

**LR Zemkopības ministrija**  
***Meža attīstības fonds***  
**Latvijas Lauksaimniecības universitāte**

**Meža apsaimniekošanas  
plānošanas procesa informācijas  
sistēmas objektu modeļa  
aprobācija**

**Projekta vadītājs:**  
Irina Arhipova

**Projekta izpildītāji:**  
Sergejs Arhipovs  
Salvis Daģis  
Dagnis Dubrovskis  
Artūrs Mežals  
Rūdolfs Ozoliņš  
Ingus Šmits

Jelgava  
2007

# SATURS

<b>Ievads</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Informācijas sistēmas prototipa datu ieguves bloka imitācija</b> .....	<b>4</b>
1.1 Meža saimniecisko pasākumu kontroles procesa prototipa imitācija.....	4
1.1.1 Inventarizācijas datu vadības procesa apraksts .....	5
1.1.1.1 Inventarizācijas procesa datu apraksts .....	7
1.1.1.2 Datu vadības metodes, rīki, to izmantošanas scenāriji .....	8
1.1.1.3 Datu vadības rīku izmantošana .....	11
1.1.2 Inventarizācijas datu vadība izmantojot GIS datus un „Mobilo taksāciju”.....	12
1.1.2.1 GIS izmantošana .....	13
1.1.2.2 Mobilā taksācija .....	14
1.1.2.3 Papīra datu ievades scenārijs.....	14
1.1.2.4 Mobilās aplikācijas apraksts.....	17
1.1.3 Saimniecisko rīkojumu plānošana .....	17
1.1.3.1 Plānošanas līmeņi.....	18
1.1.3.2 Saimniecisko rīkojumu plānošanas procesa realizācija.....	21
1.2 Meža apsaimniekošanas plānošanas procesa prototipa imitācija.....	24
1.2.1 Meža augšanas gaitas imitācija - koku augšanas gaitas matemātiskie modeļi un to adaptācija Latvijas apstākļiem .....	25
1.2.1.1 Latvijas mežu augšanas gaitas aproksimācijas problēma .....	26
1.2.1.2 Pētījumu objekts .....	28
1.2.1.3 Datu struktūras .....	31
1.2.1.4 Matemātiskie modeļi.....	32
1.2.2 Virtuālās dastlapas algoritma uzlabojumi .....	34
1.2.2.1 Virtuālās dastlapas ģenerēšanas algoritms.....	35
1.2.2.2 Caurmēra sadalījuma noteikšana ar mākslīgo neironu tīklu .....	36
1.2.3 Kapitālvērtības imitācija.....	42
<b>2 Koksnes resursu plūsmas vadības prototipa imitācija</b> .....	<b>46</b>
2.1 Koksnes resursu loģistikas sistēmas struktūra.....	49
2.2 Latvijā pastāvošie koksnes resursu piegādes procesi.....	51
2.3 Koksnes loģistikas informācijas sistēmas lietošanas gadījumi .....	54
2.3.1 Sistēmas izmantošanas mērķi .....	56
2.3.2 Sistēmas izmantošanas modeļi .....	58
<b>3 Informācijas sistēmas prototipa validācija un testēšana</b> .....	<b>60</b>
3.1 Projekta vienotais kopskats .....	61
3.2 MAPIS sistēmas apraksts.....	65
3.2.1 Konceptuālais modelis .....	66
3.2.2 Funkcionālais modelis .....	69
3.2.3 Testēšanas process meža augšanas gaitas virtuālo un reālo datu salīdzināšanas un mežaudžu elementu un struktūru sistēmas procesu uzdevumos .....	75
<b>Secinājumi</b> .....	<b>76</b>
<b>Izmantotā literatūra</b> .....	<b>78</b>
<b>Pielikums 1. Meža apsaimniekošanas plānošanas IS PPS</b> .....	<b>79</b>
<b>Pielikums 2. Meža kapitālvērtības IS prototipa PPA</b> .....	<b>79</b>
<b>Pielikums 3. Meža tematiskas kartes un ĢIS datu vadības IS prototipa PPA</b> .....	<b>79</b>
<b>Pielikums 4. M-Taksācijas IS prototipa PPA</b> .....	<b>79</b>
<b>Pielikums 5. Publikācija ESM'2007 konferencē</b> .....	<b>79</b>

## Ievads

Lai nodrošinātu ilgtspējīgas meža apsaimniekošanas prasību ievērošanu privātajos meža īpašumos, jāizstrādā efektīva, ekonomiski pamatota meža apsaimniekošanas plānošanas sistēma, tajā ietverot jaunāko informācijas tehnoloģiju sasniegumu nodrošinājumu. Šāda sistēma var tikt izmantota privāto meža īpašnieku konsultāciju pakalpojumu sniegšanai, mežsaimniecisko pasākumu optimizēšanai un mežsaimniecības efektivitātes paaugstināšanai.

Projekta ietvaros paredzēts izveidot specializētu meža apsaimniekošanas plānošanas informācijas sistēmu (MAPIS), kura sevī ietvertu gan ikgadējo optimālo ciršanas apjomu noteikšanu, gan taktisko un operatīvo meža apsaimniekošanas plānošanu un kontroli.

Sadarbojoties LLU Meža un Informācijas tehnoloģiju fakultātēm, līdzšinējos LLU pētniecības projektos 2005.gadā tika izpētīta meža inventarizācijas un apsaimniekošanas plānošanas algoritmu metodoloģiskā bāze. Lai noformulētu MAPIS prasības, 2006.gada LLU pētniecības projekta ietvaros tika izveidots meža apsaimniekošanas plānošanas procesa informācijas sistēmas objektu modelis, kas ir priekšnosacījums turpmākai informācijas sistēmas izstrādei (1.pielikums, 2.pielikums, 3.pielikums, 4.pielikums).

2007.gada Meža attīstības fonda projektā Nr. 240907/S349 tika aprobēta meža teritoriālās plānošanas informācijas sistēma, kura sastāv no meža inventarizācijas datu ieguves, stratēģiskās, taktiskās un operatīvās meža apsaimniekošanas plānošanas un saimnieciskās darbības kontroles.

2007.gada Meža attīstības fonda projekta mērķis - aprobēt meža apsaimniekošanas plānošanas procesa informācijas sistēmas prototipu, kuru iespējams izmantot meža apsaimniekošanas procesu modelēšanai, stratēģiskās, taktiskās un operatīvās plānošanas lēmumu pieņemšanai un mežsaimnieciskās darbības kontrolei.

Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- Informācijas sistēmas prototipa datu ieguves bloka imitācija, t.sk.:
  - Meža augšanas gaitas imitācija.
  - Mežaudžu elementu un struktūru prototipu uzvedības imitācija.
  - Meža apsaimniekošanas plānošanas procesa prototipa imitācija.
  - Meža saimniecisko pasākumu kontroles procesa prototipa imitācija.
  - Koksnes resursu plūsmas vadības prototipa imitācija.
- Informācijas sistēmas prototipa testēšana, t.sk.:
  - Meža augšanas gaitas virtuālo un reālo datu salīdzināšana.
  - Mežaudžu elementu un struktūru sistēmas procesu testēšana.
  - Meža apsaimniekošanas plānošanas procesu atbilstības biznesa loģikai novērtēšana.
  - Meža saimniecisko pasākumu un atbilstošo biznesa procesa salīdzināšana.

- Koksnes resursu plūsmas vadības prototipa testēšana.
- Informācijas sistēmas prototipa validācija.

Projekta ietvaros paredzēts izstrādāt datu apstrādes programmas prototipu (MAPIS) ar atbilstošu pasākumu kompleksu:

- Izpētīt un aprobēt datu ieguves apakšsistēmas inventarizācijas datu vadības darbību kopumu. Inventarizācijas datu vadību paplašināt divos virzienos: „GIS datu vadība” un „Mobilā datu vadība”. GIS datu vadība papildina inventarizācijas operācijas ar iespēju aprakstīt teritoriālās vienības telpiski, piesaistot reālām ģeogrāfiskām koordinātēm un izmantojot tematiskās kartes grafiski attēlojot inventarizācijas datus pa to kategorijām;
- Izpētīt un aprobēt meža apsaimniekošanas stratēģiskā plānošanas līmeņa apakšsistēmu, kura satur informāciju par meža apsaimniekošanas plānošanas metodi, meža kapitāla vērtības noteikšanas mehānismu, noturīgo tīro ienākumu aprēķināšanu. Kapitāla vērtības noteikšanai izmantot iepriekš iegūtos inventarizācijas datus;
- Izpētīt un aprobēt meža apsaimniekošanas taktiskā līmeņa apakšsistēmu, kas satur saimniecisko rīkojumu plānošanu. Izmantojot stratēģiskās plānošanas rezultātus un GIS informāciju par mežaudžu telpisko novietojumu, automatizēt saimniecisko pasākumu plānošanu;
- Izpētīt un aprobēt meža apsaimniekošanas operatīvā līmeņa apakšsistēmu, kas ietver koksnes resursu plūsmas, reprodiktīvo materiālu un citu resursu operatīvo plānošanu, izmantojot taktiskās plānošanas rezultātus.

Projekta rezultāti tika prezentēti starptautiskā zinātniskā konferencē „*The 2007 European Simulation and Modelling Conference*” ESM'2007, Maltā 22-24 oktobrī 2007.gada (5.pielikums).

Sagatavots un apstiprināts publicēšanai raksts I. Smits, S. Daģis, "Tasks and Data Precision Problem in Forest Management Planning Information System" starptautiskajā zinātniskajā konferencē „*E-Activity and Leading Technologies 2007*” (E-ALT 2007), Porto, Portugālē, 2007.gada 3-6.decembrī, <http://www.iask-web.org/e-alt07/e-alt2007.html>

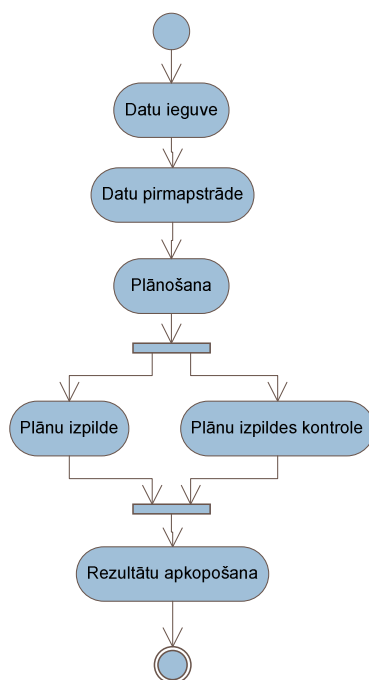
## **1 Informācijas sistēmas prototipa datu ieguves bloka imitācija**

Informācijas sistēmas darbināšanas svarīga komponente ir datu ieguves bloks. Šajā gadījumā ar datu ieguves bloku jāsaprot ne tikai inventarizācijas datu iegūšanu ar dažādām mēriekārtām vai metodēm, bet arī šo datu pirmapstrāde un pēcapstrāde – konkrētu uzdevumu pildīšanai.

### **1.1 Meža saimniecisko pasākumu kontroles procesa prototipa imitācija**

Saimniecisko pasākumu kontroles process sākas ar datu ieguves bloku, pēc kura seko šo datu pirmapstrāde un sagatavošana plānošanas uzdevumiem. Datu pirmapstrādes procesā no inventarizācijas pamatdatiem tiek aprēķināti

sekundārie dati, tādi kā audzes krāja, šķērslaukums, biežība uz hektāru, valdošā suga un sugu sastāva koeficients. No šiem pirmapstrādes procesā aprēķinātajiem datiem un inventarizācijas pamatdatiem tiek veikti plānošanas uzdevumi. Savukārt pēc plānošanas seko plānu izpilde un to kontrole, šīs aktivitātes notiek paralēli (1.1. att.).



1.1. att. Saimniecisko pasākumu aktivitātes

Plānu izpildes kontroles process nodrošina plānu izpildes kvalitāti un atbilstību LR MK prasībām. Pēc plānu izpildes seko rezultātu apkopošana, novērtēšana un analīze, kas ietekmē lēmumus nākamajiem plānošanas periodiem.

### 1.1.1 Inventarizācijas datu vadības procesa apraksts

Saimnieciskās darbības plānošana ir aktīvs process, kurš prasa rūpīgu nākotnes attīstības scenāriju prognozi, saimnieciskās darbības mērķu noteikšanu un to sasniegšanas formulēšanu. Mežierīcība ietver meža informācijas ieguvu, meža apsaimniekošanas plānošanu un saimnieciskās darbības analīzi. Meža apsaimniekošanas plānošanas procesā tiek noteikti valsts, pašvaldību un privāto mežu apsaimniekošanas mērķi un to sasniegšanas soļi. Plānošanai jābūt pietiekami vienkāršai un saprotamai, lai ar vienkāršiem paņēmieniem spētu pārliecināt lēmuma pieņēmējus par sasniedzamo rezultātu iespējamību un veicamo pasākumu efektivitāti. Plānošanas uzdevums ir saistīts ar lēmumu pieņemšanas procesu, kas bieži vien prasa rast kompromisu starp vairākiem lēmumu ietekmējošiem faktoriem un plānošanas variantiem. Mežsaimniecībā lēmumu pieņemšanas process saistīts ar ekoloģisko, sociālo un ekonomisko funkciju nodrošināšanu, tāpēc plānošanas procesa rezultātam jābūt tādām, kas nodrošina turpmāko meža funkciju ilgtspējīgu attīstību.

Plānošanas procesa efektivitāte ir atkarīga no plānošanā izmantotās informācijas kvalitātes. Informācijas ieguve ir mežierīcības komponente. Mežsaimniecībā par pamata informāciju tiek izmantoti meža inventarizācijas dati, kas aptver informāciju par īpašumā esošo meža zemju un mežaudžu stāvokli.

Bieži vien plānošana saistīta ar iepriekšējās saimnieciskās darbības rezultātu analīzi un efektivitātes novērtēšanu, tāpēc iepriekšējās saimnieciskās darbības kontrole un analīze ir uzskatāma par trešo mežierīcības komponenti.

**1. Inventarizācija** – meža aprakstīšanas un kartēšanas darbu komplekss. Inventarizācijas darbu laikā precizē apsaimniekotājam piederošā meža īpašuma robežas, apraksta taksācijas nogabalus un sagatavo materiālus daļplānu, taksācijas aprakstu un mežaudžu plānu sastādīšanai. Nosakot krāju audzēs, kurās projektē galveno cirti, pieļaujamā kļūda ir  $\pm 5\%$ , jaunaudzēs, mistraudzēs, kurās ir 3 un vairāk sugu, kā arī kokaudzēs, kuru biežība ir 0.3-0.5, pieļaujamā kļūda ir  $20\%$ , visās pārējās audzēs instrumentālajā taksācijā  $\pm 10\%$ , acumēra taksācijai  $\pm 15\%$ . Meža īpašnieka vai tiesiskā valdītāja pienākums savā īpašumā vai tiesiskajā valdījumā esošajos mežos vismaz reizi 10 gados veikt inventarizāciju un tās materiālus iesniegt Valsts meža dienestā (VMD).

