



Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Meža fakultāte

Latvia University of Agriculture  
Faculty of Forest

***AINĀRS GRĪNVALDS***

**STRATĒGISKĀS UN TAKTISKĀS PLĀNOŠANAS  
SASAISTES PILNVEIDOŠANA  
GALVENAJĀ CIRTĒ**

**IMPROVEMENT OF LINKAGE BETWEEN  
STRATEGIC AND TACTICAL PLANNING  
IN THE FINAL FELLING**

Promocijas darba **KOPSAVILKUMS**  
Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai

**SUMMARY** of the doctoral thesis  
for the scientific degree Dr.silv.

Jelgava, 2016

**Promocijas darba zinātniskais vadītājs / Academic supervisor:**

*Dr.silv., Dagnis Dubrovskis, profesors, Latvijas Lauksaimniecības universitāte /profesor, Latvia University of Agriculture*

*Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes Meža izmantošanas katedrā. Pētījumi veikti laika posmā no 2013. līdz 2015. gadam. / The research has been carried out at the department of Forest Utilization of the Latvia University of Agriculture, Forest faculty. The studies were performed during the time period between 2013 and 2015.*

**Oficiālie recenzenti / Official reviewers:**

*Dr.habil. biol. Imants Liepa, profesors, Latvijas Zinātnes padomes eksperts, LLU Mežzinātnes nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes loceklis / professor of LUA, expert of Latvian Council of Science, member of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences (sub-branch of Wood Materials and Technology) of LUA*

*Dr.silv. Āris Jansons, Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" vadošais pētnieks, Latvijas Zinātņu padomes eksperts / Senior researcher of Latvian State Forest Research institute "Silava", Expert of Latvian Council of Science*

*Dr.silv. Tomas Lāmās, asociētais profesors, Zviedrijas Lauksaimniecības zinātņu universitāte, Meža resursu apsaimniekošanas fakultāte / Associate Professor, Dr Forestry, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management, Forest Planning*

*Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2016.gadā 20.jūnijā plkst. 10:00 Jelgavā, Dobeles iela 41, sēžu zālē / To be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Materil Sciences of Latvia University of Agriculture held on June 20, 2016 at 10:00 in Jelgava, Dobbeles street 41.*

*Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā / The thesis and resume are available at the Fundamental Library of LUA, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 vai / or [http://llufb.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.lv/promoc_darbi.html)*

*Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei Mg.silv. Sarmītei Berņikovai – Bondarei / References are welcome to be sent to Sarmītei Berņikovai – Bondarei the Secretary of the Promotion Council: Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija vai / or: [koka@llu.lv](mailto:koka@llu.lv)*

## SATURS

IEVADS .....	4
1. MATERIĀLS UN METODIKA.....	6
1.1. Pētījuma materiāls .....	6
1.2. Pētījuma metodika .....	7
2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	10
2.1. Meža inventarizācijas datu precizitātes novērtējums.....	10
2.2. Meža inventarizācijas datu precizēšana-korekcija.....	11
2.3. Apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas risinājums .....	16
2.4. Audžu tīrās tagadnes vērtību izmaiņas prioritāri cērtamo audžu atlasei ...	22
2.5. Pilnveidotā plānošanas līmeņu sasaistes risinājuma novērtējums .....	24
SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI .....	30
INTRODUCTION.....	32
3. MATERIALS AND METHODS.....	34
3.1. Materials .....	34
3.2. Methods .....	36
4. RESULTS AND DISCUSSION .....	38
4.1. Estimation of accuracy of standwise forest inventory .....	38
4.2. Making more accurate standwise forest inventory by calibration .....	39
4.3. Solution for calculation of timber assortments .....	41
4.4. Changes in the net present value of stands for selection of priority harvestable stands .....	43
4.5. Evaluation of improved solution for linkage of the planning levels .....	45
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS .....	48
PUBLIKĀCIJAS UN ZIŅOJUMI PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU/ PUBLICATIONS AND PRESENTATIONS .....	50
PATEICĪBAS/ ACKNOWLEDGEMENTS .....	52

## IEVADS

Meža apsaimniekošanas plānošana sākas ar stratēģisko vai ciršanas apjomu plānošanu, kurā cērtamās audzes izvēlas atbilstoši stratēģiskajiem mērķiem un nosacījumiem. Parasti Latvijā un Ziemeļvalstīs stratēģiskais mērķis ir maksimizēt audžu tīro tagadnes vērtību (Dubrovskis, 2007, Nilson et al., 2012, Hobbelstad, 2001). Nākamais ir taktiskais vai cirsmu plānošanas līmenis, kurā atbilstoši stratēģijā noteiktajiem ciršanas apjomiem, atlasa cērtamās audzes un veido cirsmas. Pārejot no viena plānošanas līmeņa uz otru, jānodrošina līdzīga cērtamo audžu izvēle (Bettinger et al., 2009), un audžu tīrās tagadnes vērtības maksimizācijas principa pārceļšana no stratēģiskās uz taktiskās plānošanas līmeni.

Vienkāršs princips, kā to pārcelt, literatūrā aprakstīts sekojoši. Audzēm aprēķina tīro tagadnes vērtību un tās izmaiņas, cērtot tūlīt vai to atliekot, tas ir ciršanas kavēšanās izmaksas. Ar regresijas analīzes palīdzību izveido vienādojumu, kas ļauj aprēķināt audzes vērtības izmaiņas, kurā kā faktori ir audžu taksācijas rādītāji. Pēc aprēķinātajām vērtības izmaiņām audzes var saranžēt un ciršanai prioritāri atlasīt audzes ar lielāko vērtības samazinājumu (Jacobsson, 1986, Price, 1989). Latvijā šāda vienkārša pieeja cērtamo audžu atlasēi taktiskajā plānošanā nav pētīta, turklāt šādai pieejai būtu jāpalielina arī peļņa un audžu tīrās tagadnes vērtība.

Audzēs tīrās tagadnes vērtības aprēķināšanā nozīmīga loma ir prognozēm par apaļo kokmateriālu iznākumu. Latvijā lietotas dažādas apaļo kokmateriālu iznākuma tabulas (Sprīvulis, 1963, Матузанис, 1988), prognozēšanas vienādojumi (Iesalnieks, 2002, Ozoliņš, 2002), kuros iznākumu ietekmē audžu kvalitāte, kas parasti nav pieejama meža inventarizācijā. Latvijā ir veikti vairāki pētījumi, kuros noskaidrots, ka apaļo kokmateriālu iznākumu ietekmē audzes reģionālā atrašanās vieta Latvijā un audzes taksācijas rādītāji (Zālītis un Špalte, 1998, Baumanis et al., 2001, Zālītis un Špalte, 2000). Tādējādi, iespējams, šos faktoros var izmantot, lai raksturotu to ietekmi uz apaļo kokmateriālu iznākumu.

Taktiskajā plānošanā nozīmīgs faktors ir meža inventarizācijas (acumēra taksācija) datu precizitāte. Citās valstīs ir konstatēts, ka tajos ir neprecizitātes (Stahl, 1992, Kinnunen et al., 2003, Kuliešis un Kasperavičius, 2004). Līdzīgi secinājumi iegūti arī Latvijā veiktajos pētījumos (Dubrovskis, 2004, Veinbergs, 2007), bet ar nepietiekamu datu apjomu. Tādēļ ar pietiekamu datu apjomu jāpārliecinās, vai meža inventarizācijā Latvijā ir novērojamas līdzīgas datu precizitātes problēmas, jo tas var ietekmēt prioritāri cērtamo audžu izvēli.

Meža inventarizācijas datu precizitātes uzlabošanai ir izstrādāti korekcijas risinājumi, balstīti uz precīzu pārmērījumu datiem (Li, 1988). Tomēr Latvijā šāds korekcijas risinājums nav pētīts, kā arī nav vērtēts, kā tas varētu ietekmēt prioritāri cērtamo audžu atlasēi.

Kopumā darbā ir izvirzītas piecas aizstāvamās **tēzes**. Pirmā: galvenās cirtes taktiskajā plānošanā, izmantojot audžu tīrās tagadnes vērtību izmaiņas, cērtamās audzes izvēlēties līdzīgas kā stratēģiskajā plānošanā. Otrā: audzes kvalitātes ietekmi uz apaļo kokmateriālu iznākumu raksturo audzes taksācijas rādītāji un audzes reģionālā atrašanās vieta Latvijā. Trešā: Latvijā meža inventarizācijas (acumēra taksācija) datus ir neprecizitātes, līdzīgas kā citās valstīs. Ceturtā: meža inventarizācijas datus var precizēt, veicot datu korekciju, un tas uzlabos prioritāri cērtamo audžu atlasī. Piektā: ieviešot plānošanas līmeņu sasaistes risinājumu, palielināsies mežsaimniecības efektivitāte – peļņa un audžu tīrā tagadnes vērtība.

Promocijas darba **pētnieciskais mērķis** ir pilnveidot stratēģiskās un taktiskās plānošanas līmeņu sasaisti galvenajā cirtē, lai nodrošinātu, ka abos plānošanas līmeņos ciršanai atlasītu līdzīgas audzes.

Pētnieciskā mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**:

1. novērtēt meža inventarizācijas datu precizitāti (krājas variāciju un sistemātisko novirzi) Latvijā;
2. izstrādāt risinājumu meža inventarizācijas datu precizēšanai;
3. izstrādāt risinājumu galvenajā cirtē prioritāri cērtamo audžu noteikšanai, balstītu uz audžu tīrās tagadnes vērtības izmaiņām;
4. izstrādāt apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas risinājumu precīzākai audžu tīrās tagadnes vērtības aprēķināšanai, kurā audzes kvalitātes ietekmi raksturotu audzes taksācijas rādītāji un audzes reģionālā atrašanās vieta Latvijā;
5. novērtēt pilnveidoto plānošanas līmeņu sasaistes risinājumu: abos plānošanas līmeņos galvenajai cirtē atlasīto audžu līdzību un ekonomisko ieguvumu no pilnveidotā risinājuma ieviešanas.

Zinātniskā darba **novitāte**: ar pietiekamu datu apjomu novērtēta meža inventarizācijas datu precizitāte pieaugušās audzēs Latvijā un izstrādāts risinājums to precizēšanai-korekcijai. Izstrādāts jauns apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas risinājums, kurā audzes kvalitātes ietekme daļēji raksturota ar audzes taksācijas rādītājiem. Latvijā pirmoreiz izstrādāts audzes tīrās tagadnes vērtības izmaiņu aprēķināšanas vienādojums (ņemot vērā Latvijas mežaudžu augšanas gaitas modeļus, apaļo kokmateriālu iznākumu, ieņēmumus un izmaksas), ar kura palīdzību var nodrošināt stratēģiskās un taktiskās plānošanas līmeņu sasaisti.

Zinātniskā darba **praktiskā** nozīme: izstrādātais plānošanas līmeņu sasaistes risinājums nodrošina taktiskajā plānošanā cērtamo audžu izvēli līdzīgi kā stratēģiskajā plānošanā. Iegūtie pētījuma rezultāti nodrošinātu mežsaimniecības peļņas palielināšanos par 8.7% un audžu tīrās tagadnes vērtības palielināšanos par 9.9%, salīdzinot ar tradicionālajiem taktiskās plānošanas principiem.

## 1. MATERIĀLS UN METODIKA

Pētījums ir realizēts no 2012. līdz 2015. gadam. Šajā pētījumā ietvertas Latvijā visvairāk pārstāvētās koku sugas: priele (*Pinus sylvestris* L.), egle (*Picea abies* (L.) Karst.), bērzs (*Betula* spp.), apse (*Populus tremula* L.) un melnalksnis (*Alnus glutinosa* L.). Pētījums ir realizēts visā Latvijas teritorijā, izmantojot datus par AS "Latvijas valsts meži" apsaimniekotajiem valsts mežiem (1.4 miljonu ha platībā), kuri atrodas praktiski visā valsts teritorijā un ir aptuveni puse no visiem Latvijas mežiem.

### 1.1. Pētījuma materiāls

Pētījumā izmantoti AS "Latvijas valsts meži" 2010. – 2012. gada meža inventarizācijas (acumēra uzmērīšanas metode), vienlaidus dastojumu un harvesteru mērījumu dati, kā arī LVMI "SILAVA" otrā meža resursu monitoringa cikla (2009. –2013. gada) meža statistiskās inventarizācijas dati par AS "Latvijas valsts meži" apsaimniekotajiem mežiem. Acumēra meža inventarizācijas dati atlasīti no meža resursu uzskaites datu bāzes. Vienlaidus dastojumu dati iegūti no audzēm, kurās veikta vienlaidus dastošana cirsma krājas noteikšanai, un harvesteru mērījumi iegūti no audzēm, kurās koku krāšana veikta ar harvesteru.

**Meža inventarizācijā uzmērīšanas precizitāte** novērtēta, salīdzinot uzmērīto krāju acumēra meža inventarizācijā un vienlaidus dastojumos. Paraugkopa raksturo pieaugušas un pāraugušas audzes, kopējais apjoms ir 1300 audzes, tai skaitā 537 priežu, 178 egļu, 379 bērzu, 173 apšu un 33 melnalkšņu audzes. No acumēra meža inventarizācijas un vienlaidus dastojumiem atlasīti dati par katras sugas pirmā, otrā stāva krāju, kā arī par audzes kopējo krāju.

**Meža inventarizācijas datu precizēšanas-korekcijas** vienādojumi izstrādāti, izmantojot acumēra meža inventarizācijas datus un vienlaidus dastojumus. Paraugkopa izveidota no 720 pieaugušām un pāraugušām audzēm, tai skaitā 160 priežu, 160 egļu, 160 bērzu, 160 apšu un 80 melnalkšņu audzēm. No acumēra meža inventarizācijas datiem un vienlaidus dastojumiem katrai sugai audzē atlasīti sekojoši dati: pirmā un otrā stāva vidējais augstums, šķērslaukums, augošu koku krāja un kopējā augošu koku krāja, papildus no acumēra meža inventarizācijas datiem atlasīta audzes bonitāte, valdošā koku suga. Koriģēto meža inventarizācijas datu precizitātes uzlabošanās novērtēta, izmantojot iepriekšminētos 1300 audžu datus. Katrai sugai audzē atlasīti sekojoši dati no acumēra meža inventarizācijas un vienlaidus dastojumiem: pirmā un otrā stāva augstums, šķērslaukums, augošu koku krāja un kopējā augošu koku krāja, papildus no acumēra meža inventarizācijas datiem atlasīta audzes bonitāte, valdošā koku suga.

**Audzēs kvalitātes ietekme uz apaļo kokmateriālu iznākumu noskaidrota**, pirmkārt, nosakot zāģbaļķu iznākuma reģionālās atšķirības, otrkārt, nosakot audzes kvalitātes ietekmi. Zāģbaļķu iznākuma reģionālās

atšķirības noteiktas priedei, eglei un bērzam, izmantojot harvesteru mērījumus vai vienlaidus dastojumu datus. Kopā priedei izmantotas 1645 audzes, eglei 1202 audzes, bērzam 1531 audzes. Priežu, egļu un bērzu zāģbaļķu iznākums noteikts kā zāģbaļķu tilpuma īpatsvars no kopējā konkrētās sugas apaļo kokmateriālu tilpuma. Audzes kvalitātes ietekme uz apaļo kokmateriālu iznākumu noskaidrota, izmantojot 510 pieaugušas un pāraugušas audzes, tai skaitā 120 priežu, 120 egļu, 120 bērzu, 120 apšu un 30 melnalkšņu audzes. Katrai sugai audzē no meža inventarizācijas datiem atlasīti: bonitāte un vecums. No vienlaidus dastojumiem: sugas krājas īpatsvars pirmajā stāvā, vidējais caurmērs un augstums (pirmajā un otrajā stāvā), vidējā augstuma un caurmēra attiecība. No harvesteru mērījumiem: katras sugas katra sagatavotā apaļā kokmateriāla tilpums (bez mizas, virsmēra, galotnes u.tml.). Priedei kopumā ir astoņi apaļo kokmateriālu veidi, eglei septiņi, bērzam seši, apsei pieci un melnalkšnim četri. Tie ir apvienoti šādās grupās: zāģbaļķi, finierkluči, papīrmalka un malka.

**Audzū ikgadējo tīrās tagadnes vērtības izmaiņu** aprēķinam izmantoti meža statistiskās inventarizācijas dati, kopā 1211 audzes (parauglaukumi), tai skaitā 594 priežu, 196 egļu, 288 bērzu, 86 apšu un 47 melnalkšņu audzes. Par katru audzi sagatavoti sekojoši dati: valdošās sugas vecums, audzes bonitāte, katras koku sugas vidējais augstums, vidējais caurmērs, koku skaits, šķērslaukums, krāja pirmā un otrā stāvā.

