanu atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.17.01

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-37,281	-0,54	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-34,337	-0,54	1,4
Jauktu koku malka	581	4977,266	-20,378	-0,41	1,4
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	-21,309	-0,45	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	-4,118	-0,11	1
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	-11,292	-0,43	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-18,98	-0,72	2,1
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	-4,107	-0,19	0,9
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	-1,805	-0,1	0,9
Lapu koku malka	137	1143,775	-5,113	-0,45	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	-1,797	-0,19	1
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	-2,536	-0,22	0,9
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	-5,154	-0,48	1,1
Egles mieti	108	1079,187	-5,749	-0,53	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	-1,327	-0,16	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-6,728	-0,73	1,8
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-2,516	-0,56	1,2
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	-0,122	-0,03	1,4
Melnalkšņa malka	46	397,622	-0,852	-0,21	1,3
Apses malka	40	377,323	-1,329	-0,35	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-2,103	-0,45	1
Egles papīrmalka	35	313,155	-2,635	-0,84	1,5
Bērza malka	31	235,481	-0,44	-0,19	1
Priedes mieti	28	322,795	-2,548	-0,79	1,5
Cits sortiments	28	224,9	-0,878	-0,39	1,2
Kopā	**5529**	**46211,037**	**-195,435**	**-0,42**	**1,4**

Pieņemot, ka vidējais krautnes garums tiek noteikts atbilstoši instrukcijai VMF MI 07.17.01 atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no -0,03 % (melnalkšņa papīrmalka) līdz -0,84 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,42 % (standartnovirze – 1,4 %).

Kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma var aprakstīt ar eksponentfunkciju. Iegūtā krautnes garuma korekcija jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem un tiek iegūts vidējais krautnes garums, kuru iespējams izmantot apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanā.

Novērtējot vidējo krautnes garumu, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc eksponentfunkcijas, vairumā gadījumu novērojama tendence uzmērīt mazāku apaļo kokmateriālu tilpumu (skat. 3. tab.).

3. tabula

Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc eksponentfunkcijas

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-20,183	-0,29	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-21,016	-0,33	1,5
Jauktu koku malka	581	4977,266	-10,023	-0,2	1,3
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	-11,082	-0,24	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	4,62	0,12	0,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	-3,692	-0,14	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-13,231	-0,5	2,1
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	1,502	0,07	0,8
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	2,133	0,12	0,8
Lapu koku malka	137	1143,775	-4,119	-0,36	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	0,335	0,04	0,9
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	0,144	0,01	0,8
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	-1,396	-0,13	0,8
Egles mieti	108	1079,187	-3,537	-0,33	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	0,177	0,02	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-4,978	-0,54	1,7
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-1,531	-0,34	1,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	0,728	0,19	1,3
Melnalkšņa malka	46	397,622	-0,177	-0,04	1,3
Apses malka	40	377,323	-0,856	-0,23	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-1,019	-0,22	1
Egles papīrmalka	35	313,155	-2,478	-0,79	1,6
Bērza malka	31	235,481	-0,02	-0,01	1
Priedes mieti	28	322,795	-2,532	-0,78	1,4
Cits sortiments	28	224,9	-0,654	-0,29	1
Kopā	**5529**	**46211,037**	**-92,884**	**-0,2**	**1,3**

Ņemot vērā, ka vidējā krautnes garuma noteikšanā ievērtēta krautnes garuma korekcija pēc eksponentfunkcijas, atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no 0,19 % (melnalkšņa papīrmalka) līdz -0,79 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,2 % (standartnovirze – 1,3 %).

Kokmateriālu krautnes garuma korekciju, kas būtu jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem un tās izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma, iespējams raksturot ar lineāru funkciju.

Novērtējot vidējo krautnes garumu, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc lineāras funkcijas, apaļo kokmateriālu tilpuma novirzes raksturotas 4. tabulā.