**2. Meža apsaimniekošanas plānošana** pamatdokumenta izstrāde, lai nodrošinātu racionālu meža apsaimniekošanu, vides aizsardzību, kā arī ilgtspējīgu meža izmantošanu. Valsts meža dienesta un a/s Latvijas valsts meži struktūrvienībām mežierīcības darbu veikšanai licencētas juridiskas personas izstrādā valsts mežu inventarizācijas materiālus. VMD dokumentu kopa tiek izveidota saskaņā ar LR MK noteikumiem Nr.434 „Valsts meža reģistra aprites noteikumi” 19.12.2000. un satur meža inventarizācijas aprakstu un meža zemju plānu (M 1:10000). A/S Latvijas valsts meži materiālu kopu veido taksācijas apraksti, daļplāni, mežaudžu plāni, saimnieciskās darbības ieteikumi par galveno cirti un starpcirti, kā arī papildinformācija par nemeža zemēm.

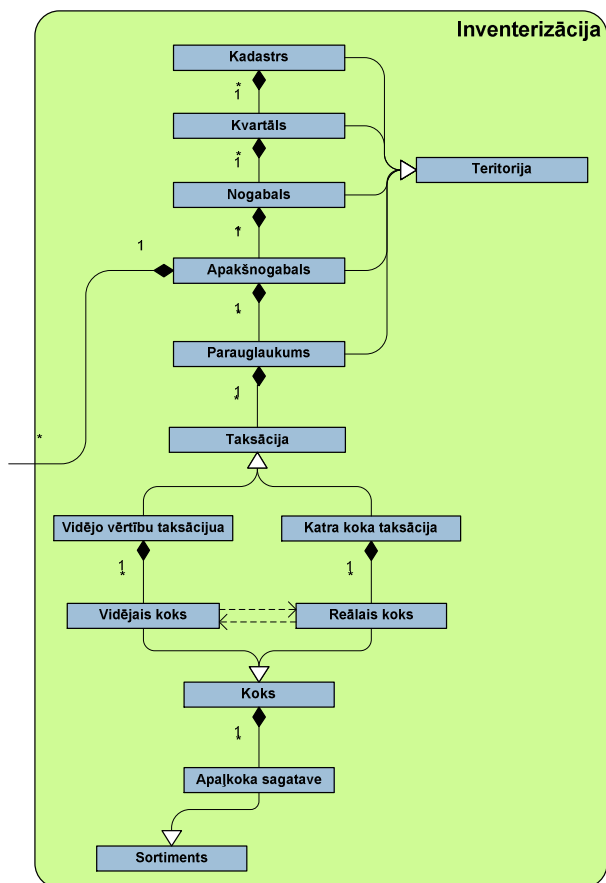
Privātmežu apsaimniekotājiem VMD licencēto juridisko personu struktūrās esošie meža taksatori izstrādā meža apsaimniekošanas plānu – dokumentu kopu, kas, balstoties uz meža inventarizācijas materiāliem ietver saimniecisko zemju sadalījumu zemju kategorijās, iedalījumu pēc apsaimniekošanas kritērijiem, meža fonda raksturojošās tabulas (sadalījumu pa valdošajām koku sugām, bonitātēm, vecumklasēm, augšanas apstākļu tipiem, meža zemju kadastrālās un mežaudžu vērtības, nogabalu aprakstošos rādītājus un ieteikumus mežsaimnieciskās darbības veikšanai. Atbilstoši LR Meža likumam, meža apsaimniekošanas plāns nav obligāts priekšnosacījums saimnieciskās darbības veikšanai.

**3. Meža apsaimniekošanas kontrole** – iepriekšējās saimnieciskās darbības analīze un kontrole ar mērķi uzlabot meža apsaimniekošanas plānošanas sistēmu, samazināt riskus, kļūdainu lēmumu ietekmi, optimizēt mežsaimnieciskās darbības lēmumu pieņemšanas procesu. Meža apsaimniekošanas kontrole parasti tiek veikta atkārtotas meža inventarizācijas laikā, kad analizējot iepriekš sastādīto meža apsaimniekošanas plānu tiek veikta plānoto darbu izpildes kontrole. Šādas kontroles laikā bieži vien zūd iespēja objektīvi novērtēt veikto mežsaimniecisko

darbību, jo kopš iepriekšējās plānošanas ir pagājis pietiekami ilgs laiks. Tāpēc nepieciešams veikt nepārtraukto mežierīcību, kas nodrošina saimniecisko pasākumu nepārtrauktu kontroli.

### 1.1.1.1 Inventarizācijas procesa datu apraksts

Meža inventarizācijas process saistīts ar teritoriālo un taksācijas datu apstrādi. No teritoriālajiem datiem šajā procesā nozīmīgu vietu ieņem šī sadalījuma funkcionalitāte. Piemēram, nogabala sadalīšana apakšnogabalos vai arī pretēji – apakšnogabalu apvienošana vienā. No GIS viedokļa vienai teritorijai tiek piesaistīta vai nodalīta otras teritorijas atributīvā informācija. Šo funkcionalitāti realizē klase „Teritorija” (1.2.att.), kuru manto pārējās teritoriālās vienības: kadastrs, kvartāls, nogabals, apakšnogabals un parauglaukums. Parauglaukuma būtība šajā sistēmā ir paplašināt sistēmas funkcionalitāti ar papildus atributīviem datiem, tādiem kā, taksācijas metode, taksators vai mēriekārta. Šādi atributīvie dati vienam apakšnogabalam var būt vairāki, kas nozīmē to, ka iegūtos datus arī no vairākām metodēm jāspēj kvalitatīvi interpretēt.



1.2. att. Inventarizācijas datu struktūra.

Katram apakšnogabalam var būt viens vai vairāki parauglaukumi, kur katram parauglaukumam ir vismaz viena taksācija. Taksācija var tik veikta ar kādu no vidējo vērtību taksācijas metodēm vai katra koka uzmērīšanas metodi.

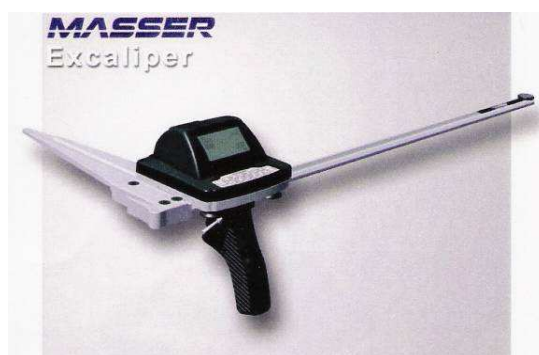
Rezultātā tiek iegūta koku kolekcija, kur vidējo taksācijas rādītāju gadījumā tā būs kolekcija „vidējais koks”, bet katra koka taksācijas gadījumā – kolekcija „reālais koks”. Starp šīm koku kolekcijām pastāv funkcionalitāte, kas realizē šo kolekciju konvertēšanu no vienas uz otru.

### 1.1.1.2 Datu vadības metodes, rīki, to izmantošanas scenāriji

Iepriekšējās nodaļās aprakstītos datu veidus var iegūt izmantojot dažādus tehnoloģiskos nodrošinājumus. Katram no tiem ir priekšrocības un trūkumi. Šajā nodaļā ir īss apraksts, par inventarizācijas procesā izmantojamo rīku veidiem un to pielietošanas metodikām.

Dažas tipiskākās ierīces, kas tiek izmantotas taksācijas procesā:

**Elektroniskie dastmēri** ir paredzēti precīzai koka caurmēra uzmērīšanai. Ierīce atkarībā no tās modifikācijas iegūstamos datus var saistīt ar koka precīzām koordinātēm, lai vēlāk šos datus varētu izmantot dažādu GIS sistēmu darbībā. Šī iekārta var uzglabāt arī papildus informāciju, piemēram, paraug koka augstumu, bojājumu vietu un kvalitāti. Šos datus izmantojot dažādas taksācijas metodikas vēlāk var vispārināt uz visu platību.



**Vienroču dastmēri** arī ir paredzēti precīzai caurmēra informācijas iegūšanai. To galvenā priekšrocība ir izmērs, svars un izmantošanas un ergonomika. Kā jau ierīces nosaukumā ir minēts, to var ērti izmantot lietojot tikai vienu roku.

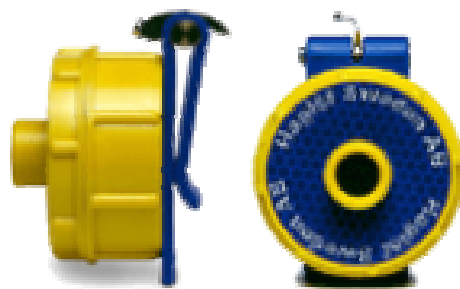


**VERTEXIII** ir lāzera ierīce, kas paredzēta taksācijas raksturlielumu – augstuma, attāluma un slīpuma iegūšanai, ar noteiktu precizitāti, kura var mainīties atkarībā no ierīces modeļa.





Ar šo ierīci tāpat, kā ar iepriekšējo var veikt attāluma, augstuma un slīpuma mērījumus. Galvenās atšķirība no iepriekšējā ir mērīšanai izmantotā metode – ultraskaņa. Lai noteiktu attālumus, tiek izsūtīti ļoti augstas frekvences (ultra) skaņas signāli un izmērīts tās atstarošanās laiks.



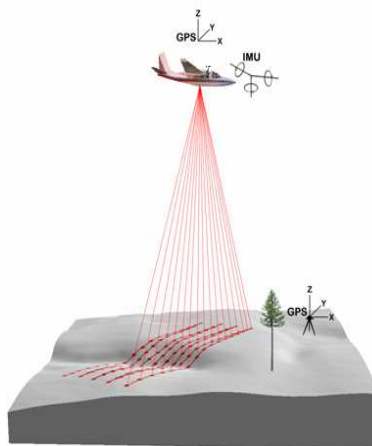
Visas iepriekš aprakstītas ierīces tiek izmantotas taksācijas procesos, lai iegūtu koka kvantitatīvos datus. Atkarība no taksācijas veida tās var tikt izmantotas, katra koka vai parauglaukuma uzmērīšanai.

Iepriekšējās nodaļās ir aprakstīts, ka pastāv divu veidu taksācijas – **precīzā taksācija** un **vidējo vērtību taksācija**. Pirmajā informācija tiek ievākta par katru koku izmantojot iepriekš aprakstītās ierīces, otrajā ievāc tikai noteiktu datu veidu (tas atkarīgs no izmantotās metodikas).

Precīzajai taksācijai galvenā priekšrocība ir iegūstamās informācijas kvalitāte, kas diemžēl neatsver izmaksas un nepieciešamo darba apjomu to kvalitatīvai izmantošanai. Šie arī ir galvenie iemesli, kas ir padarījuši otro veidu daudz populārāku un plašāk pielietotu. Salīdzinoši mazās izmaksas ir saistītas ar darbu apjomu samazināšanu, jo nav nepieciešams apskatīt, katru koku atsevišķi, bet pietiek tikai ar vidējiem datiem, kurus tālāk izmantojot dažādas statistiskas, matemātikas un mākslīgā intelekta metodes var attiecināt uz visu taksējamo apgabalu. Pie šādu metožu izveidošanas un pilnveidošanas strādā daudzi nozares speciālisti. Piemēram, vidējās taksācijas vispārināšanas algoritmu darbināšanai ir nepieciešams noteikt koka, augstumu, diametru un šķērslaukums uz hektāru. Šo mērvienību iegūšana un tālāko aprēķinu veikšana ir daudz lētāka un ātrāka nekā katra koka fiziska apstrāde, bet tā tomēr ir saistīta ar būtiskām izmaksām un investīcijām. Piemēram, taksācijas darbu veikšanai ar aprakstītajām mērierīcēm ir nepieciešami, kvalificēti speciālisti, kuru apmācība un nodarbināšana ir saistīta ar noteiktām izmaksām. Foto taksācija ir perspektīvs taksācijas veids, kas atrisina nepieciešamību, pēc taksatoru izglītošanas darbā ar specifiskām ierīcēm, jo tās veikšanai ir nepieciešams vienkāršs darbinieks, kas izmantojot ierīci, kurā apvienoti GPS iekārta un fotoaparāts, iegūst vizuālu taksējamās vietas informāciju. Vēlāk iegūtie dati tiek apstrādāti izmantojot attēlu atpazīšanas algoritmus, kas ļauj noteikti uzņemto attēlu kvantitatīvos rādītājus. Šī metode šobrīd tiek plaši analizēta un tiek veikti dažādi pētījumi, lai formalizētu tās izmantošanas detaļas, piemēram, kādā veidā ir iegūstami attēli, kā ir jānovieto mērierīce, kādi attēlu atpazīšanas un uzlabošanas algoritmi ir jālieto un cik tālu ir iespējas šos procesus automatizēt. Ideālā situācijā vienīgā speciālista iejaukšanās būtu nepieciešama tikai datu iegūšanas procesā, tālāk attēlu apstrādē automātiski tiktu noteikti visi pārējie parametri.

Foto taksācija, tāpat kā citi taksācijas veidi sniedz ļoti lokālu informāciju – datus, kas apraksta salīdzinoši nelielus apgabalus. Tas arī ir tās lielākais trūkums, kuru veiksmīgi novērš ļoti daudzsoļās attālās taksācijas metodes, tās spēj nodrošināt informāciju par lielām platībām. Attālai zondēšanai var tikt izmantoti dažādi tehnoloģiskie risinājumi:

**LIDAR** - gaismas avota atklāšana un attāluma noteikšana līdz tam. Šīs metodes darbināšanas rezultātā tiek iegūta trīsdimensiju punktu kopa, kas ir piesaistīta pasaules koordinātēm.



1.3. att. LIDAR datu iegūšana

LIDAR mērījumi tiek veikti izmantojot lidmašīnu, kura aprīkota ar globālās pozicionēšanas iekārtām un lāzera skeneri, kas lidojuma laikā perpendikulāri lidojuma virzienam (1.3. att.) mēra gaismas atstarošanās punktus.