**Pilnveidotā plānošanas līmeņu sasaistes risinājuma novērtēšanai** izmantoti vairāki datu avoti. Galvenās cirtes ciršanas apjomu vai stratēģiskā plāna aprēķinam izmantoti meža statistiskās inventarizācijas dati. Modelēšanas vajadzībām par katru audzi apkopots: valdošās sugas vecums, audzes bonitāte, katras koku sugas vidējais augstums, vidējais caurmērs, koku skaits, šķērslaukums, krāja pirmajā un otrajā stāvā.

Cirsma plānošanas līmenī ciršanai pieejamo audžu raksturošanai atlasīta paraugkopa no acumēra meža inventarizācijas 1300 audžu apjomā, tai skaitā 537 priežu, 178 egļu, 379 bērzu, 173 apšu un 33 melnalkšņu audzes. Faktiski nocirsto vai pēc tradicionālajiem cirsmu plānošanas principiem ciršanai ieplānoto audžu raksturošanai atlasīta paraugkopa 1300 audžu apjomā, tai skaitā 536 priežu, 172 egļu, 451 bērzu, 99 apšu un 42 melnalkšņu audzes. Katrai audzei atlasīti acumēra meža inventarizācijas un vienlaidu dastojumu dati: valdošā suga, bonitāte, valdošās sugas vecums, audzes krāja, priedes, egles, bērza, apšu un melnalkšņu krāja.

Pilnveidotā plānošanas līmeņu sasaistes risinājuma ekonomiskais ieguvums novērtēts, izmantojot augstāk minētos meža statistiskās inventarizācijas datus.

## **1.2. Pētījuma metodika**

**Meža inventarizācijā uzmērīšanas precizitāte** novērtēta, salīdzinot krāju meža inventarizācijā (acumēra uzmērīšana metode) un vienlaidus

dastojumos (precīzie mērījumi), dažādu koku sugu audzēs, kā arī: tīraudzēs/mistraudzēs, valdošajai sugai/ piemistrojuma sugai (-ām), katrai sugai un krājas grupās (mazāk par 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 200.1 – 300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 300.1 – 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, vairāk par 400.1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>). Precizitāte vērtēta ar sistemātisko kļūdu – relatīvo sistemātisko novirzi (formula 1.1.) un datu izkliedi – variācijas koeficientu (formula 1.2.).

$$\Delta\% = 100 \times \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n}}{\bar{y}} \quad (1.1.)$$

$$s\% = 100 \times \sqrt{\frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}{\bar{y}}} \quad (1.2.)$$

kur:  $\Delta\%$  – relatīvā sistemātiskā novirze,  $s\%$  – variācijas koeficients,  $\hat{y}_i$  – precīzo pārmērījumu krāja audzei  $i$ ,  $y_i$  – acumēra meža inventarizācijas krāja audzei  $i$ ,  $\bar{y}$  – precīzo pārmērījumu vidējā krāja,  $n$  – audžu skaits.

Ar T-testu pārbaudīts, vai krājas atšķirības minētajās grupās ir būtiskas starp acumēra meža inventarizācijas un precīzo mērījumu datiem.

**Meža inventarizācijas datu precizēšanas-korekcijas** risinājums izstrādāts, atrodot sakarības starp meža inventarizācijas un vienlaidus dastojumu (precīzo pārmērījumu) datiem. Korekcijas vienādojumi izstrādāti parametriem, pēc kuriem aprēķina krāju – katras sugas vidējam augstumam, valdošās sugas šķērslaukumam un katras piemistrojuma sugas šķērslaukumam. Sakarība starp acumēra meža inventarizācijas datiem un vienlaidus dastojumiem noteikta, izmantojot regresijas vai kovariācijas analīzi. Kā faktori izmantoti meža inventarizācijas taksācijas rādītāji. Pēc tam vērtēta precizitātes uzlabošanās ar relatīvo sistemātisko novirzi un variācijas koeficientu.

**Audzēs kvalitātes ietekme uz apaļo kokmateriālu iznākumu** noskaidrota divos soļos, pirmkārt, nosakot zāģbaļķu iznākuma reģionālās atšķirības, otrkārt, nosakot audzēs kvalitātes ietekmi. Reģionālās ietekmes noskaidrošanai 97 Latviju sadalošās teritorijās aprēķināts priedes, egles un bērza vidējais zāģbaļķu iznākums un tā izlases reprezentācijas rādītājs. Pēc tam katrai koku sugai vairākās ietērācijās apvienotas blakus esošās teritorijas ar līdzīgu zāģbaļķu iznākumu. Teritoriju apvienošana turpināta līdz zāģbaļķu iznākums starp blakus reģioniem sāk atšķirties būtiski, un tas noteikts izmantojot T-testu.

Apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas vienādojumi, ietverot audžu kvalitātes un Latvijas reģionālo ietekmi, veidoti, izmantojot regresijas analīzi. Kā ietekmējošie faktori testēti audzēs taksācijas rādītāji, kā arī priedei, eglei un bērzam – reģioni ar dažādu zāģbaļķu iznākumu. Prognozēšanas vienādojumu precizitātes novērtēšanai salīdzināta prognozēto apaļo kokmateriālu vērtība ar reāli saražoto (harvesteru uzskaitīto) apaļo



kokmateriālu vērtību, izmantojot relatīvo sistemātisko novirzi un variācijas koeficientu.

**Audzū ikgadējo tīrās tagadnes vērtības izmaiņu** aprēķināšanai atbilstoši vispārējam risinājumam, paraugkopas audzēm modelēti divi kailcirtes varianti – cērtot audzi tūlīt un pēc desmit gadiem, pēc tam aprēķinot audzes ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas. Modelēšanai izmantota AS "Latvijas valsts meži" informācijas sistēma SILVMO (versija 7.3). Sistēma ir paredzēta meža apsaimniekošanas stratēģiskajai vai ciršanas apjomu plānošanai. Ar tās palīdzību audzēm var modelēt dažādus audzēšanas variantus, aprēķināt augšanas gaitu, apaļo kokmateriālu iznākumu (pielāgots atbilstoši šī pētījuma rezultātiem), kā arī ieņēmumus un izdevumus, un audžu tīro tagadnes vērtību. Aprēķinos izmantota 4.24% diskonta likme un 2010. – 2011. gada cenas. Nobeigumā vērtību izmaiņu aprēķinam ar regresijas analīzi izveidots vienādojums, kurā kā faktori izmantoti meža taksācijas rādītāji.

**Pilnveidotā plānošanas līmeņu sasaistes risinājuma novērtēšana** uzsākta ar ciršanas apjomu pa sugām aprēķinu atbilstoši AS „Latvijas valsts meži” mežsaimniecības stratēģiskiem mērķiem, izmantojot minēto sistēmu "SILVMO", un atlasītas nākamajos desmit gados cērtamās audzes.

Pēc tam novērtēts, kā koriģēto acumēra meža inventarizācijas datu izmantošana uzlabo prioritāri cērtamo audžu atlasu cirsmu plānošanā. Audzēm veikta datu korekcija, pēc tam aprēķinātas ikgadējo vērtību izmaiņas un veikta prioritāri cērtamo audžu atlase, gan pēc nekoriģētiem un koriģētiem acumēra meža inventarizācijas datiem, un vienlaidus dastojumiem. Pēc tam visu triju veidu audzēm ar T-testu noteikts vidējo izmaiņu vērtību atšķirību būtiskums.

Pēc tam noteikts, cik stratēģiskajai plānošanai līdzīgas audzes atlasa, ja faktiskajā plānošanā izmanto ikgadējās tīrās tagadnes vērtību izmaiņas un tradicionālos cirsmu plānošanas principus. Ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas aprēķinātas audzēm: kuras ir ciršanai pieejamas, iepļānotas ciršanai ciršanas apjomu plānošanā, iepļānotas cirsmu plānošanā: pēc vērtību izmaiņām un tradicionāliem cirsmu plānošanas principiem un ar T-testu noteikts vidējo vērtību atšķirību būtiskums.

Ieguvums no pilnveidotā risinājuma noteikts, salīdzinot tīro peļņu un audžu tīro tagadnes vērtību, cērtamās audzes cirsmu plānošanā izvēloties divos scenārijos: pēc ikgadējām tīrās tagadnes vērtības izmaiņām (atlasi 65% no augstākām ciršanas prioritāšu audzēm) un tradicionālajiem cirsmu plānošanas principiem (atlasi pēc nejaušības principa no ciršanas vecumu sasniegušām audzēm). Audžu atlase modelēta ik pa desmit gadiem, tad atkārtots ciršanas apjomu aprēķins, un modelētas desmit piecgades. Abu scenāriju peļņas atšķirību būtiskums noteikts, izmantojot T-testu. Nobeigumā salīdzināta arī nākamo piecdesmit gadu peļņas tīrā tagadnes vērtība abos scenārijos.

## 2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Šajā nodaļā ir atspoguļoti pētījuma rezultāti par meža inventarizācijas (acumēra uzmērīšanas metode) datu precizitātes novērtējumu un to precizēšanas risinājumu, apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas risinājumu un galvenajā cirtē prioritāri cērtamo aužu izvēles risinājumu, lai nodrošinātu audžu tīrās tagadnes vērtības maksimizācijas principa pārceļšanu no viena plānošanas līmeņa uz otru.

### 2.1. Meža inventarizācijas datu precizitātes novērtējums

Promocijas darbā meža inventarizācijas datu precizitāte novērtēta ar divām paraugkopām, pirmā – novērtēta audzes kopējā krāja, otrā – novērtēta audzes krāja pirmajā un otrajā stāvā. Promocijas darba kopsavilkumā ir ietverta sadaļa, kurā audzes krāja ir novērtēta pa stāviem, jo tā ietver arī audzes kopējās krājas uzmērīšanas precizitātes vērtējumu.

Audzēs pirmā un otrā stāva krājas uzmērīšanas tendences novērtētas, salīdzinot krāju meža inventarizācijā un precīzos mērījumos, kuri noteikti pēc vienlaidus dastojumiem. Abu uzmērīšanas metožu vidējās krājas vērtības un precizitāti raksturojošie rādītāji (relatīvā sistemātiskā novirze un variācijas koeficients) doti 2.4. tabulā (15. lapašpusē, kopā ar acumēra meža inventarizācijas korekcijas rezultātiem).

Precizitāte novērtēta šādos dalījumos: pa valdošajām koku sugām, pēc audzes veida: mistraudze un tīraudze, mistrojuma: valdošā un piemistrojuma suga (-as), krājas grupām: mazāk par 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 200.1 – 300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 300.1 – 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, vairāk par 400.1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, kā arī pa koku sugām.

Noskaidrots, ka visās audžu dalījumu grupās (izņemot individuālas koku sugas) vidējās krājas atšķirības starp meža inventarizācijas datiem un precīziem mērījumiem ir būtiskas ( $p < 0.05$ ). Tādējādi secināms, ka meža inventarizācijā dažādu sugu audzēs, tīraudzēs un mistraudzēs, krājas grupās, valdošo un piemistrojuma sugas krāju uzmēra atšķirīgi.

Kopumā Latvijā meža inventarizācijā pieaugušu audžu krājas relatīvā sistemātiskā novirze (krāju novērtē sistemātiski zemāk) ir 19.4%, un krājas novērtējuma variācijas koeficients ir 28.6%. Iegūtie rezultāti saskan ar līdzīgiem pētījuma rezultātiem citās valstīs, kuros konstatēts, ka Lietuvā krāju uzmēra par 16% zemāk (Kuliešis un Kasperavičius, 2004), Krievijā par 13.4% (Kinnunen et al., 2003), Somijā par 15.9% (Anttila, 2002).

Priežu, egļu, bērzu un apšu audzēs krāju novērtē ar līdzīgu precizitāti, bet melnalkšņu audzēs ar lielāku neprecizitāti nekā minētajām sugām.

Pirmajā stāvā krāja ir novērtēta par 15.0% zemāk, otrajā stāvā par 49.5% zemāk. Kopumā meža inventarizācijā krājas uzmērīšanas sistemātiskā kļūda un izkliede pirmajā stāvā ir mazāka nekā otrajā stāvā. Tādējādi secināms, ka otrā stāva krāju uzmēra daudz neprecīzāk nekā pirmā stāva krāju.

Tīraudzēs un mistraudzēs pirmā stāva un otrā stāva krājas uzmērīšanas tendences ir līdzīgas, tas nozīmē, ka ne tīraudze, ne mistraudze neietekmē uzmērīšanas precizitāti.

Valdošās un piemistrojuma sugas krājas uzmērīšanā pirmajā stāvā ir vērojamas atšķirīgas tendences uzmērīšanas precizitātē. Valdošās sugas krājai datu izkliede un sistemātiskā kļūda ir zemāka nekā piemistrojuma sugu krājai. Secināms, ka meža inventarizācijā daudz neprecīzāk veic piemistrojuma sugu krājas uzmērīšanu nekā valdošās sugas krājas uzmērīšanu.

Arī starp krājas grupām ir atšķirības krājas uzmērīšanas tendencēs, pie zemākām krājām ir lielāka krājas izkliede, un krāja acumēra meža inventarizācijā tiek pārvērtēta. Pie lielākām krājām – pieaug sistemātiskā kļūda "uz otru pusi" – krāja acumēra meža inventarizācijā samazinās. Visprecīzāk audzes krāju novērtē audzēs ar krāju no 200 līdz 300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, audzēs ar krāju līdz 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> krāju pārvērtē par 13.4%, krājas grupā no 300 līdz 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> krāju novērtē zemāk par 17.1%, un krājas grupā, ar krāju lielāku par 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, krāju novērtē zemāk par 26.6%.

Individuālas koku sugas: priedes un bērza krāja neatšķiras būtiski ( $p>0.05$ ), tas nozīmē, ka šos sugu krāju uzmēra precīzi, bet egles, apses un melnalkšņa krāja atšķiras būtiski ( $p<0.05$ ), tātad šo sugu krāju uzmēra neprecīzāk.

Valdošās sugas noteikšanas precizitāte ir šāda: vidēji 82.0% gadījumu valdošā suga tiek noteikta precīzi, pa sugām attiecīgi: priedei 91%, eglei 75%, bērzam 87%, apsei 76% un melnalksnim 82%.

## **2.2. Meža inventarizācijas datu precizēšana-korekcija**

Meža inventarizācijas datu neprecizitātes daļēji var mazināt, veicot datu korekciju. Korekcijas vienādojumi izstrādāti, izmantojot pieaugušu audžu meža inventarizācijas un vienlaidus dastojuma (precīzu pārmērījumu) datus, ar regresijas analīzi atrodot sakarības starp minētajiem datiem. Vienādojumi izstrādāti audzes taksācijas parametriem, pēc kuriem aprēķina krāju: pirmā stāva priedes, egles, bērza, apses un melnalkšņu vidējam augstumam, valdošās sugas šķērslaukumam, piemistrojuma sugas šķērslaukumam un otrā stāva egles augstumam un šķērslaukumam. Šķērslaukuma korekcijas vienādojumi izstrādāti atsevišķi valdošajai sugai un piemistrojuma sugai (-ām), jo ir atšķirīgas tendences to noteikšanā.

Izstrādājot korekcijas risinājumu, augstuma un valdošās sugas šķērslaukuma korekcijai piemērota lineāra sakarība un konstante kā nulle. Tas ir saistīts ar to, ka izmantoti dati tikai par pieaugušām un pāraugušām audzēm un datiem ir salīdzinoši liela izkliede, kas var novest pie nekorektiem secinājumiem un vēl vairāk pastiprināt sistemātisko kļūdu, ja nelieto korektu risinājumu. Uz šādu secinājumu ir norādījis arī Li (1988) – pielietojot

regresijas analīzi ar mazāko kvadrātu metodi, korekcijas rezultātā relatīvā sistemātiskā novirze tiktu pastiprināta vēl vairāk.

**Vidējā augstuma korekcijas vienādojums** (formula 2.1.) izveidots, nosakot sakarību starp vidējo augstumu precīzos mērījumos un diviem parametriem meža inventarizācijā: vidējo augstumu un sugas piederību valdošajai sugai. Vienādojuma (formula 2.1.) koeficientu vērtības dotas 2.1. tabulā. Visām koku sugām korekcijas vienādojums būtiski ( $p < 0.01$ ) un koeficienti būtiski ( $p < 0.05$ ) izskaidro sakarību starp meža inventarizācijas un vienlaidus dastojuma parametriem.

$$H_{KOR} = K_1 \times H + K_2 \times H \times VS_{1/0} \quad (2.1.)$$

kur:  $H_{KOR}$  – koriģētais vidējais augstums (m),  $K_1$ ,  $K_2$  – koeficienti,  $VS_{1/0}$  – koeficients, ja koriģējamā suga ir valdošā suga mežaudzē (1 – jā, 0 – nē),  $H$  – koku sugas vidējais augstums meža inventarizācijā (m).