4. tabula

Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc lineāras funkcijas

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-11,828	-0,17	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-13,816	-0,22	1,5
Jauktu koku malka	581	4977,266	-3,785	-0,08	1,4
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	-7,495	-0,16	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	6,999	0,19	0,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	-1,98	-0,08	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-10,359	-0,39	2
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	2,289	0,11	0,8
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	3,268	0,18	0,9
Lapu koku malka	137	1143,775	-2,236	-0,2	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	0,664	0,07	0,9
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	1,066	0,09	0,8
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	-0,748	-0,07	0,9
Egles mieti	108	1079,187	-2,106	-0,2	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	0,736	0,09	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-3,495	-0,38	1,8
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-1,166	-0,26	1,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	1,232	0,33	1,3
Melnalkšņa malka	46	397,622	0,47	0,12	1,3
Apses malka	40	377,323	-0,278	-0,07	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-0,522	-0,11	1
Egles papīrmalka	35	313,155	-2,04	-0,65	1,6
Bērza malka	31	235,481	0,229	0,1	1,1
Priedes mieti	28	322,795	-1,99	-0,62	1,4
Cits sortiments	28	224,9	-0,471	-0,21	1,2
Kopā	**5529**	**46211,037**	**47,361**	**-0,1**	**1,3**

Ņemot vērā, ka vidējā krautnes garuma noteikšanā ievērtēta krautnes garuma korekcija pēc lineāras funkcijas, atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no 0,33 % (melnalkšņa papīrmalka) līdz -0,65 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,1 % (standartnovirze – 1,3 %).

Izvērtējot sagatavoto lineāro funkciju tiek izvērtētas 2 lineārās funkcijas varietātes – vienā gadījumā tiek ņemtas vērā funkcijas negatīvās vērtības (iepriekš apskatītā), bet otrā gadījumā izmanto tikai pozitīvās krautnes garuma korekcijas, kuras iespējams iegūt no krautnes augstumiem virs 1,6 m.

Novērtējot vidējo krautnes garumu, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc lineāras funkcijas 2. varietātes, apaļo kokmateriālu tilpuma novirzes raksturotas 5. tabulā.

5. tabula

Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc lineāras funkcijas 2. varietātes

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-10,859	-0,16	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-12,834	-0,2	1,5
Jauktu koku malka	581	4977,266	-3,338	-0,07	1,3
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	-6,651	-0,14	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	7,796	0,21	0,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	-1,533	-0,06	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-9,78	-0,37	2,1
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	2,816	0,13	0,8
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	3,704	0,21	0,9
Lapu koku malka	137	1143,775	-2,077	-0,18	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	0,907	0,1	0,9
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	1,193	0,1	0,8
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	-0,376	-0,03	0,8
Egles mieti	108	1079,187	-1,968	-0,18	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	0,93	0,11	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-3,411	-0,37	1,7
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-1,106	-0,25	1,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	1,278	0,34	1,3
Melnalkšņa malka	46	397,622	0,484	0,12	1,3
Apses malka	40	377,323	-0,227	-0,06	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-0,358	-0,08	1
Egles papīrmalka	35	313,155	-1,976	-0,63	1,6
Bērza malka	31	235,481	0,325	0,14	1
Priedes mieti	28	322,795	-1,99	-0,62	1,4
Cits sortiments	28	224,9	-0,382	-0,17	1
Kopā	**5529**	**46211,037**	**39,433**	**-0,09**	**1,3**

Ņemot vērā, ka vidējā krautnes garuma noteikšanā ievērtēta krautnes garuma korekcija pēc lineāras funkcijas 2. varietātes, atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no 0,34 % (melnalkšņa papīrmalka) līdz -0,63 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,09 % (standartnovirze – 1,3 %).

Kokmateriālu krautnes garuma korekcijas raksturošanai iespējams izmantot arī lineāro funkciju (maks.), kuru sākotnēji bija plānots izmantot maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas novērtēšanai. Šajā gadījumā ¼ no funkcijas aprēķinātās vērtības iespējams izmantot arī krautnes garuma korekcijas raksturošanai.