1.4. att. Koka LIDAR dati

Apstrādājot iegūtos punktus ar dažādiem attēlu atpazīšanas algoritmiem var tikt iegūti koku 3 dimensiju modeļus (1.4. att.). Arī šīs metodes izmantošana taksācijā šobrīd vēl ir tikai pētījumu objekts, jo ir nepieciešams noskaidrot tās kvalitatīvos un kvantitatīvos raksturlielumus – izmaksas, iegūto mērījumu precizitāte, darbības rezultāti dažādu tipu mežos.

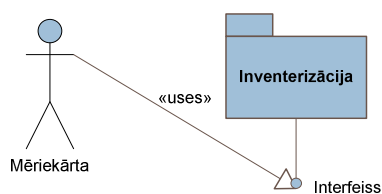
**Aerofoto** – tiek izmantota tā pati digitālās fotogrāfijas metode, kas foto taksācijā, tikai iegūtie rezultāti parāda kopainu nevis atsevišķu koku vizuālo informāciju. Būtiskākā atšķirība starp šo metodi un LIDAR ir dimensiju skaits.

Aerofoto var tikt izmantots koku skaita un iespējams caurmēram noteikšanai, bet tas nespēj sniegti datus par koku augstumu. Izmantojot iegūtos datus var novērtēt meža robežplānus, stigas un, protams, tādus mežaudzes rādītājus, kā koka diametrs, suga biežība un koku skaits uz hektāru.

Vispusīga un ar augstiem kvalitātes rādītājiem apveltīta metode tiktu iegūta kombinējot aerofoto ar LIDAR datiem. Abu metožu pozitīvās īpašību apvienojums veido ideāla pieeja taksācijas pamatdatu iegūšanai. LIDAR dati lieliski atklāj koku virsotnes un zemsedzi, savukārt aerofoto piedāvā iespēju novērtēt koku pēc tā vainaga izmēra, struktūras un krāsas.

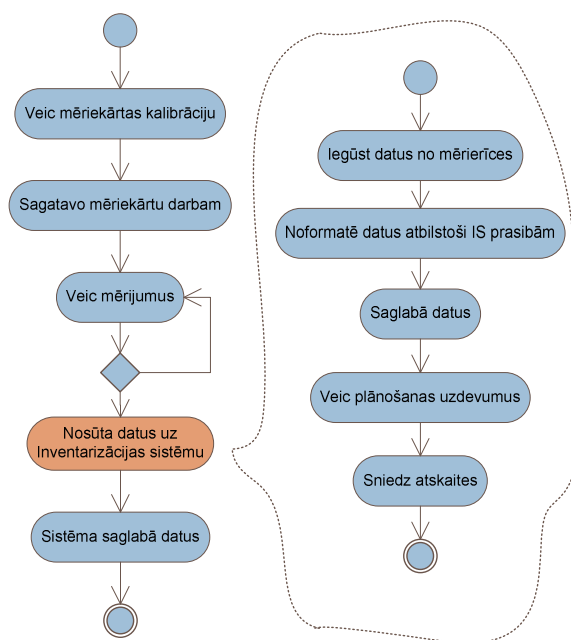
### 1.1.1.3 Datu vadības rīku izmantošana

Taksācijas procesa veikšanai parasti ir divi mērķi - izpildīt MK prasības un novērtēt meža resursus biznesa attīstībai un plānošanas uzdevumiem. Otrajā gadījumā taksācijas dati (resursu novērtējumi) ir pamat informācija, uz kuras bāzes tiek veidotas prognozes un attīstības plāni. Lai darbinātu šādus uzdevumus risinošas sistēmas ir nepieciešams novērst datu pārnese problēmas no dažādām mērierīcēm uz informācijas sistēmām. Katra mērierīcī piedāvā tai specifisku funkcionalitāti līdz ar to arī atšķirīgas datu struktūras. Diemžēl reti, kad ir pieejami universāli mēraparātu interfeisi, kas datus sniegtu vispār saprotamā formātā, kuru turpmākai izmantošanai būtu viegli konvertēt uz sistēmai saprotamu datu struktūru, piemēram, XML. Šobrīd kādas konkrētas mērierīcī pieslēgšana inventarizācijas sistēma tiek veikta manuāli katrai iekārtai izveidojot specifisku draivera programmu, kas „māk” nolasīt tajā saglabātos datus. Lielākais trūkums šādam darbības scenārijam ir nepieciešamie cilvēku resursi, kā arī sliktā iekārtu atgriežamo signālu dokumentācija. Inventarizācijas sistēma piedāvā datu importēšanas interfeisu (1.5.att.), kuru realizē atbilstoši mērierīcī datu struktūrai un ko būt nepieciešams padarīt universālāku.



1.5. att. Inventarizācijas datu iegūšanas interfeiss.

Interfeisa lietošana šajā sistēmā piedāvā vienošanos par standarta datu struktūrām un funkcijām, atbilstoši realizējot šo interfeisu - jebkura mērierīcī var būt kā sistēmas datu avots.



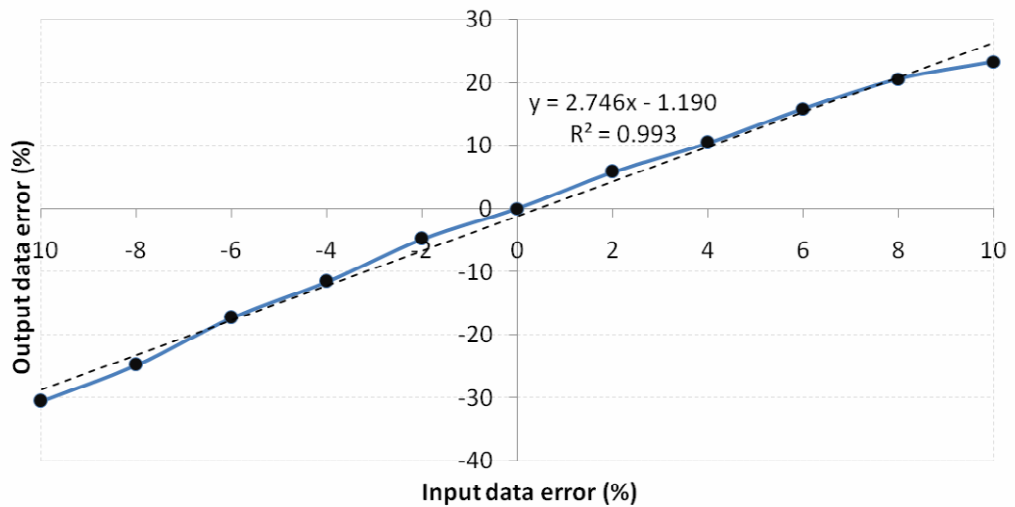
1.6. att. Inventarizācijas sistēmas un mēriekārtu mijiedarbība

Aprakstīto iekārtu un sistēmas mijiedarbību var redzēt 1.6. attēlā. Pirmajā diagrammā ir parādīta darbību, kopa, kas tiek veikta izmantojot mēriekārti, bet otrajā jau mērījumu datu izmantošana. Aktivitātes „Veic mēriekārtas kalibrāciju” un „Sagatavo mēriekārtu darbam” ir atkarīgas no iekārtas tipa un tās var arī netikt izpildītas dažiem to veidiem. Mērījumu veikšanas ir ciklisks process, kas atkārtojas tik daudz reižu cik objektu (objektu parametru) tiek nomērīti. Pēc mērījumu pabeigšanas (iespējams, jau arī pašā mērīšanas procesa ietvaros) dati tiek nosūtīti uz inventarizācijas sistēmu, kas pārformē datus atbilstoši sistēmas prasībām. Nākamās aktivitātes ir datu saglabāšana un plānošanas uzdevumu izpilde.

### 1.1.2 Inventarizācijas datu vadība izmantojot GIS datus un „Mobilo taksāciju”

Iepriekšējās nodaļas apraksta kādi dati un tehnoloģiskie risinājumi tiek izmantoti inventarizācijas datu ieguvei, bet nemazāk svarīgs ir šo datu attēlošanas un apstrādes process. Lietotājam ir nepieciešams uzskatāmā veidā iegūt informāciju par dažādiem teritorijas rakstura lielumiem un to savstarpējo mijiedarbību (piemēram, aizsarg teritorijas, dabas liegumi u.tml.).

Inventarizācijas datu vadībai izmantojot GIS datus un „Mobilo taksāciju” var tikt lietota jebkura no iepriekš aprakstītajām tehnoloģijām. Būtiski ir, lai dati saturētu piesaisti to ģeogrāfiskajām koordinātēm un ievades process tiktu nodrošināts izmantojot GIS interfeisu (Smits I., Arhipovs S., 2006). Turpmākajās nodaļās tiks aprakstīti divi datu ievades scenāriji, kur viens raksturo esošo situāciju, bet otrs uzlaboto datu ievades mehānismu izmantojot „Mobilo taksāciju”.

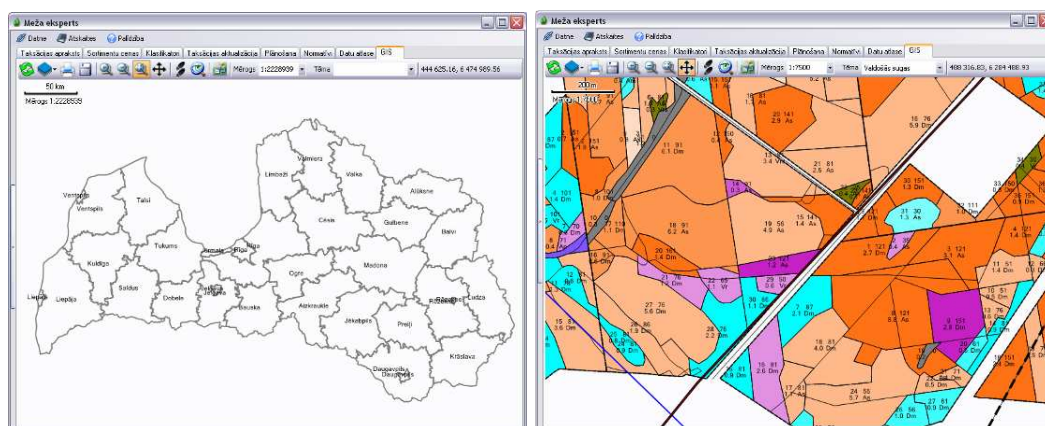


1.7. att. Ieejas-izejas datu kļūdas novērtējums

Tās mērķis ir palielināt sistēmas darbības precizitāti, kuras atkarība no ieejas datu kļūdas var apskatīt 1.7. attēlā. Lai noskaidrotu kļūdas ietekmi uz rezultātiem tika veikts pētījums, kurā tiek salīdzināti sistēmas rezultāti pie ieejas datiem ar dažādu lielumu nobīdēm. Pētījuma rezultāts apstiprina pieņēmumu, ka datu ieguves procesā pieļautās kļūdas būtiski atspoguļojas uz plānošanas rezultātiem – tīrājiem ienākumiem. Kā var redzēt grafikā, katrs pieļautais kļūdas procents no ieejas datiem dod 2.74 reizes lielāku kļūdu izejas datos (ar varbūtību 99.9%).

### 1.1.2.1 GIS izmantošana

GIS izmantošanai meža apsaimniekošanas plānošanas informācijas sistēmā ir vairākas nozīmīgas priekšrocības datu attēlošanas un ieguves etapos. Pirmā priekšrocība ir iespēja attēlot īpašuma nogabalus izmantojot dažādus krāsu kodējumus, kas lietotājiem ļauj ātri noorientēties par esošo situāciju izvēlētajā teritorijā. Lai to nodrošinātu tiek izmantots GIS interfeiss, kas precīzi uz kartes ļauj norādīt kādus konkrētus taksācijas lielumus vai no tiem aprēķinātās vērtības, kuras var iekodēt ar dažādiem grafiskiem apzīmējumiem, piemēram, krāsu, līnijas biezumu, līnijas stilu vai kādu speciālu grafisko simbolu. Izmantojot šādu darbības vidi samazinās kopējo nepieciešamo operāciju skaitu vienas darbības veikšanai un palielināts veicamo darbību ātrums.



1.8. att. GIS interfeiss

Ar krāsām var tikt attēloti gan taksācijas rādītāji, gan arī no tiem aprēķinātās krājas vai vērtības prognozes (1.8.att.). Otrais GIS lietošanas gadījums ir atrodams plānošanas uzdevumos – saimnieciskās aktivitātes izpildīšanai ir nepieciešams noteikt blakus esošo teritoriju stāvokli. Trešais GIS lietošanas gadījums ir precīzā taksācija, kur dati par koku tiek glabāti kopā ar tā reālām koordinātēm. Rezultātā tiek iegūta iespēja šos precīzos mērījumus atkārtot pēc vairākiem gadiem un salīdzināt rādītājus. Šāda gadījumā ir iespējams noteikt ikgadējo kokmateriālu pieaugumu neizmantojot vispārinošus matemātiskos modeļus, bet gan balsoties uz reālajiem datiem.

Saimniecisko rīkojumu izpildi regulē LR MK normatīvie akti, kuros iekļauti saimniecisko rīkojumu ierobežojumi, kurus nosaka pēc taksācijas datiem, kā arī ģeogrāfiskā izvietojuma. Ģeogrāfiski tiek noteikti sekojoši saimnieciskās darbības ierobežojumi:

- aizsarg teritorijas (ierobežo apsaimniekojamo teritoriju, kā arī blakus teritoriju apsaimniekošanu);
- galvenās cirtes maksimālā platība;
- galvenās cirtes maksimālais platums;
- piesliešanās laiks.