#### 2.1. tabula/ Table 2.1

**Vidējā augstuma korekcijas vienādojuma koeficienti pirmā stāva priedei, apsei, bērzam un melnalksnim un pirmā un otrā stāva eglei**  
*The coefficients of calibration function for mean height for first storey of pine, aspen, birch and black alder and first and second storey of spruce*

Koeficients/ <i>Coefficient</i>	Priedei/ <i>Pine</i>	Eglei/ <i>Spruce</i>	Bērzam/ <i>Birch</i>	Apsei/ <i>Aspen</i>	Melnalksnim/ <i>Black alder</i>
$K_1$	1.036	1.009	0.929	1.037	0.899
$K_2$	-0.053	-	-	-	0.049

Kopumā var teikt, ka acumēra meža inventarizācijā augstumu bērzam un melnalksnim pārvērtē (7 – 10 % robežās). Priedei un apsei augstumu nedaudz nenovērtē, bet eglei augstumu nosaka praktiski precīzi.

**Valdošās sugas šķērslaukuma korekcijas vienādojums** (formula 2.2.) izveidots, nosakot sakarību starp šķērslaukumu vienlaidus dastojumos (precīzos pārmērījumos) un diviem parametriem acumēra meža inventarizācijā: valdošās sugas šķērslaukumu un kopējo pirmā stāva šķērslaukumu. Valdošo sugu šķērslaukuma korekcijas vienādojuma koeficientu vērtības dotas 2.2. tabulā. Visām koku sugām korekcijas vienādojums būtiski ( $p < 0.01$ ) izskaidro sakarību starp acumēra meža inventarizācijas parametriem un precīzo mērījumu šķērslaukumu.

$$GVS_{KOR} = K_1 \times G_{VS} + K_2 \times G_{sum} \quad (2.2.)$$

kur:  $GVS_{KOR}$  – valdošās sugas korigētais šķērslaukums ( $m^2ha^{-1}$ ),  $K_1$ ,  $K_2$  – koeficienti,  $G_{VS}$  – valdošās sugas šķērslaukums meža inventarizācijā ( $m^2ha^{-1}$ ),  $G_{sum}$  – pirmā stāva kopējais šķērslaukums meža inventarizācijā ( $m^2ha^{-1}$ ).

Regresijas analīze uzrāda, ka dažādu valdošo sugu šķērslaukuma novērtēšanā acumēra meža inventarizācijā ir atšķirīgas tendences. Melnalkšņu audzēs valdošās sugas šķērslaukumu pārvērtē, pārējo sugu audzēs – nenovērtē. Turklāt egļu un bērzu šķērslaukumu ietekmē arī visas audzes kopējais šķērslaukums.

2.2. tabula/ Table 2.2

**Pirmā stāva valdošo koku sugas šķērslaukuma korekcijas vienādojuma koeficienti**

*The coefficients of calibration function for dominant species' basal area*

Koeficients/ <i>Coefficient</i>	Priedei/ <i>Pine</i>	Eglei/ <i>Spruce</i>	Bērzam/ <i>Birch</i>	Apsei/ <i>Aspen</i>	Melnalksnim/ <i>Black alder</i>
$K_1$	1.169	0.565	0.901	0.447	1.071
$K_2$	-0.152*	0.173	-0.044	0.325	-0.023*

\* $p > 0.05$ , pārējos gadījumos  $p < 0.05$

\* $p > 0.05$ , other cases  $p < 0.05$

**Piemistrojuma sugu un egles otrā stāva šķērslaukuma korekcijas vienādojums** (formula 2.3.) izveidots, nosakot sakarību starp šķērslaukumu vienlaidus dastojumos (precīzos mērījumos) un diviem parametriem meža inventarizācijā: konkrētās piemistrojuma sugas šķērslaukumu un pirmā stāva piemistrojuma sugu kopējo šķērslaukumu. Egles otrais stāvs iekļauts pie piemistrojuma sugām, jo tā novērtēšanā ir līdzīgas tendences kā egles piemistrojuma sugas šķērslaukuma novērtēšanā. Izveidotais regresijas vienādojums būtiski ( $p < 0.05$ ) izskaidro sakarību starp acumēra meža inventarizācijas un precīzo mērījumu datiem. Piemistrojuma sugu un egles otrā stāva šķērslaukuma korekcijas vienādojuma koeficientu vērtības dotas 2.3. tabulā zemāk.

$$GPS_{KOR} = K_0 + K_1 \times G_{PS} + K_2 \times G_{PSSum} + K_3 \times ST \quad (2.3.)$$

kur:  $GPS_{KOR}$  – piemistrojuma sugas korigētais šķērslaukums ( $m^2ha^{-1}$ ),  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  – koeficienti,  $G_{PS}$  – piemistrojuma sugas šķērslaukums acumēra inventarizācijā ( $m^2ha^{-1}$ ),  $G_{PSSum}$  – pirmā stāva piemistrojumu sugu kopējais šķērslaukums acumēra meža inventarizācijā ( $m^2ha^{-1}$ ),  $ST$  – pirmais vai otrais stāvs (pirmais – 1, otrais – 2).

**Pirmā stāva piemistrojuma sugu un otrā stāva egles  
šķerslaukuma korekcijas vienādojuma koeficienti**  
*The coefficients of calibration function for non-dominant species'  
basal area for species of first storey and spruce of second storey*

<b>Koeficients/ Coefficient</b>	<b>Priedei/ Pine</b>	<b>Eglei/ Spruce</b>	<b>Bērzam/ Birch</b>	<b>Apsei/ Aspen</b>	<b>Melnalksnim/ Black alder</b>
$K_0$	3.525	5.209	4.526	2.267	3.055
$K_1$	1.016	0.694	0.900	1.411	1.201
$K_2$	-0.233	-0.043*	-0.219	-0.171	-0.173
$K_3$	-	-0.585	-	-	-

\* $p > 0.05$ , pārējos gadījumos  $p < 0.05$

\* $p > 0.05$ , other cases  $p < 0.05$

Lai pārliecinātos par izstrādāto korekcijas vienādojumu piemērotību, tas ir, acumēra meža inventarizācijas datu precizitātes uzlabošanu, ar izstrādātajiem vienādojumiem koriģēti pieaugušu un pāraugušu audžu meža inventarizācijas dati. Koriģēti audzes taksācijas rādītāji – augstums un šķerslaukums, un pēc tam aprēķināta audzes krāja, un tā salīdzināta ar krāju vienlaikus dastojumos (precīzos pārmērījumos).

Meža inventarizācijas precizitātes uzlabošanās novērtēta pēc krājas šādos daļījumos: valdošo koku sugu audzēs, valdošai sugai un piemistrojuma sugai, mistraudzēs un tīraudzēs, katrai sugai, krājas grupās: mazākas par  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ,  $200.1 - 300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ,  $300.1 - 400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , lielākas par  $400.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , kā arī pārbaudīts, vai iespējams precīzāk noteikt mežaudzes valdošo koku sugu. Visas audžu grupas noteiktas pēc precīzo mērījumu datiem. Individuālu koku sugu krāja salīdzināta tikai tad, ja mērījumi ir abos gadījumos. Salīdzināšanai aprēķināti abu paraugkopu statistiskie rādītāji: vidējo vērtību un standartklūdu, kā arī precizitātes novērtēšanai: relatīvā sistemātiskā novirze un variācijas koeficients. Rezultāti doti 2.4. tabulā.

Izmantojot izstrādātos korekcijas vienādojumus, var precīzēt meža inventarizācijas datus. Korekcijas rezultātā audžu krājas relatīvā sistemātiskā novirze samazinās par 56.2 procentpunktiem (no 19.4% uz 8.5%), un variācijas koeficients samazinās par 19.9 procentpunktiem (no 28.6% uz 22.9%). Li (1988), veicot līdzīgu pētījumu par meža inventarizācijas datu korekciju, panāca relatīvo sistemātisko novirzi tuvu nullei. Tādējādi šajā pētījumā panāktais rezultāts nav uzskatāms par labāko iespējamo rezultātu. Korekcijas rezultātā uzlabojas krājas noteikšanas precizitāte visu sugu audzēs, piemistrojuma sugām, audzēs ar krāju, lielāku par  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu otrajam stāvam, priedei, eglei, apsei un melnalksnim, kā arī tīraudzēs un mistraudzēs. Korekcijas rezultātā pasliktinās krājas noteikšanas precizitāte (relatīvā sistemātiskā novirze) valdošajai sugai, audzēs ar krāju, mazāku par

300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, un nedaudz arī bērzam. Tā kā kopumā meža inventarizācijas dati (ievākti ar acumēra metodi) ir padarīti precīzāki, tam vajadzētu uzlabot prioritāri cērtamo audžu atlasī.

2.4. tabula/ Table 2.4

**Krājas vidējie un precizitātes rādītāji  
acumēra meža inventarizācijā pirms un pēc korekcijas**  
*Characteristics of mean growing stock volume and accuracy in standwise  
forest inventory before and after calibration*

Grupa <sup>1</sup> / Group <sup>1</sup>		INV <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	KOR <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	DST <sup>4</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	s% <sup>5</sup> , %		Δ% <sup>6</sup> , %	
					INV	KOR	INV	KOR
Audzes <sup>7</sup> / Stand <sup>7</sup>	priežu/pine	281.2±2.7	314.0±2.9	332.1±3.9	26.3	23.3	15.3	5.5
	egļu/spruce	286.0±4.3	309.3±3.7	330.0±5.5	27.3	23.1	14.1	7.1
	bērzu/ birch	239.8±3.8	260.9±4.0	275.1±4.8	27.6	24.7	12.8	5.2
	apšu/aspen	318.9±4.8	351.0±4.4	378.0±6.5	29.2	25.4	15.6	7.1
	melnalkšņu/ black alder	244.7±8.1	277.6±8.9	327.3±11.9	33.3	26.7	25.2	15.2
	Vidēji/mean	276.5±1.9	304.8±2.0	325.4±2.6	27.7	24.2	15.0	6.3
Egļu otrais stāvs/ second storey of spruce		23.1±0.6	35.6±0.7	48.4±0.8	75.6	66.9	49.5	17.6
Kopā pirmā un otrā stāvā / sum of first and second storey		300.5±2.1	341.1±2.2	372.9±2.8	28.6	22.9	19.4	8.5
Audzes veids <sup>7</sup> Stand's type <sup>7</sup>	tīraudzes/ pure stands	276.9±4.2	297.9±4.6	327.5±5.7	26.0	24.4	15.5	9.0
	mistraudzes/ mixed stands	276.4±2.1	306.8±2.2	324.8±2.9	28.2	24.2	14.9	5.5
Mistro- juma suga <sup>7</sup> / Mixture/ species <sup>7</sup>	valdošā/ dominant	185.2±2.4	174.7±2.2	195.2±2.3	36.7	33.2	5.1	10.5
	piemistrojuma/ non-dominant	91.4±2.0	130.2±2.0	130.3±1.9	53.9	42.7	29.9	0.1
Indivi- duāla koku suga <sup>7,8</sup> / Indivi- dual species <sup>7,8</sup>	priede/ pine	156.1±3.7	156.9±3.4	156.7±3.8	34.1	33.5	0.3	-0.1
	egle/spruce	76.7±2.4	97.4±1.5	97.5±2.3	63.4	51.9	21.4	0.2
	bērzs/ birch	82.0±2.1	84.8±1.3	80.4±1.7	51.8	45.2	-2.0	-5.5
	apse/aspen	87.3±4.0	104.0±3.5	103.7±4.2	58.5	54.3	15.8	-0.4
	melnalksnis/ black alder	42.3±2.7	58.5±2.5	59.2±3.2	69.0	62.5	28.3	0.9

2.4. tabulas turpinājums/ extension of table 2.4

Grupa <sup>1</sup> / Group <sup>1</sup>		INV <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	KOR <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	DST <sup>4</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	s% <sup>5</sup> , %		Δ% <sup>6</sup> , %	
					INV	KOR	INV	KOR
Krājas grupas (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup> / Volume groups <sup>7</sup>	<200	180.7±6.3	206.3±7.2	153.7±3.6	39.7	53.1	-17.2	-33.6
	200.1 – 300	251.6±2.8	279.8±2.9	257.6±1.4	21.5	23.6	2.3	-8.6
	300.1 – 400	292.4±2.5	320.2±2.5	348.5±1.2	23.0	18.4	16.1	8.1
	>400.1	322.5±3.5	353.2±3.5	452.7±2.8	31.9	26.0	28.8	22.0

<sup>1</sup> grupas noteiktas pēc precīziem pārmērījumiem, <sup>2</sup> INV – pirms korekcijas, <sup>3</sup> KOR – pēc korekcijas, <sup>4</sup> DST – precīzie pārmērījumi, <sup>5</sup> s% – variācijas koeficients, <sup>6</sup> Δ% – relatīvā sistemātiskā novirze, <sup>7</sup> pirmajā stāvā, <sup>8</sup> vērtības aprēķinātas tikai tajos gadījumos, ja krāja ir novērtēta abās paraugkopās

<sup>1</sup> groups defined from accurate re-measurements, <sup>2</sup> INV – before calibration, <sup>3</sup> KOR – after calibrations, <sup>4</sup> DST – accurate re-measurements, <sup>5</sup> s% – relative root means square error, <sup>6</sup> Δ% – relative bias, <sup>7</sup> first storey, <sup>8</sup> values are calculated if volume of stands are measured in both sample populations

### 2.3. Apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas risinājums

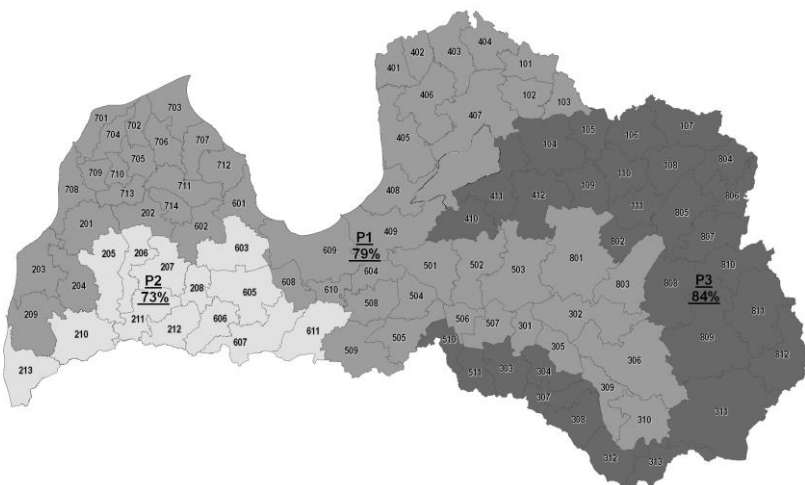
Šajā nodaļā aprakstīta apaļo kokmateriālu prognozēšanas risinājuma izstrāde, lai precīzāk aprēķinātu audzes tīro tagadnes vērtību pēc meža inventarizācijas datiem, kuros nav dots audzes kvalitātes vērtējums.

**Zāgbaļķu iznākuma reģionālās atšķirības Latvijā noskaidrotas**, izmantojot datus par zāgbaļķu iznākumu pieaugušās audzēs. Priedei izveidoti trīs, eglei seši un bērzam septiņi atšķirīgi zāgbaļķu iznākuma reģioni (skatīt attēlus 2.1., 2.2. un 2.3.).

Priedei katrā reģionā ir atšķirīgs zāgbaļķu iznākums. Bērzam un eglei ir vairāki reģioni ar līdzīgu zāgbaļķu iznākumu, bet līdzīgie reģioni savstarpēji robežojas. Priedei zāgbaļķu iznākuma procentuālās vērtības svārstās robežās no 79.4 ± 0.2 līdz 83.5 ± 0.3, eglei no 56.2 ± 0.6 līdz 65.6 ± 0.4, bērzam no 45.0 ± 1.4 līdz 61.2 ± 1.3.

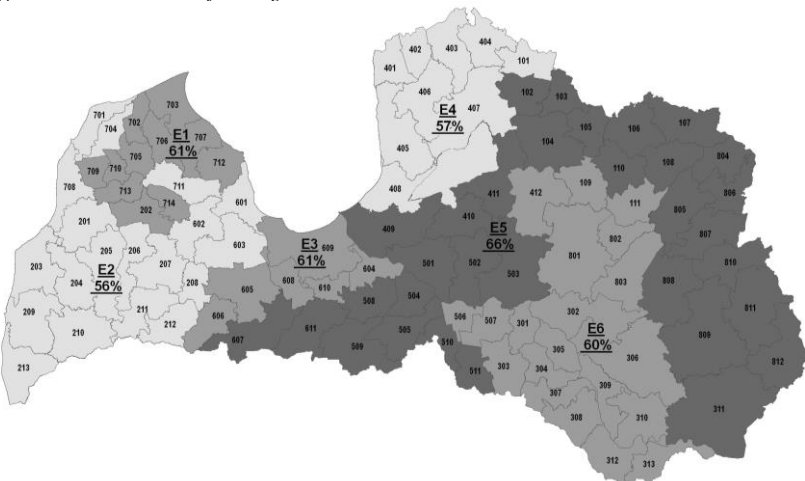
Visām koku sugām blakus esošo reģionu zāgbaļķu iznākums atšķiras vismaz par 4 – 5% un blakus esošo reģionu vidējais zāgbaļķu iznākums visos gadījumos atšķiras būtiski (p<0.01). Tādējādi šo reģionālo dalījumu iespējams izmantot apaļo kokmateriālu iznākumu modeļu pilnveidošanā.