Novērtējot vidējo krautnes garumu, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc ¼ no lineāras funkcijas (maks.), apaļo kokmateriālu tilpuma novirzes raksturotas 6. tabulā.

6. tabula

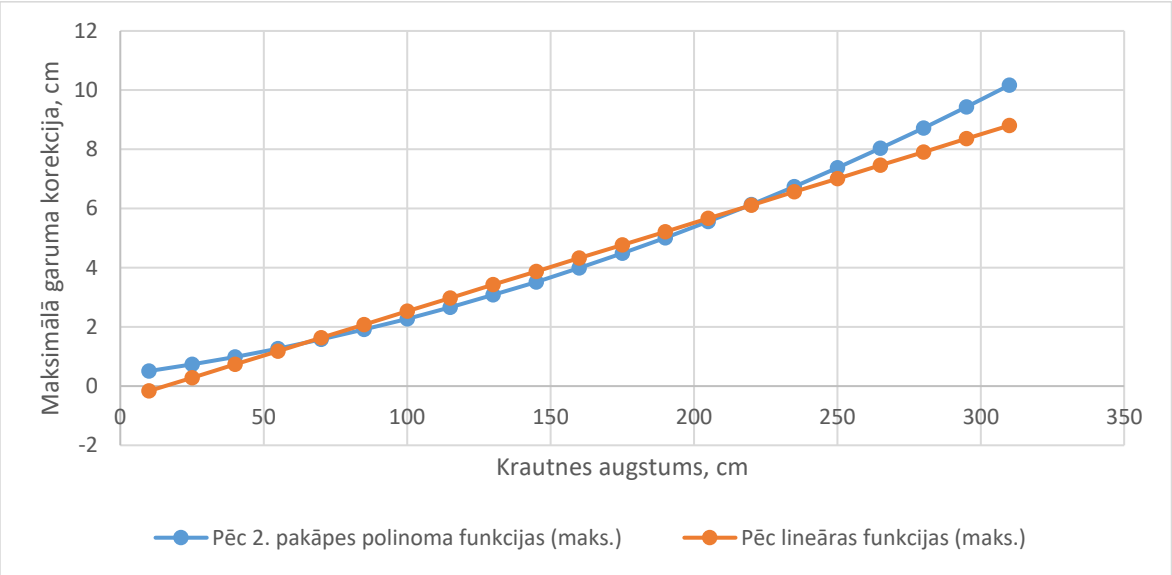
Apaļo kokmateriālu tilpuma novirze, ņemot vērā kokmateriālu krautnes garuma korekciju pēc ¼ no lineāras funkcijas (maks.)

Sortiments	Kontrolsaiņu skaits, gab.	Bruto tilpums, m^3	Tilpuma novirze, m^3	Tilpuma novirze, %	Standartnovirze, %
Bērza papīrmalka	919	6959,749	-6,27	-0,09	1,4
Skuju koku papīrmalka	735	6349,75	-9,851	-0,16	1,5
Jauktu koku malka	581	4977,266	-1,273	-0,03	1,4
Skuju koku tehnoloģiskā koksne	548	4698,94	0,493	0,01	1,3
Skuju koku taras kluči	479	3696,183	14,212	0,38	0,9
Lapu koku tehnoloģiskā koksne	332	2604,749	3,25	0,12	1,3
Apses papīrmalka	309	2646,766	-8,497	-0,32	2,1
Priedes un egles III šķiras zāģbaļķi	244	2116,132	7,063	0,33	0,8
Lapu koku taras kluči	242	1807,027	6,683	0,37	0,8
Lapu koku malka	137	1143,775	-2,965	-0,26	1,7
Bērza kamīnmalka	128	946,888	2,866	0,3	0,9
Citu skuju koku III šķiras zāģbaļķi	117	1175,648	3,201	0,27	0,8
Egles II šķiras zāģbaļķi	108	1081,443	1,023	0,09	0,8
Egles mieti	108	1079,187	-1,196	-0,11	1,1
Bērza finierkluči	103	839,079	2,379	0,28	0,9
Skuju koku malka	88	926,033	-4,166	-0,45	1,8
Lapu koku kamīnmalka	56	447,537	-0,421	-0,09	1,1
Melnalkšņa papīrmalka	47	376,178	1,469	0,39	1,3
Melnalkšņa malka	46	397,622	0,046	0,01	1,3
Apses malka	40	377,323	-0,58	-0,15	1,3
Priedes II šķiras zāģbaļķi	40	467,431	-0,12	-0,03	1
Egles papīrmalka	35	313,155	-2,013	-0,64	1,6
Bērza malka	31	235,481	0,297	0,13	1
Priedes mieti	28	322,795	-1,886	-0,58	1,5
Cits sortiments	28	224,9	-0,201	-0,09	1
Kopā	**5529**	**46211,037**	**3,542**	**-0,01**	**1,3**