### 1.1.2.2 Mobilā taksācija

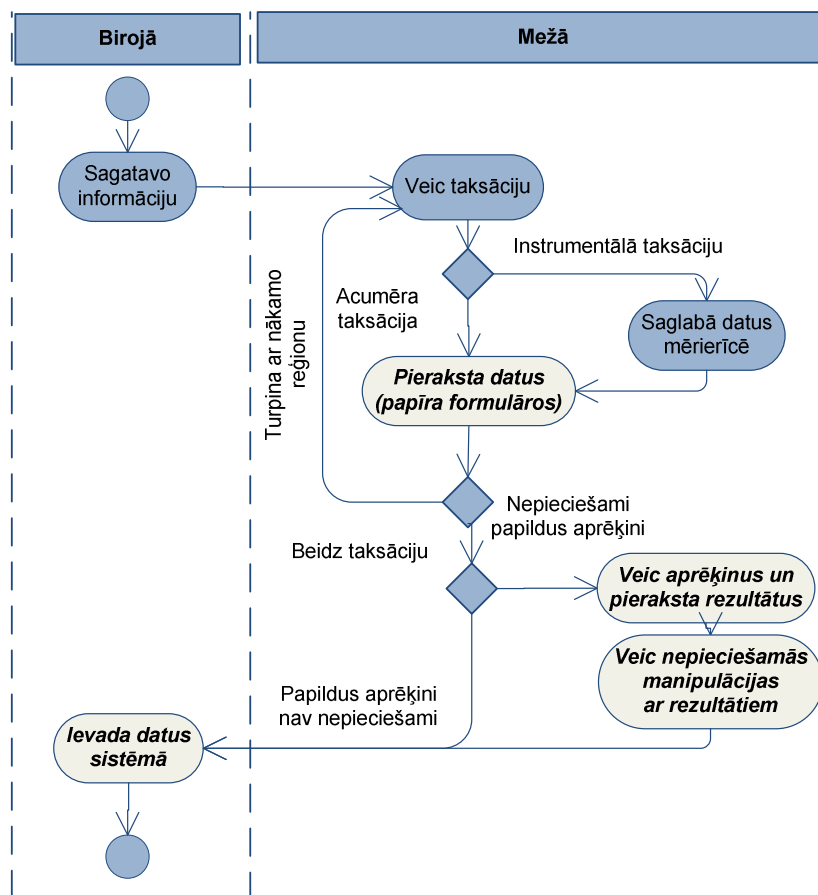
Par mobilo taksāciju sauc datu ieguves metodiku, kurā kā datu ievades rīks tiek izmantota mobilā ierīce ar pieslēgumu kopējam tīklam. Lai apskatītu šādas datu ievades metodes trūkumus un priekšrocības ir nepieciešams izpētīt divu veidu darbības scenārijus.

### 1.1.2.3 Papīra datu ievades scenārijs

Papīra datu ievades scenārijs ir viens no populārākajiem veidiem taksācijas datu ieguvē. Lai to labāk izprastu tika izstrādāta aktivitāšu diagramma (1.9.att.), kura apraksta darbības:

- kas notiek pirms taksators dodas mežā veikt mērījumus;

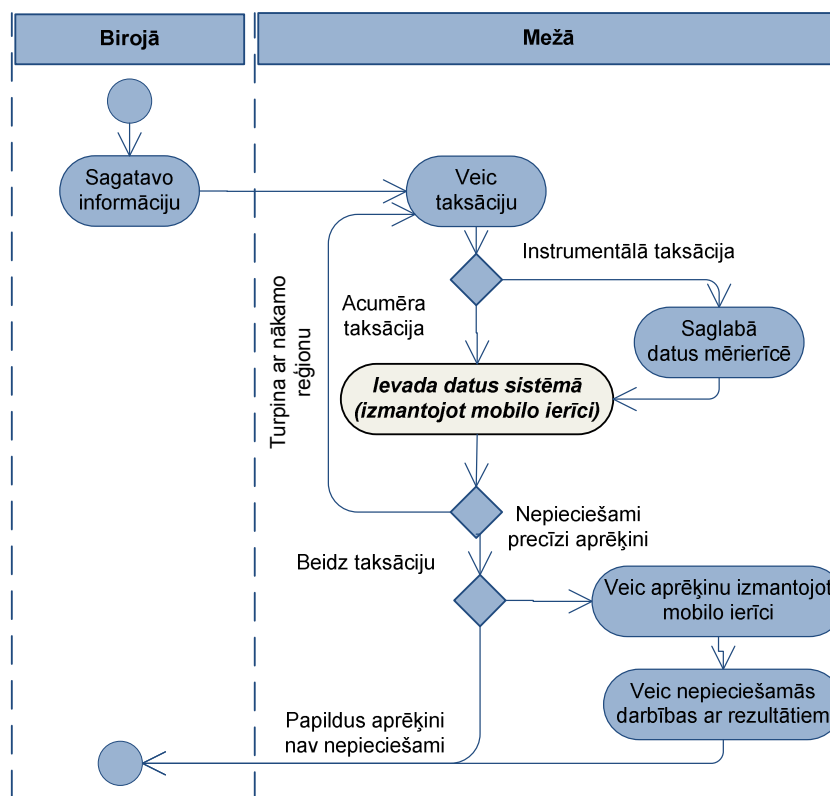
- kas notiek mežā;
- atgriežoties ierastajā darba vidē.



1.9. att. Papīra formulāru aizpildīšanas scenārijs

Diagrammā (1.9.att.) ir redzams, ka pirmā aktivitāte ir datu sagatavošana, kuras ietvaros tiek noskaidrots – kādas, cik lielas un kura īpašnieka teritorijas būs jātaksē. Kad taksators ir sagatavojis pamat informāciju un visus vajadzīgos materiālus, viņš dodas mežā un veic mērījumus, kuru rezultātus pieraksta papīra formulāros. Mežā var notikti divu veidu taksācijas, kā jau aprakstītas iepriekšējās nodaļās – precīzā taksācija (kas izmanto precīzu informāciju un vidējo vērtību taksācija). Parasti vidējo vērtību taksācija notiek izmantojot dažas specifiskas ierīces un acumēra informāciju, kas, protams, ir atkarīga no katra konkrētā speciālista pieredzes. Abu veidu taksāciju dati tiek ierakstīti papīra formulāros, ko var uzskatīt par kļūdaino procesu sākumu, jo ar roku pierakstītos datus var ieviesties vairākas dažāda rakstura kļūdas, kuru iemesls var būt rokraksts, papīra defekti vai darba apstākļi. Piemēram, steigā pierakstītie numuri var tikt nepareizi nolasīti, vai arī mitru laika apstākļu iespaidā tinte var izsmērēties. Šādu kļūdu skaitam ir tendence pieaugt, ja taksācijas gaitā tās veicējam rodas nepieciešamība veikt kādus papildus aprēķinus. Visas iepriekšminētas kļūdas var tikt atkārtotas cikliski tik daudz reižu cik nogabali vienas taksācijas ietvaros tiek apskatīti.

Vēl viens būtisks trūkums ir fakts, ka taksatoram pirms došanās mežā ir nepieciešams sagatavoties, un ja darba gaitā rodas nepieciešamība pēc papildus informācijas viņam ir jāatgriežas uz savu darba vidi, lai to iegūtu.



1.10. att. Mobilais scenārijs

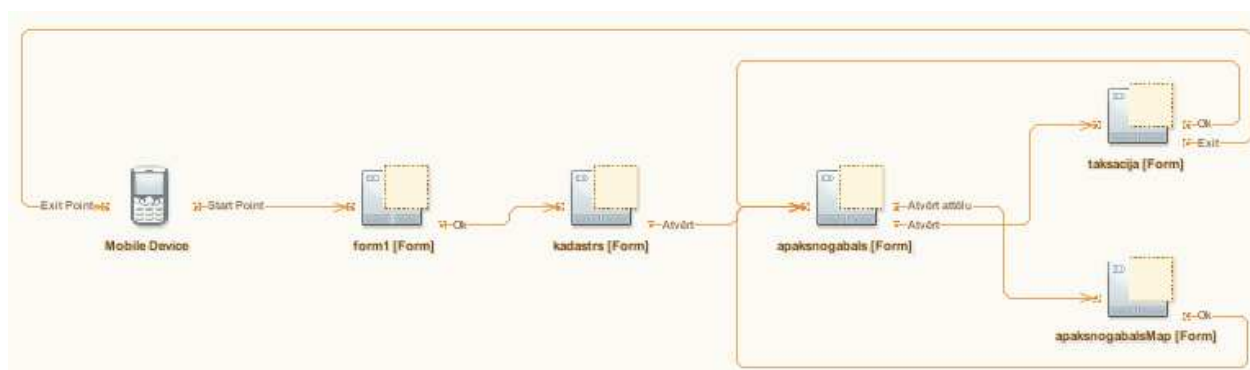
Iepriekš aprakstītās problēmas var tikt risinātas ieviešot modernas IT tehnoloģijas taksatora ikdienas darbā.

Papīra formulāru aizpildīšanas scenāriju analīzes rezultātā var redzēt, ka būtiskākās kļūdas parādās četrās aktivitātes – datu pierakstīšana, aprēķinu veikšana, rezultātu izmantošana un datu ievadīšana informācijas sistēmā. Diemžēl kļūdainās aktivitātes pilnībā izslēgt no taksatora darba izmantojot standarta darbības scenārijus nav iespējams, bet realizējot daļu no IS darbināšanai uz mobilajām tehnoloģijām (mobilais scenārijs) to skaitu var nozīmīgi samazināt. Attēlā 1.10 redzamajā diagrammā ir parādītās aktivitātes, kādas būtu veicamas, ja taksācijas darbus veiktu izmantojot mobilās tehnoloģijas. Būtībā no iepriekšēja datu ievades scenārija ir saglabājusies tikai viena „bīstamā” aktivitāte – datu ievade sistēmā. Galvenā atšķirība ir tā, ka datu ievadei tiek izmantota mobilā ierīce, kas tiešsaistē vai arī izmantojot dažādus datu pārnese risinājumus nodrošina iespēju tos ievadīt pa tiešo sistēmā un arī aprēķinus veikti uzreiz izmantojot IS. Šādā darbību secībā nav nepieciešams veikti datu dubultu uzglabāšanu (uz papīra formulāriem un sistēmā), kā arī veicamo aprēķinu kļūdas tiek izslēgts „cilvēka faktors”. Otrā ne mazāk svarīgā nianse ir visu būtisko informāciju var iegūt uzreiz mežā un pēc tās nav jāatgriežas ofisā, kas ietaupa laiku un degvielu.



### 1.1.2.4 Mobilās aplikācijas apraksts

Mobilās taksācijas risinājumi var tikt izstrādāti izmantojot dažādas tehnoloģijas, kas nodrošina plašu ierīču klāstu uz kurām tos var darbināt – sākot ar vienkāršiem mobilajiem telefoniem, kas atbalsta java MDIP tehnoloģiju un WEB servisu, beidzot ar gudrajiem telefoniem uz kuriem var darbināt dažādu tehnoloģiju aplikācijas. Šī projekta ietvaros tika izstrādāta un testēta mobilā aplikācija, kas ļauj taksatoram veikt datu ievades darbus izmantojot vienkāršu mobilo telefonu, kas būtu pieejams un lēts risinājums, bet mazliet ierobežots ergonomikas ziņā (mobilā telefona ekrāna izmērs un klaviatūras izkārtojums). Ierobežojumi, kuri traucēja minētās aplikācijas izstrādē var tikt atrisināti izmantojot jaunākas paaudzes mobilos telefonus.



1.11. att. Mobilās aplikācijas struktūra

Prototipā realizēts tika vienkāršots mobilās aplikācijas variants (1.11.att.), kurā lietotājs izvēlas kadastru, apakš nogabalu un var mainīt tiem atbilstošās taksācijas datus, kā arī apskatīt ģeogrāfisko informāciju.

### 1.1.3 Saimniecisko rīkojumu plānošana

Viena no meža apsaimniekošanas plānošanas sastāvdaļām ir saimnieciskais rīkojums. Tas ir darbību kopums, kuru nepieciešams izpildīt noteiktā laika intervālā un kuru akceptē īpašnieks vai valdītājs pamatojoties uz taksācijas rādītājiem. Katru saimniecisko rīkojumu raksturo statuss, pēc kura nosaka vai tas ir izpildīts vai nav (1.12. att.). Tam ir arī izpildes apraksts, kas nosaka kā un ar kādām metodēm to nepieciešams izpildīt.

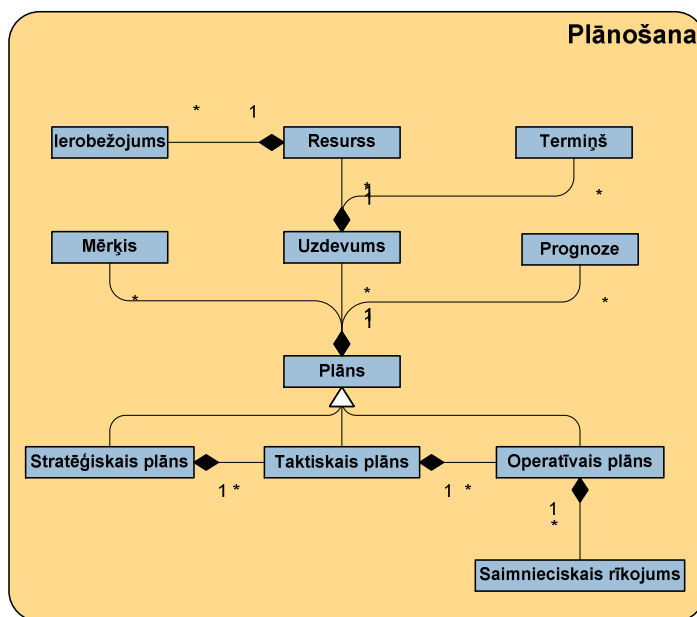
Saimnieciskais rīkojums
-rīkojums
-izpildes_sākuma_datums
-izpildes_beigu_datums
-izpildes_statuss
-rīkojumā_pamatojums
-rīkojuma_devējs

1.12. att. Saimniecisko rīkojumu atributīvā informācija

Ar saimniecisko rīkojumu plānošanu saprot plānu izveidi atbilstoši 1.12. attēlā redzamajam modelim, kurš ievēro klases „Plāns” (1.13.att.) saistīto papildinformāciju: mērķi, prognozes, uzdevumus, resursus, termiņus un citus ierobežojumus. Tā rezultātā „Plāns”, jeb saimnieciskais rīkojums realizē sistēmas stāvokļu maiņu – pāreju no viena sistēmas stāvokļa uz citu. Stāvokļu maiņas izpildei nepieciešama enerģija t.i. līdzekļi, kā arī tā rada sistēmas brīvos resursus, kurus var pārvērst līdzekļos. Sistēmas darbības laikā atšķirība starp ieguldītajiem līdzekļiem un saņemtajiem līdzekļiem, sistēmas īpašniekam nes peļņu. Tādēļ sistēmas īpašnieka interesēs ir samazināt ieguldāmo enerģiju un palielināt potenciāli saņemamos līdzekļus. Šāda mērķa sasniegšanai nepieciešams plānot sistēmas resursus vairākos līmeņos, kur kā viens no efektīvākajiem plānošanas modeļiem ir hierarhiskā plānošana. Katrā hierarhijas līmenī tiek radīti priekš-nosacījumi un pēc-nosacījumi nākamajam detalizētākam līmenim. Saimniecisko rīkojumu plānošana ar vislielāko detalizācijas pakāpi tiek izpildīta plānošanas operatīvajā līmenī.

### 1.1.3.1 Plānošanas līmeņi

Plānošana nosaka atbildi uz trim pamat jautājumiem, kuram, kas un kad ir jāizdara lai sasniegtu izvirzītos mērķus.