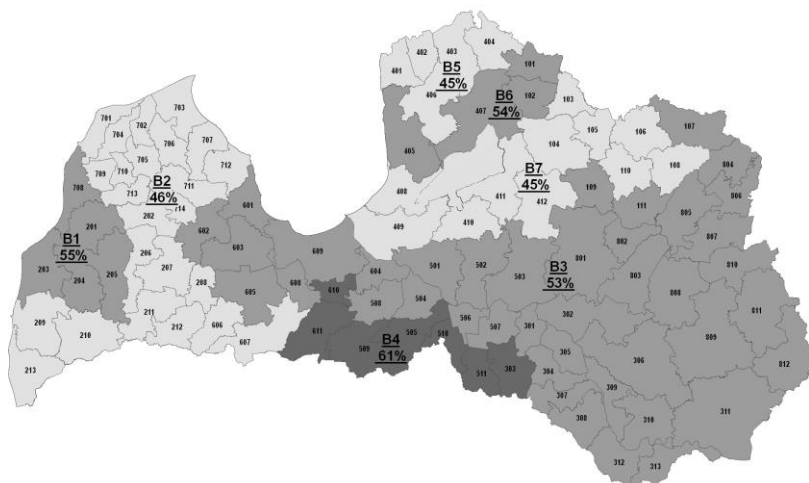
2.1. att. / Fig. 2.1. Pieaugušu priežu audžu zāgbaļķu iznākuma reģioni Latvijā/ The regions with different outcome of sawlogs in mature pine stands in Latvia

Zāgbaļķu iznākums/ outcome of sawlogs: 70 – 75%, 75 – 80%, 80 – 85%






2.2. att. / Fig. 2.2. Pieaugušu egļu audžu zāgbaļķu iznākuma reģioni Latvijā/ The regions with different outcome of sawlogs in mature pine stands in Latvia

Zāgbaļķu iznākums/ outcome of sawlogs: 55 – 60%, 60 – 65%, 65 – 70%



2.3. att. / Fig. 2.3. Pieaugušu bērza audžu zāgbaļķu iznākuma reģioni Latvijā/ The regions with different outcome of sawlogs in mature' birch stands in Latvia

Zāgbaļķu iznākums/ outcome of sawlogs:  45 – 50%,  50 – 55%,  60 – 65%)

**Apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas vienādojums izveidots,** lai precīzāk aprēķinātu audzes tīrās tagadnes vērtību, kurā nepieciešams zināt audzes krājas sadalījumu apaļo kokmateriālu veidos. Tā kā inventarizācijas datus parasti nav pieejams audzes kvalitātes vērtējums, tad mēģināts to raksturot ar audzes taksācijas rādītājiem un audzes reģionālo atrašanās vietu Latvijā.

Izmantojot korelācijas analīzi, pārbaudīta dažādu meža taksācijas rādītāju ietekme uz apaļo kokmateriālu iznākumu visvairāk pārstāvētajiem apaļo kokmateriālu veidiem. Noskaidrots, ka visām sugām kopumā visvairāk apaļo kokmateriālu iznākumu ietekmē vidējais caurmērs, kā arī caurmēra-augstuma attiecība un vecums.

Bet, pārbaudot zāgbaļķu iznākumu reģionu ietekmi, konstatēts, ka ne priedei, ne eglei, ne bērzam zāgbaļķu iznākuma reģioni būtiski ( $p > 0.05$ ) neietekmē individuālu apaļo kokmateriālu veidu iznākumu. Reģionu vērtībām pastāv multikolinearitāte ar jau trīs izvēlētajiem faktoriem (caurmērs, caurmēra-augstuma attiecība un vecums), tādēļ tie nav iekļauti regresijas analīzē.

Visām koku sugām izveidots vienots apaļo kokmateriālu veidu iznākuma prognozēšanas nelineāras regresijas vienādojums (formula 2.4.). Vidējā caurmēra ietekme izteikta ar trīskāršu polinomu, vecuma un caurmēra-augstuma attiecība kā lineāra ietekme. Vienādojums ticami ( $p < 0.05$ ) raksturo apaļo kokmateriālu veidu vai atlikumu iznākumu, izņemot dažus gadījumus,

kad ticami ( $p > 0.05$ ) neraksturo: priežu malka un atlikumi, egļu malka, bērzu malka, apses papīrmalka, melnalkšņu taras kluči 18 – 23.9 cm, malka un atlikumi.

Regresijas vienādojuma koeficientu vērtības dotas 2.5. tabulā zemāk. Apaļo kokmateriālu iznākumu īpatsvaru aprēķina atsevišķi katrai koku sugai audzē, atsevišķi pirmā un otrā stāva kokiem, izmantojot atbilstošās sugas koeficientu vērtības.

$$K_{iz} = K_0 + K_1 \times D + K_2 \times D^2 + K_3 \times D^3 + K_4 \times \frac{D}{H} + K_5 \times A \quad (2.4.)$$

kur:  $K_{iz}$  – apaļo kokmateriālu iznākuma īpatsvars ar vērtību no 0 līdz 1 (koeficients),  $K_0 - K_5$  – koeficienti,  $D$  – koku sugas vidējais caurmērs (cm),  $\frac{D}{H}$  – koku sugas vidējā caurmēra (cm) - augstuma (m) attiecība (koeficients),  $A$  – koku sugas vecums (gadi).

Iegūtais rezultāts raksturo katra apaļā kokmateriālu veida iznākuma īpatsvaru ar koeficienta vērtību no 0 līdz 1. Koeficienta vērtību reizina ar konkrētās koku sugas augošu koku krāju, tādējādi iegūstot konkrētā apaļā kokmateriāla veida tilpumu. Tā kā pētījumā ir izmantoti pēdējos gados saražotie apaļo kokmateriālu ražošanas dati, tad uzskatāms, ka izveidotais prognozēšanas risinājums nodrošina arī mūsdienu situācijai atbilstošu risinājumu.

Ne visiem apaļo kokmateriālu veidiem regresijas vienādojumā ietvertie faktori ir ar būtisku ietekmi (skatīt 2.5. tabulu). Tomēr, lai saglabātu vienotu pieeju, visām koku sugām saglabāts vienots vienādojums. Papildus ietvertie faktori (caurmēra-augstuma attiecība un vecums) vidēji (vidējais svērtais pēc kokmateriālu tilpuma) uzlabo regresijas vienādojuma izskaidroto daļu par 2.5% priedei, 1.5% eglei, 4.2% bērzam, 5.1% apsei un 2.1% melnalksnim, salīdzinot ar situāciju, ja šie faktori nebūtu ietverti vienādojumā.

Papildu faktoru nepieciešamību apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanā apstiprina arī pētījums, kurā norādīts, ka koku caurmērs neraksturo koku kvalitātes ietekmi uz apaļo kokmateriālu iznākumu (Dubrovskis et al., 2014).

**Koku sugu apaļo kokmateriālu iznākuma  
īpatsvara prognozēšanas vienādojumu koeficienti**

*Coefficients of function for calculation of proportion of timber assortments*

Suga/ Species	Apaļie kok- materiāli**/ Timber assortments	Koeficientu vērtības/ Values of coefficients					
		$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
Priede/Pine	I šķ.zb. > 28	0.0914*	-0.0184*	0.0007*	-0.000006*	0.0323*	0.00025*
	II šķ.zb. >28	0.5993*	-0.0697*	0.0027*	-0.000026*	-0.0475*	-0.00025*
	II šķ.zb.18– 27.9	-3.8036	0.3919	-0.0112	0.000100	-0.1173	-0.00037*
	II šķ.zb.14– 17.9	0.8080	-0.0379*	0.0005*	-0.000002*	0.0143*	-0.00041
	II šķ.zb.10– 13.9	0.8989	-0.0692	0.0018	-0.000016	-0.0049*	-0.00012*
	III šķ.zb. >18	0.6162*	-0.0732*	0.0024*	-0.000025*	0.1199	0.00014*
	Papīrmalka/ pulpwood	0.0923*	0.0234*	-0.0015*	0.000022*	0.0175*	0.00042
	Malka/ fuel wood	0.2052*	-0.0126*	0.0003*	-0.000002*	-0.0186*	0.00009*
Atlikumi/ residues	1.4923*	-0.1344*	0.0043*	-0.000045*	0.0043*	0.00027*	
Egle/Spruce	II šķ.zb. >28	0.1436	-0.0186	0.00064	-0.000002*	-0.0135*	0.00032
	II šķ.zb.18– 27.9	-0.1081*	0.0141*	0.00042*	-0.000014	-0.0303*	0.00013*
	II šķ.zb.14– 17.9	-0.2300	0.0449	-0.00151	0.000014	-0.0367	0.00007
	II šķ.zb.10– 13.9	0.1225	0.0049*	-0.00030*	0.000004*	-0.0533	0.00001*
	III šķ.zb. >18	-0.2158	0.0183	-0.00066	0.000008	0.0696	0.00008*
	Papīrmalka/ pulpwood	0.3427	0.0175*	-0.00191	0.000032	0.1579	-0.00073
	Malka/ fuel wood	-0.0226*	0.0081*	-0.00031*	0.000004*	0.0012*	-0.00001*
	Atlikumi/ residues	0.9677	-0.0892	0.00363	-0.000047	-0.0949	0.00013*
Bērzs/Birch	FIN >32	0.4477	-0.0595	0.002510	-0.000030	-0.0107*	-0.00010*
	FIN >26–31	0.1360*	-0.0182*	0.001374	0.000021	-0.0517	-0.00045
	FIN > 19–25	-0.0670*	0.0159*	-0.000001*	-0.000006*	-0.0634	-0.00055
	FIN>14–18	-0.0918*	0.0372	-0.001280	0.000013*	-0.0706	-0.00065
	Papīrmalka/ pulpwood	0.4696	0.0149	-0.002243	0.000039	0.2633*	0.00051

2.5. tabulas turpinājums/ *Extension of table 2.5*

Suga/ Species	Apājie kokmateriāli**/ Timber assortments**	Koefficientu vērtības/ <i>Values of coefficients</i>					
		$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
Bērzs/ Birch	Malka/ fuel wood	0.0459*	-0.0059*	0.000218*	-0.000003*	0.0147*	0.00008*
	Atlikumi/ residues	0.0596*	0.0155*	-0.000579*	0.000008*	-0.0815*	0.00116
Apeše/ <i>Aspen</i>	Zb. >24	0.4257*	-0.0561*	0.0026*	-0.00003*	0.1051*	-0.00131*
	TKL 18– 23.9	-0.9105	0.1069	-0.0036	0.00004	0.0706*	-0.00060*
	TKL 12– 17.9	-0.0197*	0.0112*	-0.0005*	0.00001*	0.0172*	-0.00022
	Papīrmalka/ pulpwood	2.4152*	-0.1510*	0.0046*	-0.00004*	-0.2072*	-0.00260
	Malka/ fuel wood	-0.9865	0.0731*	-0.0026*	0.00003*	0.2315*	0.00320
	Atlikumi/ residues	0.0758*	0.0158*	-0.0005*	0.00001*	-0.2171	0.00153
Melnalksnis / <i>Black alder</i>	Zb. >24	0.6078*	-0.0959*	0.0043*	-0.00006*	0.0236*	0.00077*
	TKL 18– 23.9	-0.4159*	0.0251*	0.0007*	-0.00003*	0.0442*	-0.00026*
	TKL 12– 17.9	0.9904*	-0.0790*	0.0031*	-0.00004*	-0.1110*	-0.00090*
	Malka/ fuel wood	-2.0158*	0.3330*	-0.0153*	0.00022*	0.1795*	-0.00120*
	Atlikumi/ residues	1.8335*	-0.1832*	0.0072*	-0.00009*	-0.1363*	0.00159*

\* $p > 0.05$ , pārējos gadījumos  $p < 0.05$ , \*\*apaļo kokmateriālu apzīmējumi: I, II, III – pirmā, otrā, trešā, šķ. – šķira; zb. – zāģbaļķi, FIN – finierkluči, TKL – taras kluči; > – lielāks par; skaitļi apzīmē apaļā kokmateriāla veida tievgaļa caurmēra intervālu centimetros

\* $p > 0.05$ , other cases  $p < 0.05$ , \*\*symbols of timber assortments: I, II, III – first, second, third, šķ. – class; zb. – sawlogs, FIN – veneer logs, TKL – bulk sawlogs; > – greater than; figures shows the interval of top diameter of timber assortments

Tālāk (2.6. tabulā) dots ar apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas vienādojumu aprēķinātās audzes kokmateriālu monetārās vērtības salīdzinājums ar reāli saražoto kokmateriālu vērtību. Prognozēto apaļo kokmateriālu pārdošanas vērtībās relatīvā sistemātiskā novirze no reāli saražoto kokmateriālu vērtības ir 0.3%, bet variācijas koeficients ir 10.4%. Salīdzinot ar līdzīga pētījuma rezultātiem (Malinen et al., 2014), konstatējams, ka visu apaļo kokmateriālu pārdošanas vērtības prognozēšanā relatīvā sistemātiskā novirze ir līdzīga, bet variācijas koeficients ir aptuveni divas-trīs reizes lielāks.

**Apažo kokmateriālu iznākuma prognozēšanas vienādojuma precizitāte**  
*Accuracy of regression function for calculation*  
*the outcome of timber assortments*

<b>Grupa</b>	<b>Valdošo sugu audzes/ Stands' dominant species</b>	<b>s%<sup>1</sup>,%</b>	<b>Δ%<sup>2</sup>,%</b>
Apažo kokmateriālu pārdošanas vērtība/ <i>The value of timber assortments</i> (EUR ha <sup>-1</sup> )	Priede/ <i>Pine</i>	8.7	0.4
	Egle/ <i>Spruce</i>	11.9	0.8
	Bērzs/ <i>Birch</i>	11.0	-0.4
	Apse/ <i>Aspen</i>	9.1	-0.2
	Melnalksnis/ <i>Black alder</i>	13.3	-0.2
	Vidēji/ <i>Mean</i>	10.4	0.3

<sup>1</sup> s% – variācijas koeficients, <sup>2</sup> Δ% – relatīvā sistemātiskā novirze

<sup>1</sup> s% – relative root means square error, <sup>2</sup> Δ% – relative bias

#### 2.4. Audžu tīrās tagadnes vērtību izmaiņas prioritāri cērtamo audžu atļasei

**Ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņu aprēķināšanas vienādojums** izveidots, izmantojot audžu taksācijas rādītājus un audzes ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas, kuras iegūtas kā starpība starp audzes vērtību, to nocērtot tūlīt vai pēc desmit gadiem. Ikgadējās tīrās tagadnes izmaiņas ļauj ranžēt un atlasīt galvenajā cirtē prioritāri cērtamās audzes, kā arī nodrošina ciršanas apjomu plānošanā pielietotā tīrās tagadnes vērtības maksimizācijas principa pārceļšanu uz cirsmu plānošanu.

Izmantojot regresijas analīzi, noteikts, kā dažādi meža taksācijas rādītāji ietekmē ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas. Vienots vienādojums (formula 2.5.) izveidots visu sugu audžu ikgadējo izmaiņu aprēķināšanai. Vienādojums ticami ( $p < 0.001$ ) raksturo audzes tīrās tagadnes vērtības izmaiņas.

Vislabāk ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas ietekmē šādi taksācijas rādītāji: valdošās sugas vecums, bonitāte, audzes krāja (kopā pirmajā un otrajā stāvā), priedes, egles, bērza, apses un melnalkšņa krāja. Citos līdzīgos pētījumos kā vērtību ietekmējošie faktori minēti daļēji līdzīgi taksācijas rādītāji: audzes vecums, koku skaits, audzes krāja, priedes un egles īpatsvara krājā (Jonsson et al., 1993), vecums, caurmērs, krāja, caurmēra un vecuma attiecība (Thuresson, 1995).