Ņemot vērā, ka vidējā krautnes garuma noteikšanā ievērtēta krautnes garuma korekcija pēc ¼ no lineāras funkcijas (maks.), atkarībā no sortimenta veida tilpuma novirze svārstās robežās no 0,39 % (melnalkšņa papīrmalka) līdz -0,64 % (egles papīrmalka). Izvērtējot visus 5529 kontrolsaiņus, vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,01 % (standartnovirze – 1,3 %).

Rezultātu salīdzināšanā ietverta matemātisko funkciju iznākuma analīze pēc salīdzināšanas ar reālajiem datiem par pamatu izmantojot apaļo kokmateriālu tilpuma novirzi.

Lai raksturotu vidējo kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma var izmantot lineārās funkcijas un to varietātes, bet izvērtējot plašo datu izkliedi būtu jānodefinē arī maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas. Maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju, ko var pieskaitīt pie iepriekš reģistrēta attāluma starp kravas balstiem un tās izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma iespējams raksturot ar lineāru funkciju un 2. pakāpes polinoma funkciju (skat. 20. att.).



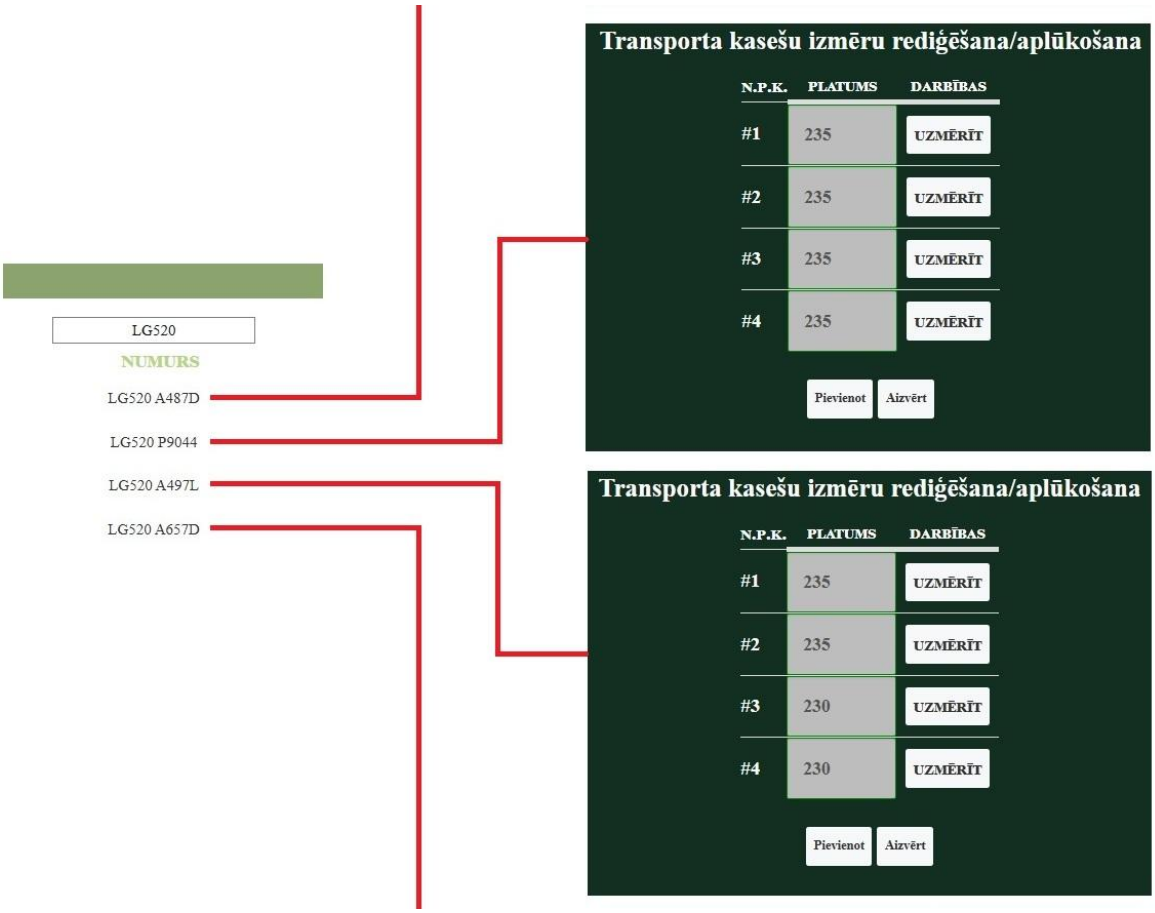
20. att. Maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas pēc lineārās funkcijas un 2. pakāpes polinoma funkcijas.

Pēc šīs tendences var spriest ka maksimāli pieļaujamā kokmateriālu krautnes garuma korekcija pakāpeniski palielinās palielinoties krautnes augstumam gan pēc lineārās funkcijas, gan pēc 2. pakāpes polinoma funkcijas. Tālākai izmantošanai rekomendējama lineārā funkcija maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas raksturošanai, jo tā ir salīdzinoši vienkāršāka un ¼ no funkcijas vērtības var izmantot arī kokmateriālu krautnes garuma korekcijas raksturošanai, lai iegūtu vidējo krautnes garumu.