1.13. att. Plānošanas koncepti un to saistības

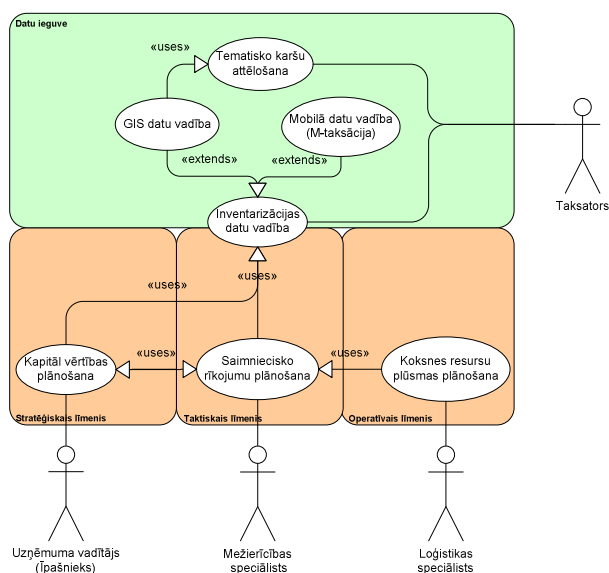
Plānošanai ir vairākas svarīgas komponentes, kuru saistību var apskatīt attēlā 1.13. un skaidrojumu atrast tabulā Tabula 1.1.

Tabula 1.1. Plānošanas komponenti

Mērķis	Apraksta stāvokli, kuru nepieciešams sasniegti plāna izpildes rezultātā.
Termiņš	Katram plāna sasniegšanas uzdevumam ir noteikts izpildes termiņš. Šo termiņu kopējais laiks nosaka plāna izpildes ilgumu.
Resurss	Resursi ir nepieciešamie līdzekļi uzdevuma izpildei. Par resursu var uzskatīt materiālus, tehniku un cilvēka resursus.
Ierobežojums	Katram resursam var būt piekārtots ierobežojums, kas nosaka tā izmantošanas iespējas un tādejādi arī ietekmē uzdevuma izpildi.
Uzdevums	Uzdevums sastāv no termiņa un ierobežojumiem. norise var būt, gan secīga, gan paralēla. Uzdevumu
Plāns	Plāns sastāv no uzdevumu kopuma, mērķa un prognozes. Būtiskākā plāna daļa ir uzdevumi tiek izkārtoti laikā vadoties no tiem piesaistītajiem ierobežojumiem un resursiem. Darbības var tikt veiktas gan secīgi, gan paralēli.
Prognoze	Apraksts par plānojamās vides stāvokli pēc noteikta laika intervāla un darbību izpildes

Lēmuma pieņemšanu un mērķa definēšanu parasti veic 4 līmeņos: normatīvais līmenis, stratēģiskais līmenis, taktiskais līmenis, operatīvais līmenis.

Katrai plānošanas stadijai nepieciešama atšķirīga informācijas detalizācijas pakāpe, kas atbilst lēmuma pieņemšanas kvalitātei.



1.14. att. Plānošanas līmeņi un to mijiedarbība

## **Normatīvais plānošanas līmenis**

Normatīvā plānošana ir meža īpašnieka (kompānijas valdes) galvenais uzdevums. Normatīvās plānošanas mērķis ir īpašnieka vēlmju apmierināšana ar labumiem, kādi gūstami no saimnieciskās darbības, parasti ienākumiem un to termiņiem. Normatīvajā līmenī tiek politiski noteikti meža apsaimniekošanas mērķi, īpašnieka vēlmes (ievērojot vides aizsardzības prasības), noteikti sagaidāmie ienākumi. Sīkāka informācija par meža stāvokli netiek analizēta. Mērķiem jābūt formulētiem tā, lai plānotājs varētu nospraust nākošā plānošanas līmeņa uzdevumus. Plānotājam jābūt pārliecinātam, ka mērķis ir pietiekami skaidri formulēts, lai kalpotu par saimnieciskās darbības mērķi. Šāds mērķis varētu būt, piemēram, maksimizēt tīro tagadnes vērtību (TTV), pie diskonta likmes 3%, nodrošinot noturīgus tīros ienākumus, vienlaicīgi atstājot bioloģiskās daudzveidības saglabāšanai 7% no kopējās meža platības. Skaidrs, ka šāds rezultāts iegūstams tikai diskusijās starp plānotāju un īpašnieku.

Normatīvajam līmenim var tikt izvirzīti četri galvenie mērķi (ja meža apsaimniekošanas mērķis ir koksnes ražošana):

1. *maksimizēta mežaudžu produktivitāte*, galvenās cirtes vecums noteikts atbilstoši mežaudžu produktivitātes kulminācijas brīdim (kvantitatīvā gatavība), pieņemtā koksnes kubikmetra cena neatkarīgi no sortimentu dimensijām ir vienāda, pieņemtā procentu likme ir 0, izmaksas netiek uzrādītas.

2. *maksimizēti ienākumi no koksnes realizācijas*, Finanšu aprēķinos tiek uzrādīta vienīgi apstrādāto kokmateriālu vērtība. Mežaudžu galvenās cirtes vecums tiek pieņemts atbilstoši mežaudzes tehniskajai gatavībai kāda noteikta sortimentu veida ražošanā. Šāda plānošana var pastāvēt vienīgi mežsaimniecības uzņēmumiem, kuru īpašumā ir meža platības, un kuri veic koksnes pārstrādi. Aprēķinos pieņemtā procentu likme ir 0, pieņemtā koksnes kubikmetra cena neatkarīgi no sortimentu dimensijām ir vienāda, izmaksas atsevišķi netiek uzrādītas.

3. *maksimizēta meža vērtība*, Meža apsaimniekošanas mērķis panākt noturīgu tīro ienākumu profilu, meža izmantošanas tāmi izsakot vērtības izteiksmē. Meža vērtība tiek izteikta kā meža un zemes kapitālvērtība, finanšu aprēķinos pieņemtā procentu likme 0, tiek ņemtas vērā izmaksas un ienākumi. Galvenās cirtes vecums tiek noteikts atbilstoši mežaudžu saimnieciskās gatavības vecumam.

4. *maksimizēta zemes tīrā tagadnes vērtība*, meža apsaimniekošanas plānošanas uzdevums maksimizēt peļņu uz finanšu aprītes rēķina. Galvenās cirtes vecums tiek noteikts atbilstoši saimniecībā pieņemtajai procentu likmei, atbilstoši mežaudžu finansiālās gatavības vecumam. Finanšu aprīte tiek plānota atbilstoši pieņemtajai procentu likmei.

## **Stratēģiskais plānošanas līmenis**

Stratēģiskajā līmenī tiek noteikts optimālais ciršanas apjoms (arī citi izvirzītie mērķi). Sīkāka informācija, piemēram, par izmaksām tiek vispārināta, tiek lietoti vidējie skaitļi. Telpiskā informācija netiek lietota, vai lietota virspusēji. Plānošana tiek

veikta lietojot meža stāvokļa prognozēšanas datorprogrammas, kas paredz optimālo ikgadējo ciršanas apjomu noteikšanas iespēju.

Stratēģiskā līmeņa uzdevums atbilst normatīvajā līmenī definētajām plānošanas problēmām. Plānošanā tiek izmantota vienkāršota (optimizēta) informācija. Tomēr mērķa sasniegšanas formulējumā pastāv atšķirības. Stratēģiskajā plānošanā ciršanas apjomi jāplāno ikgadējās pieņemtās tāmes līmenī, nevis atsevišķas audzes līmenī. Šo informāciju iespējams iegūt apstrādājot optimizētus datus, lietojot kopējās meža paraugkopas datus.

### **Taktiskais līmenis**

Taktiskajā līmenī atbilstoši meža inventarizācijas materiāliem tiek atlasītas mežaudzes, kurās tiks veikta mežsaimnieciskā darbība ikgadējās tāmes apjomā, kā arī tiek plānota citu izvirzīto mērķu izpilde. Sīkāka informācija par izmaksām tiek iegūta lietojot cenu monitoringa datus. Mežaudžu atlasē tiek izmantota telpiskā informācija. Plānošana tiek veikta lietojot vispārējas meža prognožu datorprogrammas.

Tiek lietota detalizētāka informācija, taktiskā līmeņa uzdevums izskatās tāds pats, kā sākumā definētā plānošanas problēma.

### **Operatīvais līmenis**

Operatīvajā līmenī atbilstoši taktiskajā līmenī radītajam meža apsaimniekošanas plānam un meža inventarizācijas materiāliem tiek atlasītas mežaudzes, kurās tiks veikta mežsaimnieciskā darbība ikgadējās tāmes apjomā, kā arī tiek plānota citu izvirzīto mērķu izpilde. Sīkāka informācija par izmaksām tiek iegūta lietojot operatīvos cenu monitoringa datus. Mežaudžu atlasei tiek izmantota telpiskā informācija. Plānošana tiek veikta lietojot operatīvās meža vērtēšanas datorprogrammas, piemēram, cirsmu fonda sagatavošanas un novērtēšanas programmas. Operatīvā līmeņa uzdevums ir realizēt meža apsaimniekošanas izvirzītos mērķus atbilstoši informācijas detalizētākajai pakāpei.

#### **1.1.3.2 Saimniecisko rīkojumu plānošanas procesa realizācija**

Nemot vērā lielo meža augšanas ciklu saimniecisko rīkojumu plānošana ilgākam laika periodam nav iespējama reālajā laikā, bet gan ar simulācijas procesu (1.15.att.).



Šo lietojumu izmanto arī veicot darbu izpildes vadību, kas nozīmē, ka sistēmā tiek ievadīta plānu kopa un izmantojot vadības rīkus sekots kā tie tiek izpildīti. Vienu konkrētu uzdevumu kopā raksturo tā izpildes datums prioritātē un paredzēto darbu ilgums. Plānu izpildes rezultātā tiek mainīts uzņēmuma resursu stāvoklis.

Saimniecisko rīkojumu plānošanas rezultātā katram plānotajam periodam tiek aprēķināti sekojoši saimnieciskās darbības rezultāti (1.16. att.): Stādāmā materiāla izmaksas, atjaunošanas darba izmaksas, jaunaudzēs kopšanas izmaksas, ienākumi un krāja no krājas kopšanas un galvenās cirtes, medību saimniecības ienākumi, infrastruktūras, administrācijas izmaksas un nekustamā īpašuma nodoklis. Katrai saimniecisko darbību pozīcijai tiek uzrādīta platība, uz kuru šī darbība attiecas. Katram periodam tiek aprēķināta summārā informācija, kopējā nocērtamā krāja, kopējie ienākumi un izdevumi.

2007.10.03.

### Finansu plūsmas plāns

Saimnieciskā darbība	Platība	Krāja	Ienākumi	Izdevumi
<b>2007 - 2016</b>				
Stādāmā materiāla izmaksas	220.50	0.00	0.00	46 095.00
Atjaunošanas darba izmaksas	220.50	0.00	0.00	28 982.00
Jaunaudzēs kopšana	220.50	0.00	0.00	20 072.00
Krājas kopšanas cirte	61.90	5 142.54	81 252.12	0.00
Galvenā cirte	218.70	68 318.90	1 481 103.55	0.00
Medību saimniecība	543.70	0.00	1 599.91	0.00
Infrastruktūra	543.70	0.00	0.00	27 185.00
Administrācija	543.70	0.00	0.00	173 984.00
Nekustamā īpašuma nodoklis	281.60	0.00	0.00	7 881.65
		<b>73 461.44</b>	<b>1 563 955.58</b>	<b>304 199.65</b>
<b>2017 - 2026</b>				
Stādāmā materiāla izmaksas	72.00			14 901.50

1.16. att. Saimniecisko rīkojumu kopsavilkums finansu plūsmas plāna atskaitē

Plānojot saimnieciskos rīkojumus svarīgi zināt izcērtamā sortimenta apjomu un vērtību par katra sortimenta pozīcijām (resnie, vidējie, tievie, papīrmalka, malka un atlikumi). Šāda informācija tiek aprēķināta sortimentu periodu plānu atskaitē (1.17. att.). Katram īpašumam pa periodiem detalizēti tiek uzrādīts izcērtamais sortiments un īpašumam kopā arī summārā informācija.

### Sortimentu periodu plāns

2007.10.03.

Cenu pag.				Suga	Krāja					Vērtība								
Kadastrs	Kvart.	Nog.	A.Nog.		Platība	Resnie	Vidējie	Tievie	P.Malka	Malka	Kopā	Atlikumi	Resnie	Vidējie	Tievie	P.Malka	Malka	Kopā
54440020120	52	1	0	0.70														
2057-2066	Galvenā cirte - pēc vecuma	Bērzs	15.12	16.68	87.09	71.29	7.59	197.77	34.54	377.26	275.30	1 175.62	732.85	7.59	2 568.62			
2037-2046	Krājas kopšanas cirte	Bērzs	3.18	4.70	10.34	12.26	1.34	31.82	5.58	79.14	77.51	139.59	126.05	1.34	423.63			
2027-2036	Krājas kopšanas cirte	Bērzs	1.35	2.55	7.17	23.07	1.54	35.68	6.34	33.80	42.06	96.76	237.09	1.54	411.25			
2017-2026	Krājas kopšanas cirte	Baltalksnis	0.00	1.93	9.17	0.00	2.81	13.91	1.93	0.00	8.11	13.75	0.00	0.98	22.84			
2017-2026	Krājas kopšanas cirte	Melnalksnis	0.00	0.01	3.16	0.00	30.35	33.52	13.57	0.00	0.07	17.38	0.00	30.35	47.80			
2017-2026	Krājas kopšanas cirte	Bērzs	0.00	0.00	0.00	42.94	6.46	49.40	9.79	0.00	0.00	0.00	441.42	6.46	447.88			
			<b>19.65</b>	<b>25.87</b>	<b>116.93</b>	<b>149.56</b>	<b>58.09</b>	<b>362.10</b>	<b>71.75</b>	<b>490.28</b>	<b>403.05</b>	<b>1 443.10</b>	<b>1 537.41</b>	<b>48.26</b>	<b>3 922.82</b>			

1.17. att. Galvenās cirtes un kopšanas cirtes saimniecisko rīkojumu detalizēta atskaite.

Viens no nozīmīgākajiem saimniecisko rīkojumu rezultātiem ir galveno ciršu plāns (1.18. att.), kur pa katram īpašumam, kuram pēc uzstādītajiem plānošanas parametriem ir jāveic galvenā cirte pa periodiem tiek uzrādīta ekonomiski svarīga informācija iekšējā atmaksāšanās likme (IRR). Šis rādītājs nosaka to cik izdevīgi vai neizdevīgi šo teritoriju ir cirst galvenajā citē. (lielāka IRR vērtība norāda, ka šī teritorijas vērtība laikā pieaug, bet ar mazāku rādītāju nozīmē to, ka šī teritorija laika gaitā lielāku peļņu nenesīs).