Vienādojumā audzes kopējās un priežu krājas ietekme atspoguļota nelineāri, jo šāda aprēķinu pieeja precīzāk raksturo vērtību izmaiņas pie mazām un lielām audzes krājām. Regresijas vienādojuma koeficientu vērtības dotas 2.7. tabulā, un visiem koeficientiem ir būtiska ietekme ( $p < 0.05$ ).

$$NPV_{\Delta} = K_0 + K_1 \times Bon + K_2 \times A + K_3 \times V + K_4 \times V^2 + K_5 \times V^3 + K_6 \times V_P^2 + K_7 \times V_E + K_8 \times V_B + K_9 \times V_A + K_{10} \times V_M \quad (2.5.)$$

kur:  $NPV_{\Delta}$  – audzes ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas (EUR ha<sup>-1</sup>),  $K_0 - K_{10}$  – koeficienti,  $Bon$  – bonitāte (kodi: I<sup>a</sup> – 0, I – 1, ... V<sup>a</sup> – 6),  $A$  – valdošās sugas vecums (gadi),  $V$  – audzes krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_P$  – priedes krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_E$  – egles krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_B$  – bērza krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_A$  – apses krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_M$  – melnalkšņa krāja (kopā I un II stāvā) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>).

2.7. tabula/ Table 2.7

**Ikgadējo tīrās tagadnes vērtību izmaiņu  
aprēķināšanas vienādojuma koeficientu vērtības**  
*Coefficient of function for calculation  
of annual changes in the net present value*

Koeficients/ Coefficient	Vērtība/ Value	Koeficients/ Coefficient	Vērtība/ Value
$C_0$	79.229146	$C_6$	-0.000559
$C_1$	9.735206	$C_7$	-0.065615
$C_2$	-1.593884	$C_8$	-0.188133
$C_3$	0.604344	$C_9$	0.239861
$C_4$	-0.002853	$C_{10}$	0.105021
$C_5$	0.000002	-	-

Zemāk esošajā 2.8. tabulā ir dots ilustratīvs piemērs par ikgadējām tīrās tagadnes vērtības izmaiņām I bonitātes priedes tīraudzē. Vērtību izmaiņas ir sadalītas piecās ciršanas prioritāšu grupās, kuras ir marķētas ar krāsām. Augstākajā ciršanas prioritāšu grupā ietilpst audzes ar vislielāko ikgadējās tīrās tagadnes vērtību samazinājumu, lielāku par -300 EUR ha<sup>-1</sup> (tumši zaļā krāsā). Otrajā grupā – ar samazinājumu -200 – -299.9 EUR ha<sup>-1</sup> (gaiši zaļā krāsā), trešajā – ar samazinājumu -100 – -199.9 EUR ha<sup>-1</sup> (dzeltenā krāsā), ceturtajā – ar samazinājumu 0 – -100 EUR ha<sup>-1</sup> (brūnā krāsā) un viszemākajā ciršanas prioritāšu grupā ietilpst audzes ar ikgadējās tīrās tagadnes vērtības pieaugumu (sarkanā krāsā).

**I bonitātes priedes audžu ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas  
dažādos vecumos un pie dažādām krājām**  
*Annual changes in the net present value in various ages and growing stock  
volumes of pine stands of I<sup>a</sup> site index*

Vecums/ Age, gadi/ years	Audzes kopējā (I un II stāva) krāja/ Volume of stand (sum of first and seconds storey), m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>							
	100	150	200	250	300	350	400	450
	Ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas/ Annual changes in the net present value, EUR ha <sup>-1</sup>							
80	-10	-18	-38	-69	-110	-158	-213	-274
90	-26	-34	-54	-85	-126	-174	-229	-289
100	-42	-50	-70	-101	-142	-190	-245	-305
110	-58	-66	-86	-117	-158	-206	-261	-321
120	-74	-82	-102	-133	-174	-222	-277	-337
130	-90	-98	-118	-149	-189	-238	-293	-353
140	-106	-113	-134	-165	-205	-254	-309	-369
150	-122	-129	-150	-181	-221	-270	-325	-385
160	-138	-145	-166	-197	-237	-286	-341	-401

Lielāks vērtības samazinājums un augstāka ciršanas prioritāte ir vecākām audzēm un audzēm ar lielāku krāju, bet zemāka prioritāte ir jaunākām audzēm un audzēm ar mazāku krāju. Līdzvērtīgi rezultāti – augstāka ciršanas prioritāte ir audzēm ar lielāku krāju un vecumu, iegūti līdzīgā pētījumā (Jonsson et al., 1993).

Galvenās cirtes cirsmu plānošanā ar izveidoto vienādojumu (formula 2.5.), izmantojot audzes taksācijas rādītājus (pieejami meža inventarizācijas datu bāzē vai vienkārši nosakāmi dabā), visām audzēm, kuras iespējams nocirst, var aprēķināt ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas. Balstoties uz vērtību izmaiņām, audzes iespējams saranžēt un izvēlēties nociršanai audzes ar lielāko vērtības samazinājumu. Tomēr jāatceras, ka vērtības izmaiņas ir tikai viens no daudziem faktoriem, kas nosaka lēmumu par audzes nociršanu. Cirsmu plānošanu ietekmē arī daudzi citi faktori: piesliešanās, cirtes virziens, cirsmas lielums, ciršanas apstākļi, audzes novietojums, meža ceļu pieejamība u.tml. Tādēļ ne vienmēr visās augstāko prioritāšu audzēs būs iespējams ieplānot cirsmu.

### 2.5. Pilnveidotā plānošanas līmeņu sasaistes risinājuma novērtējums

Galvenajā cirtē cērtamo audžu līdzība stratēģiskajā un taktiskajā plānošanā noskaidrota, salīdzinot audžu ikgadējās tīrās tagadnes vērtību izmaiņas. Iesākumā aprēķināti galvenās cirtes apjomi – galvenās cirtes platība. Aprēķinātā galvenās cirtes platība pirmajos desmit gados ir 150830



ha, kas ir 49% no nākamajos desmit gados galvenajai cirtei pieejamām audzēm. Tas nozīmē, ka pastāv cērtamo audžu izvēles iespējas.

Pēc tam noskaidrots, vai ar precizētajiem meža inventarizācijas (acumēra uzņēmēšanas metode) datiem uzlabojas prioritāri cērtamo audžu atlase. Atbilstoši pirmās desmitgades galvenās cirtes platībai atlasītas cērtamās audzes (pēc vērtību izmaiņām) no dažādiem meža inventarizācijas datiem, un salīdzinātas šo audžu vidējās ikgadējās tūrās tagadnes vērtību izmaiņas (2.9. tabulā).

2.9. tabula/ Table 2.9

**Pēc dažādiem meža inventarizācijas datiem ciršanai izvēlēto audžu ikgadējās tūrās tagadnes vērtības izmaiņas (EUR ha<sup>-1</sup>)**  
**Annual changes in the net present value for stands selected for harvesting in final felling by different forest inventory data (EUR ha<sup>-1</sup>)**

Valdošā suga/ <i>Dominant species of stand</i>	Taktiskajā plānošanā cērtamās audzes atlasot pēc ikgadējām tūrās tagadnes vērtības izmaiņām*, izmantojot: <i>Stands for harvesting in tactical planning were selected by using annual changes in the net present value and by using:</i>		
	neprecizētos meža inventarizācijas datus/ <i>non-calibrated standwise forest inventory data</i>	precizētos meža inventarizācijas datus/ <i>calibrated standwise forest inventory data</i>	kontrolei – precīzos (dastojuma) datus/ <i>for control – accurate re-measurements (measured by callipers)</i>
Priede/ <i>Pine</i>	-239.8±4.6	-235.7±4.8	-248.7±4.1
Egle/ <i>Spruce</i>	-161.8±6.1	-163.1±6.0	-203.3±4.7
Bērzs/ <i>Birch</i>	-127.7±3.7	-117.6±4.0	-118.1±3.7
Apse/ <i>Aspen</i>	-144.5±8.0	-148.8±7.6	-182.6±4.5
Melnalksnis/ <i>Black alder</i>	-117.3±9.3	-126.2±8.8	-137.7±4.8
Vidēji/ <i>Mean</i>	-179.4±3.3	-175.0±3.4	-188.8±3.2

\*visos gadījumos ikgadējās tūrās tagadnes vērtības izmaiņas aprēķinātas pēc faktiskajiem datiem (dastojumiem)

\*in all cases the annual changes in the net present value were calculated by actual forest inventory data (callipered)

Audzū atlase veikta pēc vērtību izmaiņām, kuras aprēķinātas atbilstoši izmantotajiem inventarizācijas datiem, bet salīdzināšanai izmantotas vērtību izmaiņas, kuras aprēķinātas atbilstoši audzes faktiskajam stāvokli, ko raksturo vienlaidus dastojumi.

Audzēm, atlasītām pēc neprecizētiem un precizētiem meža inventarizācijas datiem, vidējās audžu ikgadējās tūrās tagadnes vērtību

izmaiņas neatšķiras būtiski ( $p > 0.05$ ) gan visu sugu audzēs kopā, gan atsevišķu sugu audzēs. Bet vidējās vērtību izmaiņas audzēm, kuras atlasītas pēc kontroles – dastojuma datiem, abos gadījumos atšķiras būtiski ( $p < 0.05$ ), un tās ir par 5.2% un 7.8% augstākas salīdzinot ar neprecizētiem un precizētiem inventarizācijas datiem. Tas nozīmē, ja meža inventarizācijas dati būtu precīzi vai korekcijas rezultātā būtu precizēti, tad ciršanai tiktu atlasītas audzes ar augstāku ciršanas prioritāti.

Tādējādi secināms, ka precizēto meža inventarizācijas datu izmantošana neuzlabo prioritāti cērtamo audžu atlasī un līdz ar to neuzlabo arī galvenās cirtes plānošanas līmeņu sasaisti. Taktiskajā vai cirsmu plānošanas līmenī var turpināt izmantot neprecizētos acumēra meža inventarizācijas datus.

Modelējot situāciju, ka cirsmu plānošanā izmanto neprecizētos meža inventarizācijas datus, konstatēts, ka kopumā iespējams atlasīt 67% no augstāko ciršanas prioritāšu audzēm. Modelējot tika pieņemts, ka 20% no audzēm nav pieejamas ciršanai dažādu nosacījumu (pieslēšanās, ceļu pieejamība u.tml.) dēļ, tādējādi vēl 13% no augstāko ciršanas prioritāšu audzēm netiek atlasītas neprecīzu meža inventarizācijas datu dēļ.

Nākamajā solī salīdzināta taktiskajā plānošanā ciršanai atlasīto audžu (izmantojot neprecizētos meža inventarizācijas datus) līdzība ar: pirmkārt, galvenajai cirtei pieejamām audzēm, otrkārt, stratēģiskajā plānošanā atlasītām audzēm, treškārt, arī faktiski nocirstām audzēm – iepļānotas pēc tradicionāliem cirsmu (taktiskās) plānošanas principiem. Dažādos plānošanas līmeņos un pēc dažādiem atlasē principiem ciršanai atlasīto audžu vidējās ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas dotas 2.10. tabulā.

Stratēģiskajā plānošanā cērtamās audzes izvēlas ar 43.6% lielāku ikgadējās tīrās tagadnes vērtības samazinājumu, salīdzinot ar visu ciršanai pieejamo audžu vidējo vērtības samazinājumu, un vidējo vērtību samazinājuma atšķirības ir būtiskas ( $p < 0.05$ ) visu sugu audzēs kopā.

Taktiskajā vai cirsmu plānošanā, cērtamās audzes atlasot pēc tīrās tagadnes vērtību izmaiņām, tām ir par 24.2% lielāks vērtības samazinājums, salīdzinot ar vidējo ciršanai pieejamo audžu vērtības samazinājumu, un atšķirības ir būtiskas ( $p < 0.05$ ). Tas nozīmē, ka ikgadējo tīrās tagadnes vērtību izmaiņu izmantošana nodrošina augstāku ciršanas prioritāšu audžu atlasīto ciršanai pieejamām audzēm. Tomēr arī ikgadējo vērtību samazinājuma atšķirības starp taktiskajā plānošanā un stratēģiskajā plānošanā atlasītām audzēm ir būtiskas ( $p < 0.05$ ) visu sugu audzēs kopā. Tas nozīmē, ka pirmajā desmitgadē prioritāri cērtamo audžu atlasē, izmantojot meža inventarizācijas datus un ikgadējās tīrās tagadnes vērtību izmaiņas, var atlasīt cērtamās audzes līdzīgākas stratēģiskajai plānošanai, bet ne pilnībā līdzīgas.

**Galvenajai cirtei pieejamo un dažādi ciršanai izvēlēto audžu ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas (EUR ha<sup>-1</sup>)**

**Annual changes in the net present value for stands available and selected for harvesting in final felling by different approaches (EUR ha<sup>-1</sup>)**

Valdošā suga/ <i>Dominant species of stand</i>	Galvenajai cirtei pieejamās audzes <i>Stands available for harvesting in final felling</i>	Izvēlētas ciršanai pirmajos desmit gados/ <i>selected for harvesting in first ten years:</i>		
		Stratēģiskajā plānošanā / <i>in strategic planning</i>	Taktiskajā plānošanā*/ <i>in tactical planning:</i>	
			pēc ikgadējam tīrās tagadnes vērtības izmaiņām/ <i>by annual changes in the net present value</i>	pēc tradicionāliem principiem/ <i>by traditional planning principles</i>
Priede/ <i>Pine</i>	-203.7±9.1	-274.8±12.1	-239.8±4.6	-210.1±3.8
Egle/ <i>Spruce</i>	-132.5±9.8	-221.7±21.1	-161.8±6.1	-154.7±4.5
Bērzs/ <i>Birch</i>	-107.1±8.5	-126.5±9.5	-127.7±3.7	-112.6±3.3
Apse/ <i>Aspen</i>	-102.5±9.4	-188.5±14.3	-144.5±8.0	-109.5±6.1
Melnalksnis/ <i>Black alder</i>	-62.7±21.4	-122.6±26.6	-117.3±9.3	-96.6±7.3
Vidēji/ <i>Mean</i>	-144.5±5.1	-207.5±8.0	-179.4±3.3	-156.6±2.5

\*visos gadījumos ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas aprēķinātas pēc faktiskajiem datiem (dastojumiem)

\*in all cases the annual changes in the net present value were calculated by actual forest inventory data (measured by callipers)

Tradicionālajā variantā cērtamās audzes izvēlas ar 8.4% lielāku vērtības samazinājumu, salīdzinot ar vidējo vērtības samazinājumu ciršanai pieejamām audzēm, un vidējās vērtību izmaiņas būtiski ( $p < 0.05$ ) atšķiras gan no ciršanai pieejamām audzēm, gan no stratēģiskajā plānošanā atlasītām audzēm, gan no taktiskajā plānošanā atlasītām audzēm. Tomēr, ņemot vērā faktu, ka tradicionālajā plānošanā cērtamās audzes izvēlas galvenokārt no tām, kuras ir sasniegušas galvenās cirtes vecumu, tad ikgadējās vērtību izmaiņas neatšķiras būtiski ( $p > 0.05$ ) starp ciršanai pieejamām (sasniegušas galvenās cirtes vecumu) un nocirstajām audzēm. Tas nozīmē, ka tradicionālajā cirsmu plānošanā cērtamās audzes izvēlas pēc nejausības principa no visām ciršanai pieejamām audzēm, kuras sasniegušas galvenās cirtes vecumu.

Lai gan vērtību izmaiņas ir aprēķinātas, modelējot kailcirtes, tās pēc būtības ir pielietojamas arī izlases cirtēs. Gan kailcirtēs, gan izlases cirtēs stratēģiskajā plānošanā cērtamās audzes izvēlas ar līdžīgu, attiecīgi 39.5% un

33.5% lielāku vērtības samazinājumu, nekā abos ciršu veidos ciršanai pieejamām audzēm.

**Ekonomiskais ieguvums, ieviešot plānošanas līmeņu sasaistes risinājumu**, noteikts, salīdzinot tīro peļņu un audžu tīro tagadnes vērtību divos dažādos scenārijos, ja taktiskajā plānošanā cērtamās audzes izvēlētos, pirmkārt, pēc ikgadējām tūrās tagadnes vērtības izmaiņām (scenārija nosaukums "Vērtību izmaiņas"), otrkārt, pēc tradicionālajiem cirsmu plānošanas principiem (scenārija nosaukums "Tradicionālais").

Tas nozīmē, ka stratēģiskā plāna vai ciršana apjomu aprēķinā noteikto galvenās cirtes platību pa sugām atlasa pēc diviem iepriekšminētiem scenārijiem. Un ciršanas apjomu aprēķins atkārtots ik pēc desmit gadiem, pieņemot, ka ciršanai atlasītās audzes ir nocirstas. Krājas kopšanas cirtes visos gadījumos modelētas atbilstoši stratēģiskajiem mērķiem, un pieņemts, ka tā arī nocirtīs.