6. Matemātisko funkciju modeļa funkcionalitātes izstrāde

Latvijas valsts standarts LVS 82:2024 "Apaļo kokmateriālu uzmērīšana" nosaka principus kokmateriālu krautnes garuma mērīšanai, kas šobrīd praksē tiek īstenoti, izmantojot iepriekš uzmērītus kokvedēja kravas balstu attālumus virs to pamatnes. Šī parametra izpētes rezultātā, ievērtējot ietekmējošos faktorus, ir iespējams pilnībā automatizēt kraujmēra (ģeometriskā tilpuma) noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame.

Lai iegūtu vidējo krautnes garumu kraujmēra (ģeometriskā tilpuma) noteikšanai nepieciešams izmantot informācijas sistēmu KADIĶIS. Informācijas sistēmā KADIĶIS ir ievadīti un reģistrēti kravas balstu attālums virs to pamatnes. Nepieciešamos datus var atšifrēt pēc transportlīdzekļa vai transportlīdzekļa sastāva reģistrācijas numuriem un saiņa numura (skat. 21. att.).



21. att. Kravas balstu attāluma (virs pamatnes) noteikšana pēc transportlīdzekļa sastāva reģistrācijas numuriem.

Lai varētu automatizēt kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanu vispirms visiem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem jābūt reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes. Bet šo reģistrēto attālumu starp kravas balstiem uzreiz nevar pieņemt kā kokmateriāla krautnes garumu, jo vēl jāievērtē arī kravas balstu izplešanās iespējamība.