### Galveno ciršu plāns

2007.10.03.

Pagasts: Cenu pag.  
Kadastrs: 54440020120

Periods	Kvartāls	Nog.	A.nog.	Platība	Valdošā suga	Krāja	Vērtība	IRR	Rente	Rente/ha	
2007-2016	52	2	0	1.5	Egle	307.56	5 256.80	0.0245	9.68	-5.88	
		5	0	2.8	Egle	795.03	13 075.92	0.0202	93.67	9.67	
		7	0	3.6	Priede	904.83	16 273.29	0.0133	61.60	-9.61	
			8	0	8.3	Priede	2 381.63	58 105.51	0.0087	323.79	6.47
			10	0	0.5	Priede	114.29	2 331.77	0.0333	-21.99	-6.98
			2	0	0.6	Priede	136.77	2 796.56	0.0315	-20.17	-8.94
	53		4	0	0.9	Priede	335.04	7 611.08	0.0331	33.15	40.95
			2	0	2.4	Priede	690.69	16 962.20	0.0213	67.69	6.62
	54		4	0	1.9	Priede	428.46	6 607.11	0.0171	15.46	-9.39
			~	0	2.5	Priede	527.80	12 843.25	0.0183	46.46	-3.7
					~	Priede	1 936.25	26 676.93	0.0183	11.22	1.1
					~	Priede	~63	13 173.00	0.0183	~	~

1.18. att. Galveno ciršu saimniecisko rīkojumu ekonomiskais novērtējums

Pēc galvenajām cirtēm tiek noteikts izcirsto teritoriju atjaunošanas rīkojums (1.19. att.). Atjaunošanas rīkojumā katram periodam katrai atjaunojamajai teritorijai tiek uzrādīta atjaunojamās sugas nosaukums, stādāmā materiāla daudzums un izmaksas, kā arī atjaunošanas darba izmaksas.

### Mežaudžu atjaunošanas plāns

2007.10.03.

Pagasts	Kadastrs	Kv.	Nog.	A.Nog.	Augapst.tips	Suga	Platība	Stad.mat. daudzums	Stad.mat. izmaksas	Atj darba izmaksas
<b>2007-2016</b>										
Cenu pag.	54440020120	52	2	0	Šaurlapju ārenis	Priede	1.5	4 500	315.00	180.00
		52	5	0	Šaurlapju ārenis	Priede	2.8	8 400	588.00	336.00
		52	7	0	Šaurlapju ārenis	Priede	3.6	10 800	756.00	432.00
		52	8	0	Damaksnis	Bērzs	8.3	24 900	1 743.00	1 162.00
		52	10	0	Slapjšais damaksnis	Priede	0.5	1 500	105.00	65.00
		53	2	0	Slapjšais damaksnis	Priede	0.6	1 800	126.00	78.00
		53	4	0	Damaksnis	Bērzs	0.9	2 700	189.00	126.00
		54	2	0	Damaksnis	Bērzs	2.4	7 200	504.00	336.00
		~	~	0	Šaurlapju ārenis	Priede	1.9	5 700	400.50	252.00

1.19. att. Mežaudžu atjaunošanas saimnieciskā rīkojuma detalizēta atskaite.

## 1.2 Meža apsaimniekošanas plānošanas procesa prototipa imitācija

Meža apsaimniekošanas plānošanas procesā pamatā darbības notiek ar saimnieciskajiem rīkojumiem, bet plānojot dažādos līmeņos mainās saimniecisko rīkojumu detalizācijas pakāpe. Operatīvajā līmenī saimnieciskie rīkojumi ir precīzi



definēti, taktiskajā līmenī tie ir vispārīgi nedefinēti viena gada garumā, bet stratēģiskajā līmenī šie rīkojumi tiek vispārināti līdz koksnes krājai un vērtībai. Plānošanas procesā katrā no līmeņiem atbilstoši šai detalizācijai iespējams izvēlēties algoritmus. Piemēram, stratēģiskā līmenī var pieņemt, ka sistēmas, t.i., meža vispārīgu stāvokļu maiņas rezultātā ik gadu radīsies noteikts apjoms izcērtamās krājas, ko var pārvērst naudas līdzekļos, bet to pašu krāju un līdzekļus var noteikt zinot koku augšanas gaitu, saimniecisko rīkojumu jeb „plāna” atributīvo informāciju (mērķi, resursus, ierobežojumus) un ar koku sortimentācijas algoritmu potenciālos izcērtamos kokus (prognozes koku sadalījuma pa caurmēra pakāpēm) pārvēršot apaļkokā.

### **1.2.1 Meža augšanas gaitas imitācija - koku augšanas gaitas matemātiskie modeļi un to adaptācija Latvijas apstākļiem**

Mežu ekosistēmu rūpnieciska ekspluatācija tiek noteikta ar dzīvu organismu populāciju augšanas bioloģisku procesu likumsakarībām, kuri apdzīvo šīs sistēmas.

Matemātiskā meža demogrāfija pārstāv speciālu problēmu, kuras pētījuma priekšmets ir kopums vai koku populācija. Demogrāfiskas analīzes pamatvienība - tā ir atsevišķs koks, kurš ir apveltīts ar tādām demogrāfiskām pazīmēm kā dzimšana, augšana, vecošana un nāve.

Vajadzība pēc prognozēm par mežu attīstību simts gadus uz priekšu nepieciešama ilgtspējīgas meža apsaimniekošanas plānošanas nodrošināšanai. Ilgtermiņa prognozes un faktori, kas tās ietekmē padara meža apsaimniekošanas plāna dinamisko daļu, (augšanas gaitas noteikšanu) par tās visjūfīgāko elementu. Šajā darbā jābūt ļoti rūpīgiem, jo ir paaugstināts kļūdas iestāšanās risks, kas var radīt maldinošus rezultātus. Mežaudžu augšanas gaitas modelēšana ir saistīta ar šādu taksācijas datu aktualizēšanu:

- mežaudzes vecums,
- mežaudzes vidējais augstums;
- mežaudzes vidējais caurmērs;
- mežaudzes šķērslaukums;
- koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm;
- koku augstums;
- koku stumbru skaits uz hektāra;
- sugu sastāvs.
- koksnes kvalitāte;

Mežaudžu augšanas gaitas likumi un likumsakarības veido teorētisko bāzi meža apsaimniekošanai un ir nepieciešami, lai risinātu virkni praktisku jautājumu:

- noteikt meža gatavību;
- noteikt optimālo cirtmetu;
- izvēlēties cirtes veidus un ciršanas intensitātes;
- izvēlēties mērķa sugas meža atjaunošanai un apmežošanai.

Šobrīd zināmo meža augšanas likumu vēl ir maz un tie kā dabas likumi ir maz pētīti. Mežaudžu augšanas gaitas un produktivitātes pētījumi aizsākti XIX gadsimtā. Pirmās atklātās likumsakarības atspoguļojās meža taksācijas tabulās, piemēram, Bavārijas tilpuma tabulas (1846), Vargasa augšanas gaitas tabulas (1850) u.c. Zināmo augšanas gaitas un produktivitātes likumu analīze liecina, ka to izzināšana pastāvīgi pilnveidojas un tas ir ilgstošs process. Daži no šiem likumiem laika gaitā nav apstiprinājušies (piemēram, Tjurina hipotēze), bet citi turpretim papildināti un precizēti (Eihgorna - Gerharta likums). A.Tjurins 1913. gadā noformulēja šādu empīrisku likumu: "Normālās priežu vienvecuma firaudzes ar vienādu vidējo augstumu vienā un tai pašā vecumā ir vienādi attīstījušās un augušas un arī turpmāk tām būs vienāda augšanas gaita, neatkarīgi no tā, vai tās atrodas Vācijā, Pēterpils vai Arhangeļskas apgabalā". Pamatojoties uz šo izvirzīto hipotēzi, prof. Tjurins sastādīja vispārējās augšanas gaitas tabulas, kā arī vispārējo bonitēšanas skalu, kas kopēja visām koku sugām. Vēlāk šī hipotēze izraisīja nopietnus zinātnieku iebildumus. Pirmos nopietnos iebildumus izteica prof. Tretjakovs (1927) norādot, ka pastāv dažādi augšanas tipi un tāpēc izvirzītā hipotēze nav pieņemama. Dažādo augšanas tipu esamību vēlāk pierādīja tādi zinātnieki, kā M.Davidovs (1972), V.Zagrejevs (1978), G.Wenk (1979). Tāpēc prof. Tjurina 1913. gadā noformulētais likums nav izmantojams. Pēc Dr.V.Zagrejeva atzinuma, par divu mežaudžu augšanas gaitas identitāti var spriest tikai tad, ja šo audžu augstumi sakrīt vismaz 3 bāzes vecumos. Pie tam katrai koku sugai ir savi bāzes vecumi.

Tātad, līdz šim zināmie likumi pilnībā neatklāj parādību būtību un tiem piemīt stohastisks raksturs. Tas ir tāpēc, ka, ņemot vērā dabas lielo daudzveidību, atklāt tajā funkcionālas sakarības ir visai problemātiski. Tādēļ arī matemātiski nevainojami formulēts likums kaut kādu atsevišķu objektu raksturo tikai aptuveni. Šo apstākli nevar uzskatīt par likumu nepilnību, bet gan par likumsakarību apstiprinājumu.

Lai kaut kādu likumsakarību aprakstītu matemātiskā formā (matemātiskas izteiksmes veidā), tad vispirms ir jāatrod šīs matemātiskās izteiksmes vispārīgais veids un pēc tam, izmantojot eksperimenta datus, jāaprēķina šīs formulas parametri. Pie pašreizējā datortehnikas attīstības līmeņa (programmu nodrošinājums) formulu parametru aprēķināšana nesagādā nekādas grūtības. Toties vienādojuma vispārīgā veida pamatota izvēle šobrīd ir neatrisināts jautājums. Pēdējais attiecas it īpaši uz multiplām (daudzfaktoru) stohastiskām sakarībām ar kurām visbiežāk ir jāsastopas augšanas gaitas modelēšanas pētījumos.

### **1.2.1.1 Latvijas mežu augšanas gaitas aproksimācijas problēma**

Meža augšanas likumsakarības ir lokālas (vietējās) un vispārējas. Lokālās likumsakarības vairumā gadījumu ir noteiktas pamatojoties uz vietējiem eksperimentāliem datiem. Šādas lokālas likumsakarības citiem rajoniem ir nozīmīgas tikai ar to, ka tās parāda likumsakarības raksturu un tās var izmantot analogiskos pētījumos. Lielākā daļa no zināmām likumsakarībām ir vietēja rakstura. Savā laikā Latvijas mežaudžu augšanas gaitas likumsakarības pētījuši vairāki zinātnieki: P.Sarma, A.Zviedris (egļu audzes), P.Maike (bērzu audzes), P.Mūrnieks

(baltalkšņu audzes). Pēdējos gadu desmitos Latvijā attīstījusies augšanas gaitas likumsakarību matemātiskā modelēšana: J.Matuzānis (priedes, egles audzes), J.Tauriņš (bērza audzes), G.Ģērķis, J.Bisenieks (priedes un egles jaunaudzēs), I.Liepa (tekošais krājas pieaugums Baltijas republiku mežiem, krājas papildpieaugums), R.Ozoliņš (koku un sortimentu tilpumu matemātiskie modeļi) u.c.

Apkopojot vietējās likumsakarības, mēģina izziņāt vispārējās likumsakarības (V.Zagrejevs, meža augšanas tipi). Vispārējo likumsakarību atklāšanu sekmē matemātisko metožu un datoru izmantošana, kā arī ekoloģisko un fizioloģisko pētījumu izmantošana augšanas gaitas un produktivitātes pētījumos. Tātad vispārējo likumu atklāšanā arvien lielāku lomu spēlē ekoloģiskie faktori. Šo faktoru ievērošana pētījumos ir ļoti sarežģīta un pagaidām vēl maz pielietota. Likumsakarību izziņāšanai var izmantot kā induktīvo, tā deduktīvo metodi. Meža taksācijas pētījumos lieto induktīvo metodi, kas balstās uz matemātisko statistiku.

Ir vairākas metodes, ko var izmantot mežaudzēs augšanas gaitas noteikšanai:

**vēsturiskā metode.** Audžu atkārtota uzmērīšana patstāvīgos parauglaukumos ar konstantu augšanas apstākļu raksturojumu; Nepieciešams ilgs laika posms lai iegūtu rezultātus par augšanas gaitu. Iegūtie rezultāti parāda audzes vēsturisko attīstību noteiktajos augšanas apstākļos. Parauglaukumu ierīkošana Latvijā aizsākusies pirms dažiem gadiem, tomēr līdz izmantojamai informācijai jāgaida vairāki gadi;

**rādītāja metode.** Dažāda vienvecuma normālu audžu vienreizēja uzņemšana vienādos augšanas apstākļos. Kokaudžu taksācijas rādītājiem jāatbilst vidējam atbilstošās bonitātes rādītājam. Audžu analizē īpaša uzmanība jāpievērš virsaugstuma kokiem, jo to augšanas gaita visprecīzāk atspoguļo audzes attīstības gaitu.

**statistiski grafiskā metode (statistiskā, sleju metode).** Dažādu bonitāšu un vecuma audžu vienreizēja uzņemšana. Tiek izvēlēts liels skaits dažāda vecuma un bonitātes paraugaudžu, kuras uzmēra. Iegūtos rezultātus sadala bonitātēs.

**periodiska dažādu audžu uzņemšanas metode.** Periodiski tiek pārmērītas dažādas dažāda vecuma audzes. Mežaudzēs tiek ierīkoti parauglaukumi, kuri ik pēc noteikta perioda tiek pārmērīti. Jo vairāk parauglaukumu būs ierīkoti dažādos augšanas apstākļos un dažāda vecuma audzēs, jo mazāks laiks būs nepieciešams, lai pēc atkārtotas pārmērīšanas būtu iespējams iegūt ticamus rezultātus. Grūtākais šajā metodē ir izvēlēties paraugaudzes, jo nevienmēr zināma to attīstības pagātne, kopšanas un attīstības veids.