"Vērtību izmaiņu" scenārijā galvenajā cirtē cērtamās audzes atlasītas pēc ikgadējām tūrās tagadnes vērtības izmaiņām no galvenās cirtes vecumu vai mērķa caurmēru sasniegušām audzēm. Pieņemot, ka piecgadē iespējams nocirst tikai 67% no augstāko ciršanas prioritāšu audzēm (pamatojumu skatīt iepriekš). "Tradicionālajā" scenārijā cērtamās audzes atlasītas pēc nejaušības principa no tām audzēm, kuras ir sasniegušas galvenās cirtes vecumu.

Salīdzināšanai apkopota desmit piecgažu tūrā peļņa (tabula 2.11.) abos minētajos scenārijos, kā arī trešajā scenārijā, kurš raksturo ciršanas apjomu aprēķinu un teorētiski raksturotu situāciju, ja iecerētā stratēģija tiktu realizēta par 100% (scenārijs – "Stratēģija").

Vērtību izmaiņu pielietošana audžu atlasē nodrošina to, ka ilgtermiņā peļņa ir tikai par 3.6% zemāka nekā ciršanas apjomu aprēķinā, bet atšķirības nav būtiskas ( $p > 0.05$ ), tāpat cērtamo audžu izvēle notiek līdzīgi. Tādējādi apstiprinās citos pētījumos iegūtā atziņa, – ciršanas apjomu plānošanas optimizācijas lēmumus ar tūrās tagadnes vērtību izmaiņu palīdzību var pārcelt uz cirsmu plānošanas līmeni (Jonsson et al., 1993).

Galvenajā cirtē izvēloties cērtamās audzes pēc ikgadējām tūrās tagadnes vērtības izmaiņām, prognozējams, ka peļņa palielināsies par 8.7% un audžu tūrā tagadnes vērtība palielināsies par 9.9%, salīdzinot ar audžu izvēli pēc tradicionālajiem cirsmu plānošanas principiem.

2.11. tabula/ Table 2.11

**Tīrā peļņa no galvenajā cirtē nocirstām audzēm  
pie dažādiem cērtamo audžu izvēles principiem taktiskajā plānošanā  
Net profit from harvested stands in final felling by  
various principles of stands selection in the tactical planning**

<b>Piecgade/ five year period</b>	<b>Galvenajā cirtē cērtamo audžu izvēles princips/ The principle of selection of stands for final felling</b>		
	<b>Stratēģiskā plānošana / Strategic planning</b>	<b>Taktiskā plānošanā/ Tactical planning</b>	
	<b>Stratēģija<sup>1</sup>/ Strategic<sup>1</sup></b>	<b>Vērtību izmaiņas<sup>2</sup>/ Value changes<sup>2</sup></b>	<b>Tradicionālais<sup>3</sup>/ Traditional<sup>3</sup></b>
	<b>Piecgades tīrā peļņa, milj. EUR/ Net profit in five year period, mill. EUR</b>		
1.	525.0	500.1	467.0
2.	525.3	500.1	416.3
3.	527.8	514.7	436.7
4.	522.4	516.4	487.1
5.	521.8	455.1	411.2
6.	522.5	502.9	467.6
7.	522.0	521.4	476.9
8.	522.1	539.2	498.3
9.	522.2	529.2	472.0
10.	521.9	515.9	520.4
<b>Vidēji/ Mean</b>	<b>523.3</b>	<b>509.5</b>	<b>465.3</b>

<sup>1</sup> cērtamās audzes noteiktas stratēģiskajā plānošanā, <sup>2</sup> cērtamās audzes izvēloties pēc ikgadējām tīrās tagadnes vērtības izmaiņām, <sup>3</sup> cērtamās audzes izvēloties pēc tradicionāliem cirsu plānošanas principiem

<sup>1</sup>harvestable stands selected for final felling in strategic planning, <sup>2</sup>harvestable stands selected for final planning by annual changes in the net present value in tactical planning, <sup>3</sup>harvestable stands selected for final planning by traditional planning principles in tactical planning

## SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

1. Kopumā Latvijā meža inventarizācijā (acumēra taksācija) pieaugušu audžu krājas vērtējumā ir neprecizitātes, krāju sistemātiski novērtē zemāk – relatīvā sistemātiskā novirze ir 19.4%, un krājas novērtējuma variācijas koeficients ir 28.6%. Iegūtie rezultāti atbilst līdzīgiem pētījumiem ārvalstīs.
2. Meža inventarizācijas datu precizēšanai izstrādāti korekcijas vienādojumi priedes, egles, bērza, apses un melnalkšņa taksācijas rādītājiem, pēc kuriem aprēķina krāju: vidējā koka augstumam, valdošās un piemistrojuma sugu šķērslaukumam. Vienādojumi ļauj precizēt krājas vērtējumu: tās relatīvā sistemātiskā novirze samazinās par 56.2 procentpunktiem un variācijas koeficients samazinās par 19.9 procentpunktiem.
3. Apaļo kokmateriālu iznākuma prognožu precizēšanai noskaidrots, ka Latvijas teritorijā pastāv reģionālas atšķirības zāgbaļķu iznākumā – eglei 9.4%, priedei 10.5% un bērzam 16.2% apjomā. Tomēr zāgbaļķu iznākuma reģionālās atšķirības nav iespējams pierādīt individuāliem apaļo kokmateriālu veidiem.
4. Precīzākam priedes, egles, bērza, apses un melnalkšņa apaļo kokmateriālu iznākuma aprēķinam izveidoti to prognozēšanas vienādojumi, kurā kā ietekmējošos faktori izmantoti: vidējā koka caurmērs, vidējā koka caurmēra-augstuma attiecība un vecums. Caurmēra-augstuma attiecība un vecums uzskatāmi par audzes kvalitāti raksturojošiem parametriem, jo šie faktori papildus uzlabo regresijas vienādojumu izskaidroto daļu (determinācijas koeficientu) vidēji par 2.5% priedei, 1.5% eglei, 4.2% bērzam, 5.1% apsei un 2.1% melnalkšnim.
5. Audžu ikgadējās tīrās tagadnes vērtības izmaiņas aprēķinam izveidots regresijas vienādojums, kurā kā faktori izmantoti vienkārši nosakāmi meža taksācijas rādītāji – bonitāte, vecums, audzes kopējā krāja un katras sugas krāja. Vērtību izmaiņu pielietošana cērtamo audžu atlasē taktiskajā plānošanā nodrošina to, ka ilgtermiņā peļņa ir tikai par 3.6% zemāka nekā stratēģiskajā plānošanā aprēķinātā, bet atšķirības nav būtiskas ( $p > 0.05$ ), tāpat cērtamo audžu izvēle notiek līdzīgi.
6. Precizēto meža inventarizācijas datu izmantošana taktiskajā plānošanā neuzlabo cērtamo audžu atlasē. Izmantojot gan precizētos, gan

neprecizētos meža inventarizācijas datus, iespējams atlasīt līdzīgu īpašvaru augstāko ciršanas prioritāšu audzes.

7. Galvenās cirtes taktiskajā plānošanā izvēloties cērtamās audzes pēc ikgadējām tīrās tagadnes vērtības izmaiņām, prognozējams, ka peļņa palielināsies par 8.7% un audžu tīrā tagadnes vērtība palielināsies par 9.9%, salīdzinot ar audžu izvēli pēc tradicionālajiem taktiskās vai cirsmu plānošanas principiem.

Promocijas darbā izvirzītās tēzes apstiprinās sekojoši. Pirmā tēze – taktiskajā plānošanā, izmantojot audžu tīrās tagadnes vērtības izmaiņas, cērtamās audzes izvēlēsies līdzīgi kā stratēģiskajā plānošanā, ir apstiprinājusies (5. secinājums). Otrā tēze – precīzākam audžu tīrās tagadnes vērtības aprēķinam nepieciešamo apaļo kokmateriālu iznākumu audzes kvalitātes ietekmē raksturo audzes taksācijas rādītāji un audzes reģionālā atrašanās vieta Latvijā, ir apstiprinājusies daļēji (3. un 4. secinājums). Trešā tēze – Latvijā meža inventarizācijas datus ir neprecizitātes un tās ir līdzīgas kā citās valstīs, ir apstiprinājusies (1. secinājums). Ceturtā tēze – inventarizācijas datus var precizēt, un tas uzlabos prioritāri cērtamo audžu atlasī, ir apstiprinājusies daļēji (2. un 6. secinājums). Piektā tēze – ieviešot pilnveidot plānošanas līmeņu sasaistes risinājumu, palielināsies mežsaimniecības peļņa un audžu tīrā tagadnes vērtība, ir apstiprinājusies (7. secinājums).

## INTRODUCTION

The forest management planning starts with strategic planning or calculation of harvesting volumes, where harvestable stands are chosen based on strategic goals and constraints. To maximize the net present value of stands is usually the most common strategic goal in Latvia and Nordic countries (Dubrovskis, 2007, Nilson et al., 2012, Hobbelstad, 2001). The next planning level is tactical planning, where harvestable stands are selected and harvesting sites are made under constraints of calculated harvesting volumes. The selection of similar stands should be ensured when turning from one planning level to the next (Bettinger et al., 2009), the principle of net present value maximization should be transferred from strategic to tactical planning.

The simple principle how to transfer the maximization of net present value is described as follows. The net present value of stands is calculated by harvesting now and later and after that the change in value or costs of harvesting delay are calculated. With the help of regression analysis the function for calculation of value changes could be made and parameters of forest inventory can be used as regressors. By using the stands' value changes all stands can be ranked and stands with the largest value changes should be selected priorly for harvesting in tactical planning (Jacobsson, 1986, Price, 1989). This simple way for selection of stands in tactical planning of final felling has not been studied in Latvia; in addition, the usage of this approach should increase the profitability of forestry and net present value of stands.

The forecasts of outcome of timber assortments play an important role in the calculation of net present value. Various tables of timber assortments outcome (Sprīdulis, 1963, Матузанис, 1988), forecast functions (Iesalnieks, 2002, Ozoliņš 2002) are used in Latvia. However, the timber outcome is influenced by the stand's quality that is not usually estimated in forest inventory. Several studies have been carried out in Latvia which reveal that the outcome of assortments is influenced by the stand's parameters and the stand's location in Latvia (Zālītis un Špālte, 1998, Baumanis et al., 2001, Zālītis un Špālte, 2000, Špālte, 2005, Zālītis et al. 2002). Therefore these factors could potentially be used to characterize the influence on outcome of timber assortments.

The accuracy of standwise forest inventory data (visual estimate) play an important role in tactical planning. In some countries it was found out that this data is inaccurate (Stahl, 1992, Kinnunen et al., 2003, Kuliešis un Kasperavičius, 2004). Similar conclusions were made in studies in Latvia (Dubrovskis, 2004, Veinbergs, 2007), however the studies were based on an insufficient amount of data. This means that the accuracy of standwise forest inventory in Latvia should be checked using sufficient amount of data and the



influence of inaccurate inventory data on selection of priorly harvestable stands should be assessed.

The standwise forest inventory data could be made more accurate by calibration, based on accurate re-measurement data (Li, 1988). However this calibrations solution and influence of calibrated data on selection of stand prior for harvesting have not been studied in Latvia.

Several defendable theses are proposed. First, in tactical planning, the usage of changes in the net present value will ensure that stands are chosen in a similar way to that of strategic planning. Second, for more accurate calculation of stands value, the influence of the stand's quality on the outcome of timber assortments could be described by the stands' inventory data and location in Latvia. Third, the forest inventory data is inaccurate in Latvia; inaccuracies are similar to those in other countries. Forth, forest inventory data could be calibrated and this will improve the selections of stands prior to harvesting. Fifth, implementation of this linkage solution will increase the profit of forestry and the net present value of stands.

The **objective** of the doctoral thesis is to improve the linkage between strategic and tactical planning of final felling in order to ensure that selection of harvestable stands is analogical in the tactical and strategic planning.

In order to achieve the objective the following **tasks** are set:

1. To evaluate the accuracy of standwise forest inventory in Latvia.
2. To develop a calibration solution for making inventory data more accurate.
3. To develop a solution for selection of prioly harvestable stands in final felling – based on changes in the net present value of stands.
4. To develop the solution for prediction of outcome of timber assortments for more accurate calculation of the net present value of stand, where influence of stands' quality with the help of forest inventory data would be taken into account.
5. To evaluate the improved solution for linkage of planning levels – the similarity of stands selected for final felling on both planning levels and the economic benefit from the implementation of solution.

The **novelty** of the thesis: with sufficient amount of data the accuracy of standwise forest inventory in mature stands has been measured in Latvia and a solution for calibration of data has been found. A function for calculation of the outcome of timber assortments has been made, where the influence of the stand's quality is partially described by the forest inventory data. A function for calculation of the stand's changes in the net present value has been made (taking into account Latvia's tree growth models, outcome of timber assortments, prices), and the linkage of strategic and tactical planning could be ensured by using this function.

**Practical** significance: the developed solution for linkage the planning levels ensures that the selected harvestable stands in tactical planning are

similar to the selected harvestable stands in strategic planning. And the developed solution ensures the increase of forestry efficiency – the profit could increase by 8.7% and net present value of stands by 9.9%, if compared to traditional planning principles.

### 3. MATERIALS AND METHODS

The study was performed within the period from year 2012 to year 2015. The study covers the most common tree species of Latvia: pine (*Pinus sylvestris* L.), spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), birch (*Betula* spp.), aspen (*Populus tremula* L.) and black alder (*Alnus glutinosa* L.). The study was carried out in the whole territory of Latvia, the data of JSC “Latvijas valsts meži” (Latvia state forests) were used; the company manages state forests (1.4. million ha) throughout Latvia and half of Latvia’s forests are under their management.

#### 3.1. Materials

The standwise forest inventory data, stand measurements by callipers and harvesters’ measurements of years 2010 – 2012 of JSC “Latvijas valsts meži” were used, as well as state forest research institute “SILAVA” national forest inventory data of years 2009 – 2013 for the territory of JSC “Latvijas valsts meži”. The standwise forest inventory data were selected from the stand data base of forest inventory data. The stand measurements by callipers were acquired from the stands where harvesting sites were measured and harvester measurements were acquired from the stands where harvesting of trees was done by harvesters.

**The accuracy of standwise forest inventory** was measured by comparison of the volume of growing stock in standwise forest inventory and in measurements by callipers (accurate re-measurements). The sampled population represents mature and overmature stands, a total of 1300 stands were used, including 537 pine, 178 spruce, 379 birch, 173 aspen and 33 black alder stands. Data on the growing stock volume of stands for first and second storey and the total volume of the stand were selected from standwise forest inventory and measurements by callipers.

**The calibration functions for making more accurate standwise forest inventory** were made using standwise forest inventory data and measurements of callipers (accurate re-measurements). The sample population was made from 720 mature and overmature stands, including 160 pine, 160 spruce, 160 birch, 160 aspen and 80 black alder stands. Using standwise forest inventory and measurements by callipers the following data was selected for each tree species in first and second storey: mean height, basal area, volume, site index and dominant tree species. The improvement of accuracy of standwise forest inventory was measured by sampled population of 1300 stands (mentioned above). Using standwise forest inventory data and

measurements by callipers, the following data was selected for each tree species in first and second storey: mean height, basal area, volume, site index and dominant tree species.

**The influence of the stand's quality on the outcome of timber assortments** were estimated, firstly, by identifying the regional differences in sawlogs outcome, secondly, by the influence of the stand's quality. Regional differences in sawlogs outcome were estimated for pine, spruce and birch by using the data of measurements by harvesters and measurements by callipers. In total, the data of 1645 stands for pine, 1202 for spruce and 1531 for birch were used. The outcome of sawlogs was set as proportion of volume of sawlogs from total volume of timber assortments for each species. The influence of the stand's quality on the outcome of timber assortments was set by using 510 mature and overmature stands, including 120 pine, 120 spruce, 120 birch, 120 aspen and 30 black alder stands. The following parameters were selected for each tree species from standwise forest inventory: site index, age; from measurements by callipers: growing stock volume of each species, mean diameter and height (first and second storey), ratio of diameter and height; from measurements by harvesters: the volume of each timber assortment. The following assortment groups exist: sawlogs, veneer logs, pulpwood, fuel wood, and pine has eight, spruce seven, birch six, aspen five, black alder four timber assortments.

**Annual changes in the net present value** were calculated by using the national forest inventory data, a total of 1211 stands (sample plots) were used, including 594 pine, 196 spruce, 288 birch, 86 aspen and 47 black alder stands. The following data was selected for each stand: age of dominant species, site index and mean height, mean diameter, number of trees, basal area and growing stock volume of each species of first and second storey.

**Evaluation of improved linkage between planning levels** was made by using several data sources. The national forest inventory data was used for calculation of the strategic plan. For calculation the following data was selected for each stand: age of dominant species, site index and mean height, mean diameter, number of trees, basal area and growing stock volume of each species of first and second storey.