Neievērtējot kravas balstu izplešanās iespējamību uz kokvedēja iekrautu sortimentu tilpuma novērtēšanā ir novērojama tendence uzmērīt mazāku apaļo kokmateriālu tilpumu - vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,65 %.

Izvērtējot kokmateriālu krautnes garuma korekciju plašāk grupveidā uzmērāmiem sortimentiem var novērot tendenci, ka palielinoties krautnes augstumam palielinās arī kokmateriālu krautnes garuma korekcija, kas būtu jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes.

Kokmateriālu krautnes garuma korekcija var tikt aprakstīta, izmantojot matemātiskas funkcijas. Viena no vienkāršākajām funkcijām matemātikā ir lineārā funkcija, kas apraksta taisnu līniju koordinātu plaknē. Lineārās funkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma.

Kokmateriālu krautnes garuma korekcijas raksturošanai ieteicams izmantot lineāro funkciju (maks.), kuru sākotnēji bija plānots izmantot maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas novērtēšanai. Šajā gadījumā ¼ no funkcijas aprēķinātās vērtības iespējams izmantot arī krautnes garuma korekcijas raksturošanai (skat. 1. formulu).

$$y = \frac{(0{,}0299x - 0{,}4633)}{4}, \qquad (1.)$$

kur

y – kokmateriālu krautnes garuma korekcija, cm (noapaļo līdz veseliem centimetriem);
x – krautnes augstums, cm (reģistrē kokmateriālu uzmērītājs).

Šo pielāgoto matemātisko funkciju iespējams prakses apstākļos vēl pielāgot, ievērtējot ietekmējošos faktorus, kas šobrīd netiek reģistrēti – kokvedēja virsbūves tehnoloģiskā aprīkojuma (kravas balstu) ražotājs un kravas balstu stiprinājuma leņķis. Ja būtu zināms kokvedēja virsbūves tehnoloģiskā aprīkojuma ražotājs, tad varētu novērtēt arī kravas balstu stiprinājuma leņķi, un pēc kura arī varētu objektīvāk novērtēt kāda daļa no maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas būtu piemērojama.

Šobrīd nezinot šos parametrus tiek piemērota ¼ no maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas. Zinot, kokvedēja virsbūves tehnoloģiskā aprīkojuma ražotāju un kravas balstu stiprinājuma leņķi varētu objektīvāk novērtēt krautnes garuma korekciju. Piemēram, pie 90° stiprinājuma leņķa varētu piemērot 1/3 no maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas, bet pie 88° leņķa varētu piemērot 1/5 no maksimāli pieļaujamās kokmateriālu krautnes garuma korekcijas.

Izmantojot plašāku ietekmējošo faktoru klāstu būtu iespējams objektīvāk novērtēt kokmateriālu krautnes garuma korekciju un samazinātu apaļo kokmateriālu tilpuma novirzi dēļ krautnes garuma novērtēšanas.