**kombinētās metodes.** Izvēloties paraugaudzes, tās klasificē pēc tipiem, ņemot vērā zemsedes raksturojumu, reljefu un citus faktorus. Lai pārliecinātos, vai izvēlētajās audzēs pieder vienotai attīstības rindai, lieto rādītāja metodi un analizē audzes virskokus. Noteiktai attīstības rindai piederošās normālās vienvecuma firaudzēs ierīko parauglaukumus un datus iegūst ar vienreizēju uzmērīšanu. Atkārtota parauglaukumu uzmērīšana var noderēt kontrolei un iegūtos rezultātus

uzlabot. Parauglaukumos plaši lieto grafiskās metodes, izsakot atsevišķu koku augšanas gaitu un audžu taksācijas elementu sakarības. (P.Sarma 1948.)

Rezultātā meža apsaimniekošanas plāns jāizveido tā, lai varētu prognozēt mežaudžu attīstību, izmantojot visaugstāko iespējamo precizitāti. Efektīvu mērinstrumentu, piemēram, elektroniskā dastmēra (*caliper*) (Jonsson, 1981, 1991) izmantošana ir padarījusi iespējamu datu uzkrāšanu par atsevišķa koka un mežaudžu attīstības gaitu. Tāpēc, Zviedrijā tā tiek izmantota.

**statistiski grafiskā metode** (statistiskā, sleju metode), kurā katrs koks tiek uzmērīts. Parauglaukumi tiek izvietoti dažādu vecumu audzēs. Pēc šiem datiem tiek konstruēti augšanas gaitas modeļi.

Atsevišķu koku novērtēšanas koncepcija ļauj visos posmos izsekot un novērtēt augšanas gaitu. Izmantojot datu apstrādes programmas, iespējams salīdzināt atsevišķu koku stāvokli un prognozēt atsevišķu koku augšanas gaitu, konstatēt, kāda ir bijusi augšanas gaita atsevišķos nogabalos, atsevišķās saimnieciskajās vienībās atsevišķos īpašumos. Latvijā pastāvošā meža inventarizācijas sistēma satur katra nogabala instrumentālu inventarizāciju. Meža inventarizācijas dati satur daudz detalizētu informāciju, kuru iespējams izmantot augšanas gaitas modelēšanā. Tāpēc, Latvijā iespējams izmantot rādītāju un kombinēto metodi.

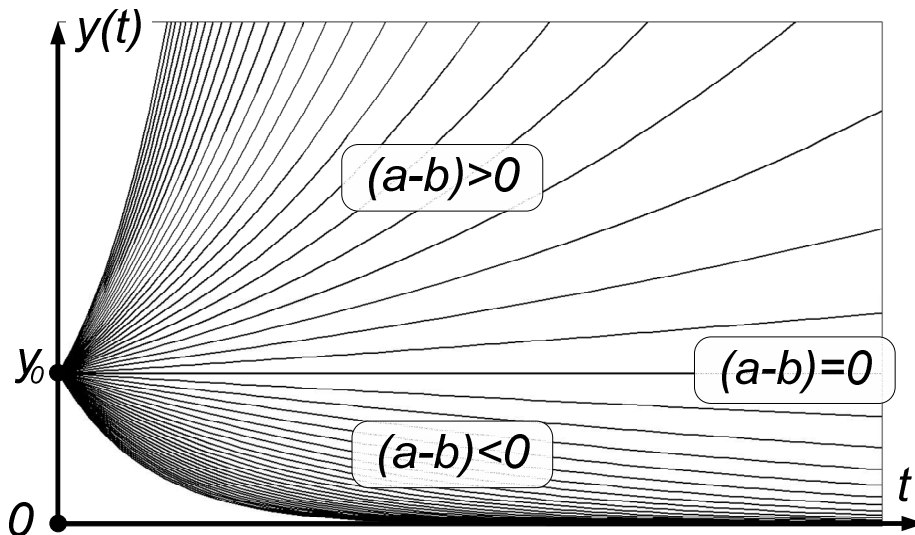
### 1.2.1.2 Pētījumu objekts

Koks ir šūnu noslēgta populācija, kurā vienlaikus notiek dzimšanas un bojāejas procesi, piemēroši visām bioloģiskām sugām, kuri ir kopīgi visiem dzīvīem organismiem. Kā mainās šūnu skaits tādā sistēmā, sākot ar koka augšanu no sēklas un nobeidzot ar laiku, kad ir uzstādāms stacionārs stāvoklis, koks sasniedz savējo gatavību un pārstāj augt? Tas kinētisks uzdevums varbūt atrisināts ar parastu diferenciālvienādojumu palīdzību.

Pieņemsim, ka konkrētā laika momentā  $t$  šūnu skaits vidē ir vienāds ar  $y$ . Šūnu skaita izmaiņas ātrums  $dy/dt$  vidē sastāv no to savairošanas ātruma  $V_{dzimš}$  un bojāejas ātruma  $V_{mirš}$ :  $dy/dt = V_{dzimš} - V_{mirš}$ . Vienkāršā gadījumā savairošanas ātrums, tas ir šūnu skaita palielināšana laika vienībā, ir proporcionāls to daudzumam katrā laika momentā  $V_{dzimš} = a \cdot y$ , kur  $a$  – proporcionalitātes konstante, kas ir atkarīga no vides nosacījumiem (temperatūra, uzturvielu esamība un citi). Analogiski  $V_{mirš} = b \cdot y$ , kur  $b$  – proporcionalitātes konstante, kas nosaka šūnu bojāejas procesu intensitāti. No šejienes seko, ka  $dy/dt = a \cdot y - b \cdot y = (a-b) \cdot y$ . Šā vienādojuma risinājums  $y(t) = y_0 e^{(a-b)t}$  dod šūnu skaita izmaiņu likumu vidē, kur  $y_0$  – šūnu skaits laika momentā  $t=0$ .

Analizējot iegūto risinājumu, var noteikt populācijas uzvedības trīs iespējamus scenārijus. Viss ir atkarīgs no eksponentas  $e$  pakāpes koeficienta zīmes. Ja  $(a-b)=0$ , tad  $y(t) = y_0 e^{0t} = y_0 \cdot 1 = y_0$ . Šūnu skaits paliek nemainīgs. Tas ir izskaidrojams ar to, ka mirstība un dzimstība ir vienādas savā starpā: cik parādījās jaunu šūnu tik pat šūnu aizgāja bojā. Ja  $(a-b) > 0$ , tad  $y(t) = y_0 e^{(a-b)t} \rightarrow \infty$  tiecas uz bezgalību pie lieliem  $t \rightarrow \infty$ . Šūnu skaits ar laiku neierobežoti un eksponenciāli pieaug. Tas izskaidrojams ar to, ka mirstība ir zemāka, nekā dzimstība: katrā laika momentā rodas vairāk šūnu nekā aizgāja bojā. Un otrādi, ja  $(a-b) < 0$ , tad  $y(t) = y_0 e^{(a-b)t} \rightarrow 0$ , tiecas uz nulli pie lieliem

$t \rightarrow \infty$ . Šūnu skaits ar laiku eksponenciāli samazinās praktiski līdz nullei tā, kā mirstība ir augstāka, nekā dzimstība un katrā laika momentā nomirst vairāk šūnu nekā dzimst. Funkcijas uzvedība  $y(t) = y_0 e^{(a-b)t}$  atkarībā no  $(a-b)$  vērtības var redzēt 1.20. attēlā.



1.20. att. Dzimstības-mirstības funkcijas uzvedība

Uzdevums ir atrastu vienādojumu, saturoši relatīvi nelielu konstanšu skaitli, katrai no kuriem būtu noteikta bioloģiska jēga. Pie tam iegūtiem matemātiskiem modeļiem jānodrošina apmierinošu atbilstību empīriskiem datiem.

Modeļa izveide ir nevis formulu piedzīšanā pie skaitliskiem datiem, bet gan sistēmiskas pieejas principu secīgā pielietojumā attiecībā pret faktiskiem datiem un matemātisku tēlu meklējumā, kuri apraksta sistēmas uzvedību un atbilst noteiktam uzdevumam. Tādēļ priekšstats par sistēmu un par tās attīstības likumiem ir būtiska pētījuma daļa. Katra solī vajag ņemt vērā, ka gan paši dati, gan modelis tikai aptuveni apraksta īstenību. Šo tuvinājuma pakāpi vajag vērtēt, un uz tās pamata noteikt to vai cita modeļa pielietojamību.

Zem matemātiska modeļa, bieži saprot polinomiālās regresijas vienādojumu, kas ir uzbūvēts uz eksperimentālu datu pamata. Īstenībā, tāda polinoma koeficientiem nav nekādas saturīgas jēgas, bet regresija šajā gadījumā ir eksperimentālu datu formāls apraksts. Dabiski, ka tādiem matemātiskiem modeļiem principiāli nav nekādas bioloģiskas jēgas un to vērtība bioloģiskiem pētījumiem ir visai ierobežota, un tie var tikt izmantoti tikai stingri noteiktos nosacījumos un ievērojot eksperimenta veikšanas īpatnības.

Pētījuma galvenais uzdevums ir tāda modeļa uzbūve, kura koeficientiem ir skaidra bioloģiska jēga un tas var būt par pamatu dažādu Latvijas koku sugu augšanas teorētiskam modelim. Risinot šāda uzdevuma problēmas ir jāizvēlas līknes, lai aprakstītu tādas mērījuma pazīmes, kuras savā vairākumā ir bioloģiski sarežģītas (Arhipovs S., Arhipova I., 2006).

Tā, piemēram, pamatojoties uz pieņēmumu, ka augšanas pamatā ir nepārtraukta šūnu dalīšana, tad saprotams, ka pieauguma lielumam jābūt proporcionālai izmēramai pazīmei, ko var attēlot diferenciālvienādojuma veidā  $dy/dt=k \cdot y$ , kura risinājums ir  $y(t)=y_0 e^{kt}$  veidā.

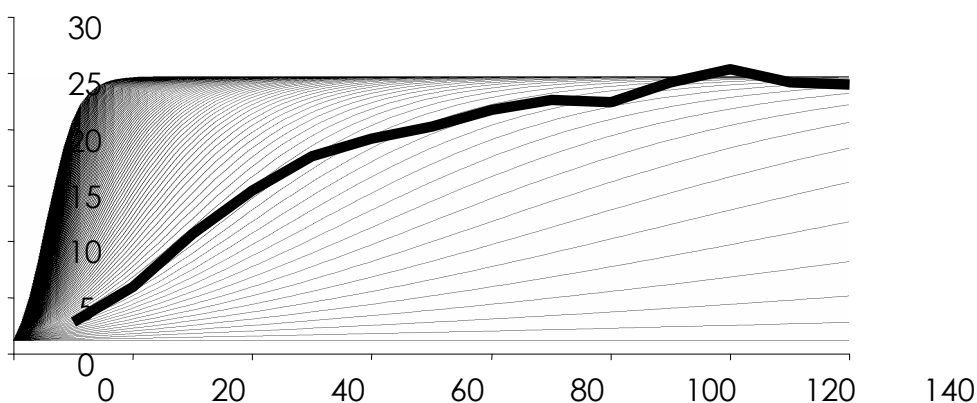
Īpaši sarežģītā hipotēze ir, kad dalošos šūnu daļa ar vecumu pakāpeniski samazinās. Tāpat izmainās jaunas vielas ražošanas procesu ātrums. Tādēļ augšanai vienmēr eksistē robežas. Ferhlista vienādojums  $dy/dt=a \cdot (1-y/b) \cdot y$  kopā ar mirstības/dzīstības koeficientu  $a$  arī satur vēl vienu koeficientu  $(1-y/b)$ , kurš ierobežo augšanu  $y$ .

Patiešām, kad populācija atrodas savējās attīstības sākumā un  $y \sim y_0$  nozīme tuvu pie savējās sākuma vērtības, tad koeficients  $(1-y/b)$  nedod būtiskas ietekmes uz populācijai lieluma izmaiņu ātrumu un augšanas likums pārrakstās ar vienādojumu  $dy/dt \sim a \cdot (1-y_0) \cdot y = a' \cdot y$ .

Tādējādi, populācijas apjoms sākumā aug eksponenciāli. Tomēr, kad populācija tuvojas pie  $y \sim b$  vērtības, tad koeficients  $(1-y/b) \sim (1-b/b) = 0$  kļūst ļoti mazs un aptur populācijas augšanas ātrumu  $dy/dt \sim 0$ . Tādējādi, ar laiku gaitu populācijas augšanas ātrums krīt praktiski līdz nullei un tās apjoms tiecas uz noteiktu lielumu. Diferenciālvienādojuma  $dy/dt=a \cdot (1-y/b) \cdot y$  risinājums ir funkcija  $y(t)=(y_0 \cdot b \cdot e^{a \cdot t}) / (b - y_0 + y_0 \cdot e^{a \cdot t})$ , kura labi apraksta populācijas lieluma sākotnējās eksponenciālas izmaiņas un tās apjoma tālāku stabilizāciju. Funkcijas grafiki  $y(t)$  attēloti 2.attēlā.

Var redzēt, ka Ferhlista modeļa gadījumā populāciju gaida viennozīmīga stabilizācija. Atkarībā no sākuma apjoma lieluma, populācija augs, ja apjoms  $y_0 < b$  mazāks par modeļa noteiktās  $b$  vērtības, bet samazināsies  $y_0 > b$  gadījumā, un būs stabilā stāvoklī, ja  $y_0 = b$ .

Koku demogrāfisku datu analīze Latvijā parādīja, ka to augšanas sākuma etaps neatbilst Ferhlista modelim, tomēr ar laiku koku augšana palēninās un to augstums turpmāk nemainās. Vidēju priežu augstumu sadalījumu atkarībā no vecuma (sākot no 10 gadiem un nobeidzot ar 140 gadu vecumu, kad augšana praktiski pārtraucās) var redzēt 1.21. attēlā.



1.21. att. Koku augšanas raksturliktne.

Dotie dati ir tādu priežu vidēju augstumu statistiskie mērījumi, kuras aug vienādos reģionālos un bonitātes apstākļos. Priedes augstumu vērtības ir sagrupētas pa vecuma grupām ar intervālu 10 gadi un uzlikti uz Ferhusta vienādojuma risinājuma grafikiem ar sākuma nosacījumu  $y_0=1$  metrs un ierobežojumu uz augstumu  $b=25$  metri. Optimāla koeficienta noteikšanas vizuāla salīdzināšana un skaitlisks eksperiments parādīja, ka starpībai starp faktiskiem datiem un aproksimācijas funkciju ir nevis gadījuma raksturs, bet regulārais. Sākuma periodā vairāki dati atrodas būtiski zemāk nekā teorētiska līkne, bet tālāk faktiskas vērtības pārsniedz atbilstošās aproksimācijas vērtības.

Tādējādi, ir nepieciešams vēlreiz izanalizēt un pārskatīt mainīga pieauguma koeficientu augšanas vienādojumā. Koku gadījumā, iespējams, ka sākumu augšanas periods atšķiras no eksponenciālās sakarības.