For characterizing the stands available for final felling on tactical planning level, the sample population of standwise forest inventory of 1300 stands, including 537 pine, 178 spruce, 379 birch, 173 aspen and 33 black alder stands was used. To characterize the stands that had been planned for harvesting by traditional planning principles the sample population of 1300 stands from standwise forest inventory were selected including 536 pine, 172 spruce, 451 birch, 99 aspen and 42 black alder stands. For each stand the standwise forest inventory data and measurements by callipers were used: dominant species, sit index, age of dominant species, growing stock volume of the stand and the volume of pine, spruce, birch, aspen and black alder.

The economic benefit from improved linkage of planning levels was calculated by using the same national forest inventory data that had been used for calculation of strategic plan (mentioned above).

### 3.2. Methods

**The accuracy of standwise forest inventory** was measured by comparing the growing stock volume in standwise forest inventory and measurements by callipers (accurate re-measurements). The volume was compared for stands of various species, pure stands/ mixed stands, dominant species/ non-dominant species, each species and stands with groups of volume (lower than 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 200.1 – 300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, 300.1 – 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, and more than 400.1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>). Accuracy was measured by systematic error – relative bias (equation 3.1) and variation of data – relative root means square error (equation 3.2).

$$\Delta\% = 100 \times \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n}}{\bar{y}} \quad (3.1)$$

$$s\% = 100 \times \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}}{\bar{y}} \quad (3.2)$$

where:  $\Delta\%$  – relative bias,  $s\%$  – relative root means square error,  $\hat{y}_i$  – growing stock volume of measurements by callipers (accurate re-measurements) for stand  $i$ ,  $y_i$  – growing stock volume of standwise forest inventory for stand  $i$ ,  $\bar{y}$  – mean growing stock volume of measurements by callipers (accurate re-measurements),  $n$  – number of stands.

T-test was applied to set the significance of differences between mean volumes of both data sets.

**The calibration solution of standwise forest inventory** was made based on the interconnection between standwise forest inventory data and accurate re-measurements (measurements by callipers). Calibration functions were made for forest inventory parameters which are used for calculation of growing stock volume: mean height, basal area of dominant species and basal area of non-dominant species. The interconnection between two data sets was found by regression or covariates analysis and parameters of standwise forest inventory were used as factors. The increase of accuracy was measured by relative bias and relative root means square error (equation 3.1 and equation 3.2).

**The influence of the stand's quality on the outcome of timber assortments** were estimated, firstly, by identifying the regional differences in the sawlogs outcome in Latvia, secondly, by the influence of stand quality. The 97 territorial units of Latvia were used and sawlogs outcome of pine, spruces and birch in those territorial units were calculated. Territories with similar sawlogs outcome for each species were combined until the sawlogs

outcome starts to differ significantly between neighbouring territories, and this was set by T-test.

The function for calculation of outcome of each timber assortment was made by regression analysis. The parameters of forest inventory (influence of the stand's quality) and territories with different sawlogs outcome were used as factors in regression analysis. The accuracy of results of regression function was measured by relative bias and relative root means square error by comparing the monetary value (prices of year 2010 – 2011 were used) of all timber assortments calculated by function and actually produced (measured by harvesters).

**The stand's annual changes in the net present value** were calculated based on the general solution: two clearcut scenarios were modelled – now and ten year later. After that the annual changes in the net present value was calculated. The forestry modelling system “SILVMO” (version 7.3) of JSC “Latvijas valsts meži” was used. The system is used for strategic planning of forestry, different forestry scenarios, the growth of forest, outcome of timber assortments (that was adjusted according results of this study), income, costs and net present value can be modelled with the help of the system. The 4.24% discount rate and prices of the year 2010 – 2011 were used. Finally, the regression analysis was done and a function of changes in the net present value was made, and parameters of forest inventory were used as factors.

**Evaluation of improved solution for linkage of planning levels** was started by calculation of the strategic plan of forestry. It was calculated according to the strategic goals of JSC “Latvijas valsts meži”, and forestry modelling system “SILVMO” was used. Stands of final felling of first ten years were selected from the strategic plan.

After that the improvement of selection of stands prior for final felling was assessed in tactical planning by using the calibrated standwise forest inventory. The data of standwise forest inventory was calibrated and the annual changes in the net present value were calculated using non-calibrated and calibrated data. After that stands were selected for harvesting in final felling based on non-calibrated, calibrated data and accurate re-measurements (measurements by callipers). The T-test was used to set whether the mean values of all three data sources differ significantly.

In the next step the similarity of harvestable stands selected in strategic planning and in tactical planning was compared. In tactical planning the stands were selected by changes in the net present value and by traditional planning principles. The annual changes in the net present value were calculated for: all stands available for final felling, stands selected in strategic planning, stands selected by changes in the net present value and by traditional planning principles in tactical planning. The significance of differences of mean values between data sets was set by T-test.

The benefit from the improved solution was evaluated comparing the net profit and net present value in two scenarios of harvestable stands selection for final felling in tactical planning: by annual changes in net present value (65% of highest harvesting priority stands were selected) and by traditional planning principles (stands were selected randomly from the stands that have reached the final felling age). The selection of stands in tactical planning was modelled for ten years, then strategic planning was repeated, a total of ten five-year periods were modelled for both planning levels. The mean profit of next ten five-year periods of both scenarios was compared using T-test. Finally, the net present value was compared in both scenarios.

## **4. RESULTS AND DISCUSSION**

This chapter describes the following study results: estimation of accuracy of standwise forest inventory and solution of data calibration that allows to increase the accuracy of data, solution for calculation of outcome of timber assortments and solution for selection of priorly harvestable stands in the final felling.

### **4.1. Estimation of accuracy of standwise forest inventory**

In the doctoral thesis, the accuracy of standwise forest inventory was estimated by two sampled populations, in the first case – the total growing stock volume of stands was estimated, in the second case – the growing stock volume of each storey (first and second) was estimated. The second estimation – the accuracy of volume in each story is included in the summary of doctoral thesis because it contains an estimation of accuracy of the total volume of the stand as well.

The accuracy of first and second storey was estimated by comparing the volume in standwise forest inventory and accurate re-measurements (measurements by callipers). The average volumes and characteristics of accuracy (relative bias and relative root means square error) of both measurements is showed in Table 2.4. (page 15 together with the calibration results of standwise forest inventory). Accuracy is estimated in the following groups: for stands of various species, pure stands/ mixed stands, dominant species/ non-dominant species, each species and stands with groups of volume (lower than  $200 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ,  $200.1 - 300 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ,  $300.1 - 400 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ , and more than  $400.1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ).

The results show that in all groups (except the volume of several individual species) the average volume differs significantly ( $p < 0.05$ ) between standwise forest inventory and accurate re-measurements. Thereby the estimation of growing stock volume in standwise forest inventory is inaccurate in stands of various species, pure stands/ mixed stands, for dominant species/ non-dominant species and in stands with different volume groups.

Generally the stand's volume of mature stands is measured systematically lower (relative bias) by 19.4% and the variance of data (relative root means square error) is 28.6% in standwise forest inventory in Latvia. The obtained results are similar to the results of studies in other countries, where it was concluded that the volume of stand is measured by 16% lower in Lithuania (Kuliešis and Kasperavičius, 2004), by 13.4% in Russia (Kinnunen et al., 2003) 15.9% in Finland (Anttila, 2002).

The volume of pine, spruce, birch and aspen stands is measured with similar accuracy but black alder stands – with higher inaccuracy.

The volume of first storey is measured by 15.0% lower whereas the volume of second storey is measured by 49.5% lower. Thereby the relative bias and relative root means square error is higher in second storey than in first storey, which means that the measurement accuracy is lower in second storey in standwise forest inventory.

The measurement accuracy in pure and mixed stands is similar, so the mixture of stands doesn't influence the measurements accuracy in standwise forest inventory. The volume of dominant and non-dominant species is measured differently. The measurement accuracy is higher for dominant species, and more inaccurate measurements are made for non-dominant species.

The measurement accuracy is different among volume groups, too. The variance is higher and the volume is overestimated for stands with lower volume. The situation is opposite for stands with higher volume – the volume of stands is underestimated in standwise forest inventory. The measurements are most accurate for stands with the volume of 200 – 300 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, the volume is overestimated by 13.4% in stands with the volume less than 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, and the volume is underestimated by 17.1% in stands with the volume of 300 – 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> and in stands with the volume of more than 400 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> it is overestimated by 26.6%.

For individual species, the measurements are most accurate for pine and birch, there are no significant ( $p > 0.05$ ) differences in mean volume between standwise forest inventory and accurate re-measurements. The volume of spruce, aspen and black alder is underestimated and mean volumes differ significantly ( $p < 0.05$ ) between both measurement methods.

The dominant species of the stand is set accurately in 82.0% cases, by species: pine 91%, spruce 75%, birch 87%, aspen 76% and black alder 82%.

#### **4.2. Making more accurate standwise forest inventory by calibration**

**A calibration function of mean height** (equation 4.1) was found by setting interconnection between height in accurate re-measurements and two parameters in standwise forest inventory: mean height and belonging to dominant species. Coefficients of function (equations 4.1) are shown in Table 2.1. For all species functions and coefficients significantly ( $p < 0.05$ ) describe

the interconnection between parameters of standwise forest inventory and accurate re-measurements.

$$H_{KOR} = K_1 \times H + K_2 \times H \times VS_{1/0} \quad (4.1)$$

where:  $H_{KOR}$  – calibrated mean height (m),  $K_1$ ,  $K_2$  – coefficients,  $VS_{1/0}$  – coefficient, if calibrated species is dominant species in stand (1 – yes, 0 – no),  $H$  – mean height in standwise forest inventory (m).

The conclusion from the regression analysis is that mean height in standwise forest inventory is overestimated by 7 – 10% for birch and black alder. And mean height for pine, aspen and black alder is a bit underestimated but for spruce the mean height is estimated most accurately.

The calibration function of the dominant species basal area (equation 4.2) is made by setting interconnection between basal area in accurate re-measurements and two parameters in standwise forest inventory: basal area of dominant species and total basal area of first storey. Coefficients of regression function are shown in Table 2.2. For all species the function significantly ( $p < 0.05$ ) describes interconnections between parameters in standwise forest inventory and accurate re-measurements.

Regression analysis shows that estimation of basal area of various dominant species has different trends. Black alder as a dominant species is overestimated but other species are underestimated and basal area of spruce and birch is influenced by the total first storey's basal area.

$$GVS_{KOR} = K_1 \times G_{VS} + K_2 \times G_{sum} \quad (4.2)$$

where:  $GVS_{KOR}$  – calibrated basal area of dominant species ( $m^2ha^{-1}$ ),  $K_1$ ,  $K_2$  – coefficients,  $G_{VS}$  – basal area of dominant species in standwise forest inventory ( $m^2ha^{-1}$ ),  $G_{sum}$  – total basal area of first storey of stand in standwise forest inventory ( $m^2ha^{-1}$ ).

The calibration function (equation 4.3) of basal area of non-dominant species of first storey and spruce of second storey is made by setting interconnection between basal area of accurate re-measurements and two parameters in standwise forest inventory: basal area of each non-dominant species and total basal area of non-dominant species of stand. Second storey of spruces was included in the same system of non-dominant species, because there are similarities of estimation. The regression function significantly ( $p < 0.05$ ) describes interconnection between parameters of standwise forest inventory and accurate re-measurements. The coefficients of regression functions are shown in Table 2.3.

$$GPS_{KOR} = K_0 + K_1 \times G_{PS} + K_2 \times G_{PSSum} + K_3 \times ST \quad (4.3)$$



where:  $GPS_{KOR}$  – calibrated basal area of non-dominant species ( $m^2ha^{-1}$ ),  $K_0, K_2, K_2, K_3$  – coefficients,  $G_{PS}$  – basal area of non-dominant species in standwise forest inventory ( $m^2ha^{-1}$ ),  $G_{PSSum}$  – total basal area of non-dominant species of first storey in standwise forest inventory ( $m^2ha^{-1}$ ),  $ST$  – first or second storey (first – 1, second – 2).

The increase of accuracy of calibrated standwise forest inventory was checked by comparing that with accurate re-measurements. At first, the standwise forest inventory parameters (height, basal area) were calibrated by developed calibration functions and after that a growing stock volume was calculated.

The increase of accuracy was estimated based on the growing stock volume for the following groups: stands of dominant species, dominant and non-dominant species, pure and mixed stands, each species and various volume groups of the stand. And the accuracy of setting the stand's dominant species was checked, too. All groups were set by accurate re-measurements. The volume of individual species was compared in cases when the volume is measured in both data sets. For comparison, the following characteristics were calculated in both sample populations: mean volume and standard error, and for estimation of accuracy the relative bias and relative root means square error was calculated. The results are shown in Table 2.4.

By developed calibration functions the volume of standwise forest inventory is made more accurate. The relative bias of volume of calibrated standwise forest inventory is decreased by 56.2 percentage points (from 19.4% to 8.5%) and relative root means square error is decreased by 19.9 percentage points (from 28.6% to 22.9%). In similar study Li (1988) concluded that relative bias could be decreased close to zero. Thereby the result of this study is not the best possible result.

As a result of calibration, the accuracy increases for the volume of all species stands, non-dominant species, stands with the volume of more than  $300 m^3ha^{-1}$ , second storey of spruce, individual species: pine, spruce and black alder, pure and mixed stands. Meanwhile the results are worse or the accuracy of standwise inventory decreases after calibrations for: dominant species, stands with volume less than  $300 m^3ha^{-1}$  and birch. Generally the standwise forest inventory is made more accurate, and it means that the selection of priority stands for harvesting in final felling should be improved.

### 4.3. Solution for calculation of timber assortments

In this chapter the solution for calculation of timber assortments is described in order to develop a more accurate calculation of the net present value from forest inventory where tree quality is not estimated.

**Regional differences of sawlogs outcome** in Latvia were found based on sawlogs outcome in mature stands. For pine three, for spruces six and for birch seven different sawlogs outcome regions were found (shown in Figures

2.1, 2.2 and 2.3). For pine the outcome of sawlogs is different in each region, whereas for birch and spruce several regions have similar mean outcome of sawlogs but those regions do not border one another. The outcome of sawlogs of pine is between percentages from  $79.4 \pm 0.2$  to  $83.5 \pm 0.3$ , spruce from  $56.2 \pm 0.6$  to  $65.6 \pm 0.4$  and birch from  $45.0 \pm 1.4$  to  $61.2 \pm 1.3$ . For all species the outcome of sawlogs in neighbouring regions differs at least by 4 – 5% and the differences are significant ( $p < 0.05$ ). It means there is a possibility to use those regions to improve the functions for calculation of timber assortments.

**The function for calculation of timber assortments** was made for more accurate calculation of the net present value where distribution of growing stock volume into timber assortments plays its role. The forest inventory data usually do not show the measurements of tree quality so an attempt is made to explain the influence of quality by parameters of forest inventory and the stand's location in Latvia.

The influence of various parameters of forest inventory on the outcome of timber assortments were checked by correlation and regression analysis. It was found out that the mean diameter as well as the diameter-height ratio and age have the highest influence on the outcome of timber assortments. However, it was found out that regions with different outcome of sawlogs do not influence significantly ( $p > 0.05$ ) the outcome of timber assortments for pine, spruce and birch. The regions have multi-correlation with three selected parameters of forest inventory (diameter, ratio of diameter-height and age).

For all species, the common function for timber assortments calculation was made by nonlinear regression analysis (equation 4.4). Influence of diameter was set as triple polynomial function; age and ratio of diameter-height were set as linear function. In most cases the function significantly ( $p < 0.05$ ) describes the outcome of each timber assortment or residues, while in some cases the function insignificantly ( $p > 0.05$ ) describes the outcome of less valuable timber assortments or residues: pine fuel wood and residues, spruce and birch fuel wood, aspen pulpwood, black alder bulk sawlogs of 18 – 23.9 cm, fuel wood and residues.

Coefficients of function are shown in Table 2.5. In practice, the outcome of timber assortments are calculated separately for each species (in first and second storey), based on each species coefficients.

$$K_{iz} = K_0 + K_1 \times D + K_2 \times D^2 + K_3 \times D^3 + K_4 \times \frac{D}{H} + K_5 \times A \quad (4.4)$$

where:  $K_{iz}$  – proportion of timber assortment with value from 0 to 1 (coefficient),  $K_0 - K_5$  – coefficients,  $D$  – mean diameter of tree species (cm),  $\frac{D}{H}$  – ratio of mean diameter (cm) and mean height (m) of tree species (coefficient),  $A$  – age of tree species (years).

The result explains the outcome of each timber assortment by coefficient from 0 to 1. The value of the coefficient is multiplied by growing stock volume of tree species and as result the volume of specific timber assortment or residues is obtained. As the timber production data of recent years was used in the study, the developed solution ensures the result which corresponds to the present situation.