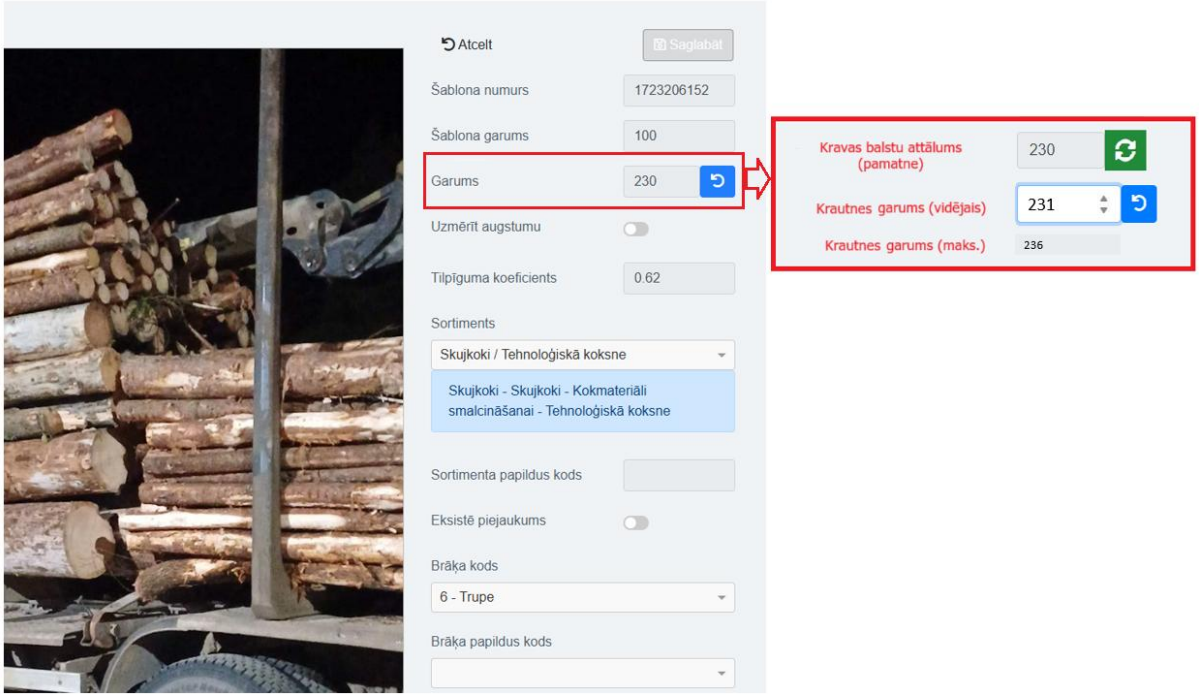
Maksimāli pieļaujamo kokmateriālu krautnes garuma korekciju, ko var pieskaitīt pie iepriekš reģistrēta attāluma starp kravas balstiem un tās izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma ieteicams raksturot ar lineāru funkciju (skat. 2. formulu).

$$y_{max} = 0{,}0299x - 0{,}4633, \qquad (2.)$$

kur

y_{max} – maksimāli pieļaujamā kokmateriālu krautnes garuma korekcija;
x – krautnes augstums, cm (reģistrē kokmateriālu uzmērītājs).

Šīs aktivitātes ietvaros ir sagatavoti krautnes garuma novērtēšanas algoritmi no kuriem divus paredzēts izmantot, lai nodrošinātu automatizētu kokmateriālu krautnes garuma noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame. Iekļaujot sagatavotos algoritmus apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos tiks mainīta arī to vizualizācija (skat. 22. att.).



22. Apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīka (Mobilais FotoWeb) vizualizacijas izmaiņas iekļaujot sagatavotos algoritmus.

Tātad, lai varētu automatizēt kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanu apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos vispirms notiek kravas balstu attāluma (pamatne) ielasīšana no informācijas sistēmas KADIĶIS pēc transportlīdzekļa vai transportlīdzekļa sastāva reģistrācijas numura.

Rādītāja "Garums" vietu aizstāj ar trīs rādītājiem – "Kravas balstu attālums (pamatne)", "Krautnes garums (vidējais)" un "Krautnes garums (maks.)". Rādītājs "Kravas balstu attālums (pamatne)" tiek ielasīts no informācijas sistēmas KADIĶIS. Tālāk rādītājs "Krautnes garums (vidējais)" tiek aprēķināts rādītājam "Kravas balstu attālums (pamatne)" pieskaitot krautnes garuma korekciju, kuru aprēķina pēc 1. formulas. Savukārt rādītājs "Krautnes garums (maks.)" tiek aprēķināts rādītājam "Kravas balstu attālums (pamatne)" pieskaitot maksimāli pieļaujamo krautnes garuma korekciju, kuru aprēķina pēc 2. formulas.

Secinājumi un rekomendācijas

1. Latvijas valsts standarts LVS 82:2024 "Apaļo kokmateriālu uzmērīšana" nosaka principus kokmateriālu krautnes garuma mērīšanai, kas šobrīd praksē tiek īstenoti, izmantojot iepriekš uzmērītus kokvedēja kravas balstu attālumus virs to pamatnes. Šī parametra izpētes rezultātā, ievērtējot ietekmējošos faktorus, ir iespējams pilnībā automatizēt kraujmēra (ģeometriskā tilpuma) noteikšanu divos apaļo kokmateriālu uzmērīšanas rīkos – Mobilais FotoWeb un KpDC Frame.
2. Uz kokvedēja uzstādītā tehnoloģiskā aprīkojuma kravas balstu attālumi svārstās robežas no 224 līdz 238 cm, bet augstums var sasniegt 310 cm. Pie dažādiem konstruktīviem risinājumiem kravas balstu stiprināšanā un attālumu svārstībām starp tiem nevar pieņemt vienu kravas balstu attālumu visiem kokvedējiem. Viena centimetra kļūda kokmateriāla krāvuma garuma novērtēšanā var rezultēties kā 0,5 % kļūda tilpuma noteikšanā.
3. Lai varētu automatizēt kokmateriālu krautnes garuma novērtēšanu vispirms visiem transportlīdzekļiem vai transportlīdzekļu sastāviem jābūt reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes (informācijas sistēma KADIĶIS). Bet šo reģistrēto attālumu starp kravas balstiem uzreiz nevar pieņemt kā kokmateriāla krautnes garumu, jo vēl jāievērtē arī kravas balstu izplešanās iespējamība - kokmateriālu krautnes garuma korekcija. Neievērtējot kravas balstu izplešanās iespējamību uz kokvedēja iekrautu sortimentu tilpuma novērtēšanā ir novērojama tendence uzmērīt mazāku apaļo kokmateriālu tilpumu - vidējā apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas novirze ir -0,7%.
4. Izvērtējot kokmateriālu krautnes garuma korekciju plašāk grupveidā uzmērāmiem sortimentiem var novērot tendenci, ka palielinoties krautnes augstumam palielinās arī kokmateriālu krautnes garuma korekcija, kas būtu jāpieskaita iepriekš reģistrētam attālumam starp kravas balstiem virs to pamatnes.
5. Kokmateriālu krautnes garuma korekcija var tikt aprakstīta, izmantojot dažādas matemātiskas funkcijas. Lineārā funkcija, kurai veikta parametru pielāgošana, ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kokmateriālu krautnes garuma korekciju atkarībā no krautnes augstuma.
6. Krautnes garuma korekciju ietekmējošie faktori, kas šobrīd netiek reģistrēti ir kokvedēja virsbūves tehnoloģiskā aprīkojuma (kravas balstu) ražotājs un kravas balstu stiprinājuma leņķis. Ja būtu zināms kokvedēja virsbūves tehnoloģiskā aprīkojuma ražotājs, tad varētu novērtēt arī kravas balstu stiprinājuma leņķi, un pēc kura arī varētu objektīvāk novērtēt kokmateriālu krautnes garuma korekciju.
7. Ir jāņem vērā, ka ir apskatīti tikai daži no daudziem funkciju modeļiem, ko var izmantot, lai aprakstītu kokmateriālu krautnes garuma korekcijas izmaiņas atkarībā no krautnes augstuma. Faktiskais funkcijas modelis var atšķirties atkarībā no konkrētā transportlīdzekļa tehnoloģiskā aprīkojuma gabarītiem un kravas balstu konstruktīviem risinājumiem. Lai iegūtu precīzākus rezultātus, būtu nepieciešams veikt detalizētu izpēti un analīzi vadošo kokvedēju virsbūvju ražotāju piedāvātiem tehnoloģiskiem aprīkojumiem ar dažādiem kravas balstu stiprinājuma risinājumiem.