Not all regression factors have significant influence on the outcome of timber assortments (see Table 2.5). However, in order to retain a common approach, the same function is kept for all species and timber assortments. Such factors as ratio of diameter-height and age in average improve the explained part (characterize coefficient of determination) of regression function by 2.5% for pine, 1.5% for spruce, 4.2% for birch, 5.1% for aspen and 2.1% for black alder, if compared with the situation that those factors was not been used in regression analysis.

The necessity to use additional factors is confirmed by another study found out that the tree diameter does not characterize the influence of tree quality on the outcome of timber assortments (Dubrovskis et al., 2014).

Table 2.6 shows the comparison of monetary value of timber assortments calculated by developed function for calculation of outcome of timber assortments and actually produced by harvesters. The calculated value of timber assortments has relative bias 0.3% and relative root means square error 10.4 compared with the value of timber assortment actually produced by harvesters. Comparing the established results with a similar study (Malinen et al., 2014) the relative bias is similar but relative root means square error is two three times larger.

#### **4.4. Changes in the net present value of stands for selection of priorly harvestable stands**

A function for calculation of annual changes in the net present value was made based on the stand's parameters of forest inventory and the stand's annual changes in the net present value, which were calculated as difference between the value of the stand harvested now or ten years later. The usage of annual changes in the net present value allows arranging stands and selecting those which are priorly harvestable in final felling and allows transmitting the principle of maximization of net present value from strategic planning to tactical planning.

By regression analysis it was found out which parameters of forest inventory influence the changes in the net present value. For all species, a common function was made (equation 4.5) and the function significantly ( $p < 0.01$ ) describes the annual changes in the net present value.

In the regression analysis, the annual changes in the net present value are mostly explained by such parameters of forest inventory: age of dominant species, site index, total volume (sum of first and second storey) and the

volume of each species: pine, spruce, birch, aspen and black alder. Similar factors are mentioned in similar studies: age, number of trees, volume, fraction of pine and spruce (Jonsson et al., 1993), age, diameters, volume, ratio of diameter and age (Thuresson, 1995).

In the regression function, the influence of total volume and the volume of pine are displayed nonlinear, because such approach more accurately describes the value changes at a smaller and larger stand's growing stock volumes. Coefficients of regression function are shown in Table 2.7 and all coefficients have significant ( $p < 0.05$ ) influence on the value changes.

$$NPV_{\Delta} = K_0 + K_1 \times Bon + K_2 \times A + K_3 \times V + K_4 \times V^2 + K_5 \times V^3 + K_6 \times V_P^2 + K_7 \times V_E + K_8 \times V_B + K_9 \times V_A + K_{10} \times V_M \quad (4.5)$$

where:  $NPV_{\Delta}$  – stand's annual changes in the net present value (EUR ha<sup>-1</sup>),  $K_0 - K_{10}$  – coefficients,  $Bon$  – site index (codes: I<sup>a</sup> – 0, I – 1, ..., V<sup>a</sup> – 6),  $A$  – age of dominant species (years),  $V$  – stand's growing stock volume (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_P$  – growing stock volume of pine (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_E$  – growing stock volume of spruce (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_B$  – growing stock volume of birch (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_A$  – growing stock volume of aspen (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>),  $V_M$  – growing stock volume of black alder (sum of first and second storey) (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>).

The example of annual changes in the net present value of I<sup>a</sup> site index pure pine stand is shown in Table 2.8. In the table the annual changes are divided into five harvesting priority groups that are marked by colours. The highest harvesting priority group includes stands with decrease in the net present value more than -210 EUR ha<sup>-1</sup> (marked dark green). The second harvesting priority -140 – -210 EUR ha<sup>-1</sup> (marked light green), third harvesting priority -70 – -140 EUR ha<sup>-1</sup> (marked yellow), fourth harvesting priority 0 – -70 EUR ha<sup>-1</sup> (marked brown). The lowest harvesting priority group includes stands with increase in the net present value (marked red).

Older and higher stocked stands have the highest value changes and highest harvesting priority, and vice versa in younger and lower stocked stands. Equivalent results – older and higher stocked stands have higher harvesting priority – were obtained in a similar study (Jonsson et al., 1993).

In the tactical planning of final felling, the annual changes in the net present value can be calculated based on parameters of forest inventory for each stand using the created function (equation 4.5). Based on annual changes stands could be arranged and priorly selected for harvesting with the highest decrease in the net present value. It should still be remembered that the value change is only one of several factors that affect a decision to harvest the stand. Other factors, such as neighbour clearcuts, size of harvesting area, harvesting conditions, localization of stand also affect the

selection of a stand for harvesting. Therefore not always highest harvesting priority stands will be available for harvesting.

#### **4.5. Evaluation of improved solution for linkage of the planning levels**

**The similarity of stands selected for harvesting in the strategic and tactical planning** was clarified comparing the stands' annual changes in the net present value. In the beginning the strategic plan – area of final felling – was calculated. The area of final felling for first ten years is 150,830 ha, which is 49% of the harvestable stands in final felling; this means that there are options to select stands for harvesting.

It was afterwards clarified whether the calibrated standwise forest inventory data improve the selection of stands prior for harvesting. Stands for harvesting were selected (based on value changes) by different forest inventory data (Table 2.9) according to area of final felling for first ten years. The selection of stands was based on the value changes that were calculated based on the forest inventory data used. The comparison of stands was based on the value changes that characterize the true conditions of stands – accurate re-measurements (measurements by callipers).

Average value changes in the net present value of stands selected by non-calibrated or calibrated forest inventory data does not differ significantly ( $p>0.05$ ) for all stands and for individual species. Meanwhile, average value changes of stands selected by accurate re-measurements differ significantly ( $p<0.05$ ) in both cases and value changes are by 5.2% and 7.8% higher compared with non-calibrated and calibrated forest inventory data. That means if standwise forest inventory had been accurate or accuracy of standwise forest inventory had been increased by calibration, stands would be selected with higher harvesting priority.

Thereby we can conclude that usage of calibrated standwise forest inventory data does not improve the selection of stands priorly meant for harvesting and does not improve the linkage of planning levels. It means that non-calibrated standwise forest inventory data can be used in tactical planning.

When modelling a situation where non-calibrated standwise forest inventory data was used in tactical planning, the conclusion was that all in all 67% of highest harvesting priority stands had been selected. During modelling it was assumed (based on other studies) that 20% of stands were not available for harvesting for different reasons (neighbouring clearcuts, localization, harvesting conditions and others), thus the conclusion is that additionally 13% of highest priority stands are not selected because of inaccurate data.

In the next stage the similarity of value changes was compared for stands selected (by non-calibrated standwise forest inventory) in tactical planning with: firstly, all stands available for final felling, secondly, stands selected for

harvesting in strategic planning, thirdly, stands selected by traditional harvesting principles – actually harvested stands. The mean annual changes in the net present value for mentioned stands are shown in Table 2.10.

In strategic planning stands selected for harvesting have 43.6% higher annual decrease in the net present value comparing with the mean decrease in the net present value of all stands available for final felling, and average values in both cases differ significantly ( $p < 0.05$ ) in the total of all species.

In tactical planning stands selected for harvesting by changes in net present value have in average a 24.2% higher decrease in net present value compared with mean decrease in the net present value of all stands available for final felling, and the values differ significantly ( $p < 0.05$ ). It means that usage of annual changes in the net present value ensures the selection of higher harvesting priority stands but not the same as in strategic planning because average values differ significantly ( $p < 0.05$ ).

It means that the stands selected in tactical planning by annual changes in the net present value and by non-calibrated standwise forest inventory data ensure the selection of stands like in strategic planning but not completely the same.

In tactical planning when stands were selected by traditional planning principles the average decrease in the net present value is 8.4% higher compared with mean decrease for all stands available for final felling and the difference is significant ( $p < 0.05$ ). And mean value of stands selected by traditional planning principles differ significantly ( $p < 0.05$ ) between strategic planning and tactical planning. However, if taking into account that in traditional planning the selection of stands is based only on stands that have reached the final felling age (diameter of final felling is ignored) then average decrease in net present value does not differ significantly ( $p > 0.05$ ) from mean value of all stands that are available for final felling and have reached the final felling age. That means that in traditional planning stands are selected randomly from all stands available for final felling that have reached the final felling age.

The annual changes in the net present value are based on calculations for clearcuts, but value changes can be used in selection felling as well. Both clearcuts and felling of stands selected in strategic planning are chosen with a similar value decrease, 39.5% and 33.5% higher respectively, than for stands available for harvesting in both felling types.

**Economic benefit from implementation of linkage of planning levels** was estimated comparing net profit and net present value in two scenarios where stands selection for harvesting in tactical planning is based on: firstly, annual changes in the net present value (title of scenario is “Value changes”), secondly, traditional planning principles (title of scenario is “Traditional”). In both scenarios the harvestable stands are selected according to the area of final felling (by species) calculated in strategic planning. And after each ten

years the strategic plan is recalculated assuming that the selected stands are harvested. Commercial thinnings in all cases are modelled according to strategic goals and it is assumed that the selected stands will be harvested.

In the “Value changes” scenario the stands for harvesting in final felling are selected based on annual changes in the net present value from the stands that have reached final felling age or diameter, assuming that only 67% of the highest harvesting priority stands are available for harvesting (arguments described in previous chapter). In the “Traditional” scenario the stands for harvesting were selected randomly from all stands available for final felling (had reached final felling age).

The net profit of next ten five year periods on both scenarios is shown in Table 2.11, and the figures of the third scenario (scenario title “Strategic planning”) were also calculated. The “Strategic planning” scenario shows the strategic plan and characterizes the situation when the strategy would be fully implemented.

In the “Value changes” scenario the usage of value changes for the selection of harvestable stands ensures that the net profit is only 3.6% lower than in the “Strategic planning” scenario but the differences of mean net profit values are not significant ( $p>0.05$ ). Thus the results of this study confirm the results of similar studies – the decisions of the strategic planning optimization by annual changes in the net present value can be transferred to tactical planning (Jonsson et al., 1993).

If selection of stands for harvesting in final felling are based on annual changes in the net present value, net profit of next fifty years will be increased by 8.7% and net present value – by 9.7% compared with traditional planning principles.

## CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. The standwise forest inventory of mature stands has relative bias (volume is underestimated) of 19.4% and relative root means square error of growing stock volume is 28.6% in Latvia, which corresponds to similar studies in other countries.
2. Based on accurate re-measurements the calibration functions have been made for pine, spruce, birch, aspen and black alder parameters of forest inventory which are used for volume calculations: mean height, basal area of dominant and non-dominant species. The usage of calibration functions allows to make more accurate estimation of growing stock volume, the relative bias is decreased by 56.2 percentage points and relative root means square error by 19.9 percentage points.
3. For more accurate prognosis of outcome of timber assortments, the regional differences in sawlogs outcome was set. Outcome of sawlogs changes for spruce by 9.4%, for pine by 10.5% and for birch by 16.2% in the territory of Latvia. However, it is not possible to prove the regional outcome differences on individual timber assortments.
4. For more accurate calculation of timber assortments, the function of calculation of timber assortments outcome was made for pine, spruce, birch, aspen and black alder, and the following were used as influencing factors: mean diameter, ratio of mean height-diameter and age. The ratio of height-diameter and age could be viewed as quality parameters of the stand, because those factors additionally explain the function (the coefficient of determination) by 2.5% for pine, 1.5% for spruce, 4.2% for birch, 5.1% for aspen and 2.1% for black alder.
5. The regression function has been made for calculation of the stands' annual changes in the net present value, and the following simply determinable parameters of forest inventory were used as factors: site index, age, total growing stock volume of stand and growing stock volume of each species. Usage of value changes ensures only 3.6% lower long term net profit than in strategic planning but the difference is not significant ( $p>0.05$ ), thus the selection of harvestable stands is done similarly.
6. The usage of calibrated or more accurate forest inventory data will not improve the selection of priorly harvestable stands. By using both



calibrated and non-calibrated forest inventory data it is possible to select a similar proportion of highest harvesting priority stands.

7. The selection of harvestable stands in tactical planning of final felling by changes in the net present value ensures the increase of net profit by 8.7% and net present value by 9.9% comparing by traditional planning principles in tactical planning.

Summary of confirmation of defendable thesis. First thesis – in tactical planning, the usage of changes in the net present value will ensure that stands are chosen in a similar way to that of strategic planning, is confirmed (5<sup>th</sup> conclusion). Second thesis – for more accurate calculation of stands value, the influence of the stand's quality on the outcome of timber assortments could be described by the stands' inventory data and location in Latvia, is confirmed partly (3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> conclusion). Third thesis – the forest inventory data is inaccurate in Latvia; inaccuracies are similar to those in other countries, is confirmed (1<sup>st</sup> conclusion). Forth thesis – forest inventory data could be calibrated and this will improve the selections of stands prior to harvesting, is confirmed partly (2<sup>nd</sup> and 6<sup>th</sup> conclusion). Fifth thesis – implementation of this linkage solution will increase the profit of forestry and the net present value of stands, is confirmed (7<sup>th</sup> conclusion).

## **PUBLIKĀCIJAS UN ZIŅOJUMI PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU/ PUBLICATIONS AND PRESENTATIONS**

### **PUBLIKĀCIJAS/ PUBLICATIONS**

1. Grīnvalds A. (2014) *Calibration of forest inventory data by precise pre-harvest measurements*. In: Proceedings of Nordic Baltic Conference OSCAR14 "Solutions for Sustainable Forestry Operations", Knivsta, 25 – 27 June 2014, Sweden: Fran Skogforsk Nr 830-2014, p. 43 – 44.
2. Grīnvalds A, (2014) *Regional differences of final felling sawlog outcome in Latvia*. In: Proceedings of Annual 20<sup>th</sup> International Scientific Conference "Research for Rural Development 2014", Jelgava, 21 – 23 May 2014, Latvia: Latvia University of Agriculture. Vol. 2, p. 70 – 75. (AGRIS; CAB ABSTRACTS; EBSCO; Web of Science; SCOPUS)
3. Grīnvalds A. (2014) *The accuracy of standwise forest inventory in mature stands*. Proceedings of the Latvia University of Agriculture, Vol.32, Issue 1, Jelgava, Latvia p. 2 – 8. (AGRIS; CAB Abstracts, CABI Full text, EBSCO)
4. Grīnvalds A. (2015) *Unification of stands selection for final felling in strategic and tactical planning*. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific Conference "Rural Development 2015", Akademija, 19 – 20 November 2015, Lithuania: Aleksandras Stulginskis University, p. 1 – 5. (EBSCO)

### **ZIŅOJUMI/ PRESENTATIONS**

1. 18th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development", 16-18 May 2012, Jelgava, Latvia. Referāts: *Assessment of more suitable forest inventory method for forest management strategic planning*.
2. Zinātniski praktiskā konference "Mežzinātne un prakse nozares attīstībai", 2014. gada 25. līdz 27. martam, Jelgava, Latvija. Referāts: *Meža inventarizācijas datu precizitāte galvenās cirtes vecuma audzēs*.
3. 20th Annual International Scientific Conference „Research for Rural Development 2014”, 21-23 May 2014, Jelgava, Latvia. Referāts: *Regional differences of final felling sawlog outcome in Latvia*.
4. Nordic Baltic Conference OSCAR14 "Solutions for Sustainable Forestry Operations", 25-27 June 2014, Knivsta, Sweden. Referāts: *Calibration of forest inventory data by precise pre-harvest measurements*.

5. Recent progress in Silvicultural Technology – a Workshop on New Techniques/ Technologies and Simulation and System Analyses for Target – Oriented Silviculture, 26-27 August 2014, Suonenjoki, Finland. Referāts: *The impact of delayed precommercial thinning on the sawlog outcome in a final felling.*
6. Zinātniski praktiskā konference “Mežzinātne un prakse nozares attīstībai”, 2015. gada 16. līdz 19. martam, Jelgava, Latvija. Referāts: *Apaļo kokmateriālu iznākums galvenajā cirtē un to ietekmējošie taksācijas rādītāji.*
7. 7th International Scientific Conference ”Rural Development 2015: Towards the Transfer of Knowledge, Innovations and Social Progress”, 19-20 November 2015, Akademija, Kaunas district, Lithuania. Referāts: *Unification of stands selection for final felling in strategic and tactical planning.*

## **PATEICĪBAS/ ACKNOWLEDGEMENTS**

Autors izsaka pateicību AS "Latvijas valsts meži" par iespēju pētījumā izmantot uzņēmuma meža inventarizācijas un apažo kokmateriālu ražošanas datus un pateicību Latvijas Valsts mežzinātnes institūtam "SILAVA" par iespēju pētījumā izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus.

The author would like to express his appreciation to AS "Latvijas valsts meži" for possibility to use forest inventory data and timber production data and to Latvia's state forest research institute "SILAVA" for the possibility to use national forest inventory data.