Tāpēc pēc analogijas ar Ferhusta pieeju, nepieciešams atrast tādu augšanas koeficientu, lai koka augstums ar vecumu nemainītos, lai  $y$  augšanas koeficientam matemātiskam modelim būtu bioloģiska jēga un, lai atšķirība starp datiem un iegūto sakarību būtu normālais sadalījums.

### 1.2.1.3 Datu struktūras

Latvijā dominējošā suga ir priede (47% no kopējās Latvijas mežu platības), koku augšanas gaitu nosaka augšanas apstākļu tips (Tabula 1.2), piemēram: mētrājs, lāns un damaksnis ir izplatītākie augšanas apstākļu tipi pēc priedes augšanas platības analizētajās teritorijās.

Tabula 1.2. Koku augšanas gaita atkarībā no augšanas apstākļu tipa

Augšanas apstākļu tips	Platība (ha)	% (no kopējās analizētās platības)
Mētrājs	4 116.9	19.86
Lāns	3 565.7	17.21
Damaksnis	1 911.4	9.22

Kā otrs augšanas gaitu noteicošais faktors ir Bonitāte (Tabula 1.3.).

Tabula 1.3. Koku augšanas gaita atkarībā no bonitātes

Bonitāte	Platība (ha)	% (no kopējās analizētās platības)
Ia	2 268.50	10.95
I	4 161.80	20.08
II	7 064.80	34.09
III	5 695.80	27.48
IV	1 289.30	6.22
V	232.50	1.12
VI	11.70	0.06

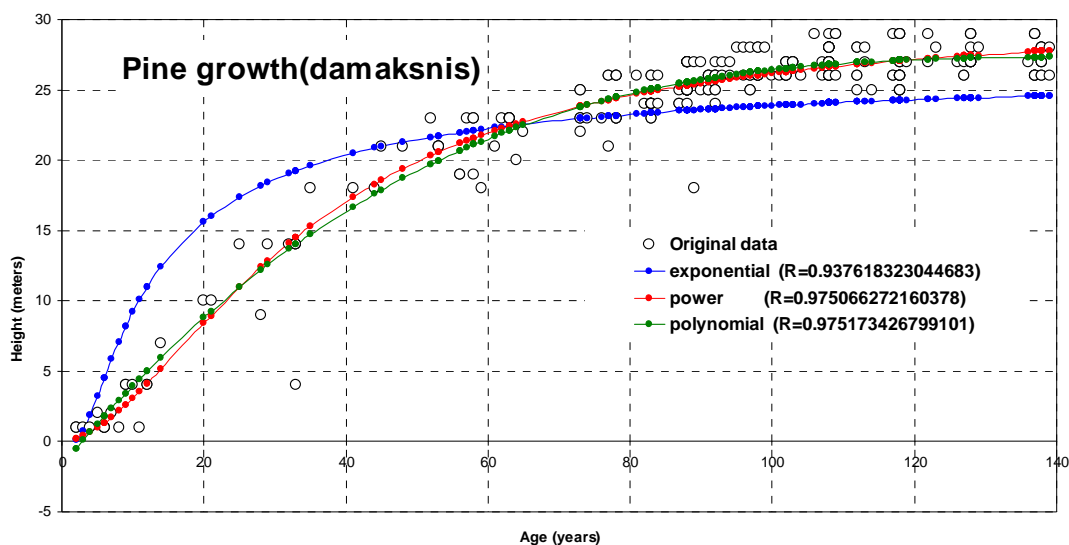
Bonitāte ir cilvēku radīta iedalījuma vienība mežaudzes ražīguma raksturošanai, ko nosaka pēc koku augstuma noteiktā vecumā. Audzes bonitātes apzīmēšanai lieto ciparus no 0 līdz 6 (parasti lieto romiešu ciparus). Augstākā bonitāte ir 0, jeb Ia, zemākā – 6. Analizētajos datos tika atrasta valdošā bonitāte – II, kura raksturo 34% no teritorijas platības.

#### 1.2.1.4 Matemātiskie modeļi

Ir izpētīti trīs koka augstuma aproksimācijas modeļi, atkarībā no tā vecuma. Tas ir trešās pakāpes (polynomial) polinoms, eksponenciālās tipa funkcija  $y(t) = y_0 e^{-bt}$  un pakāpes tipa funkcija  $y(t) = a t^k / (b^2 + t^k)$ . Dati tika sagrupēti pēc koku sugas, augšanas un bonitātes reģiona.

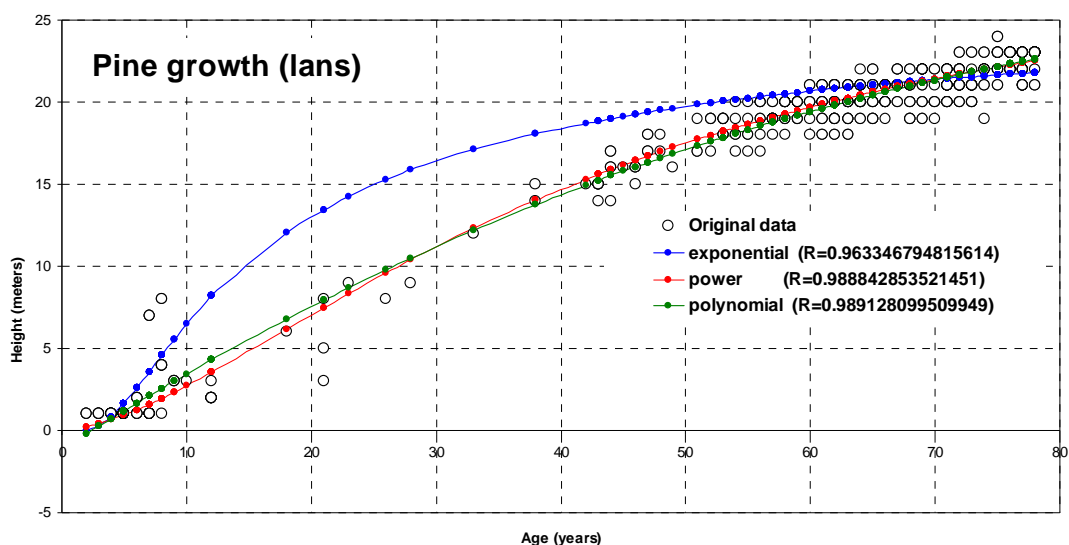
Eksperimentu veikšanai izmantoti Rīgas un Ogres rajona meža taksācijas dati, kurš taksēts laika periodā no 1999-2005 gadam. Kopumā analizēti dati no 10840 apakšnogabaliem, kuru kopējā platība 20724 hektāri.

Zemāk dotajos grafikos (1.22., 1.23., 1.24. att.) ir attēlota priedes augšanas gaita ar reāliem datiem atšķirīgos augšanas apstākļos. Dati tika aproksimēti ar trim atšķirīgiem funkciju tipiem. Katra aproksimācija tika novērtēta ar korelācijas koeficientu R.

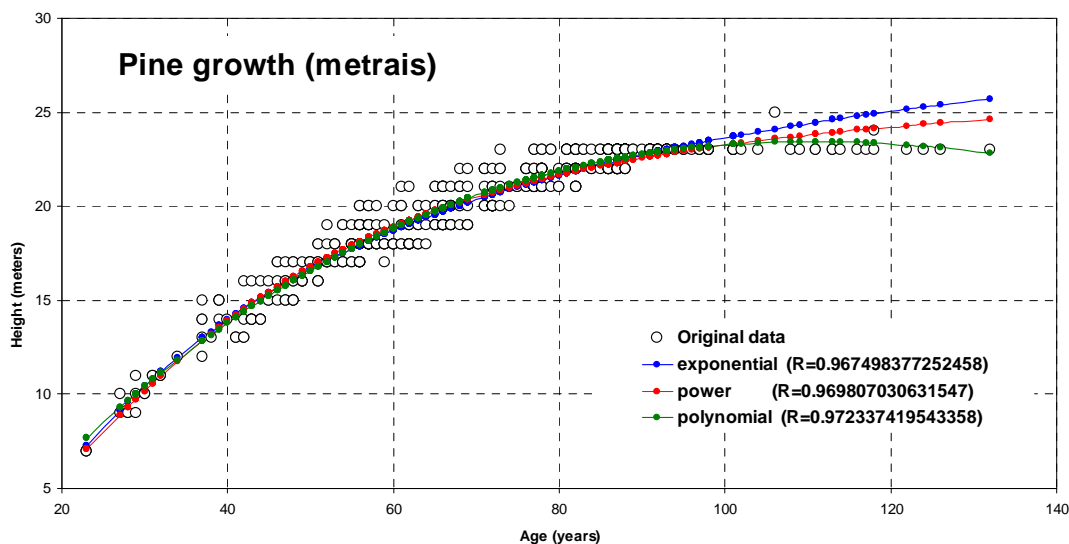


1.22. att. Priedes augšanas gaita damaksnī





1.23. att. Priedes augšanas gaita lānā



1.24. att. Priedes augšanas gaita mētrājā

Ekspierimenta rezultātā par trešās pakāpes polinomu var secināt, ka polinomiālā aproksimācija dod labu sakarību ar apmierinošo korelācijas koeficientu. Tomēr polinoma koeficientiem nav bioloģiskas jēgas un neatspoguļo nekādu augšanas modeli. Rezultātā uz grafikiem var redzēt, ka koka augstums var būt negatīvs, ar vecumu augstums var samazināties vai pieaugt neierobežoti. Tas ir pretrunā ar procesa būtību.

Ekspierimentam ar  $dy/dt=y/t$  modeli ir racionāla bioloģiska jēga. Patiešām, mainīgais koeficients  $1/t$  ar laika gaitu modelē koka augšanas ierobežojumu: palielinoties  $t$  koka augšanas ātrums tiecas uz nulli. Vienādojuma  $y(t)=y_0 \cdot e^{-b/t}$  risinājums monotoni pieaug, kas arī atbilst reālai koka augšanai. Tomēr, dotais

risinājums ir neapmierinošs no aproksimācijas skatu punkta. Datu neatbilstībai ir regulārais raksturs.

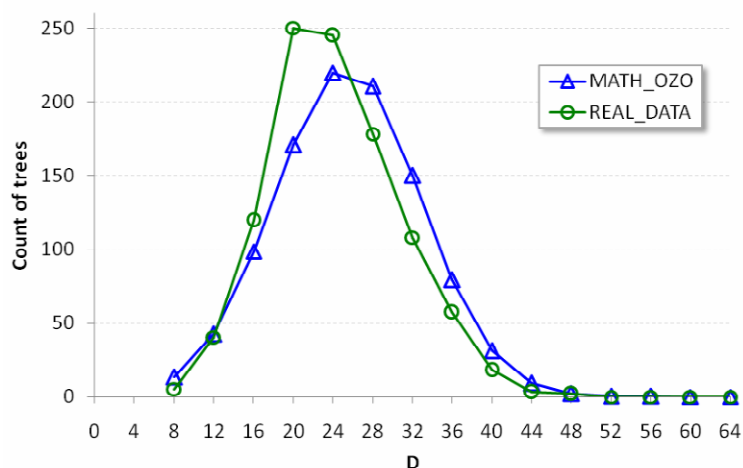
Eksperiments ar  $dy/dt = a y^2 / t^k$  modeli dod  $y(t) = a t^k / (b^2 + t^k)$  apmierinošu risinājumu no visām pusēm. Trīs parametri dod ļoti labu aproksimāciju, koeficientiem ir bioloģiska jēga. Risinājums dod koka ierobežojumu uz monotonu augšanu.

Modeļa optimizācija ar mazāku kvadrātu metodi dod pusanalītisku lēmumu, ko nevar sasniegt ar Ferhusta modeli. Tādējādi dotais modelis kļūst par pretendentu uz sistēmas koku augšanas novērtējuma izmantošanu.

Zinot katras sugas augšanas gaitas likumus un izmantojot izstrādātos modeļus, tiem klāt pievienojot statistiski iegūtus koeficientus, ir iespējams veidot atbilstības prognozes mežaudžu sugām ar līdzīgām pazīmēm dažādos augšanas apstākļu tipos un bonitātēs. Kā pierāda eksperimentu rezultāti, tad augšanas gaitu apmierinoši spēj modelēt  $y(t) = a t^k / (b^2 + t^k)$  vienādojums, kura raksturīgā vienmēr ir augoša, līdz ar to izslēdz iespējamo kļūdaino datu defektu novēršanu (līknes dilšana gados vecākām audzēm, ko var novērot ar polinomiālu vienādojumu). Šādu augšanas gaitas metodiku iespējams pielietot, atsevišķu reģionu meža augšanas gaitas atšķirību analīzei, kā arī nekorektu taksācijas datu meklēšanai esošajās datubāzēs.

### 1.2.2 Virtuālās dastlapas algoritma uzlabojumi

Sortimentu sadalījuma noteikšanai, kuru izmanto ekonomisko rādītāju aprēķināšanai, tiek izmantota dastlapa. Tā sastāv no koku skaita uzskaitījuma pa caurmēra pakāpēm. Tradicionālās dastlapas caurmēra sadalījuma solis ir 4 cm. Tieši tāds pats ir arī virtuālās dastlapas R.Ozoliņa (MATH\_OZO) caurmēra sadalījuma solis, jeb dastlapas, kuru aprēķināta no vidējiem taksācijas rādītājiem.



1.25. att. MATH\_OZO rezultātu salīdzinājums ar reālajiem datiem

Koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm var redzēt 1.25. attēlā, kur var novērot arī to, ka reālo datu (REAL\_DATA) sadalījums līdzinās normālajam sadalījumam (1). Normālo sadalījumu šajā gadījumā interpretē arī MATH\_OZO algoritms. Starp reālo un aprēķināto iegūto koku sadalījumu ir atšķirība, kura radusies

normālā sadalījuma asimetrijas un normālā sadalījuma izkliedes (S) noteikšanas rezultātā. Pašreiz izmantotajā MATH\_OZO algoritmā asimetrijas rādītājs netiek ņemts vērā.

### 1.2.2.1 Virtuālās dastlapas ģenerēšanas algoritms

Meža novērtēšanai, jau vairākus gadus Latvijā tiek izmantots R.Ozoliņa virtuālās dastlapas ģenerēšanas algoritms (Ozolins R., 2002), izstrādāts izpētot 38 precīzās taksācijas dastlapas. Šī algoritma pamatā ir pieņēmums, ka koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm atbilst normālajam sadalījumam (1).

$$f(x, \mu, s) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2s^2}} \quad (1)$$

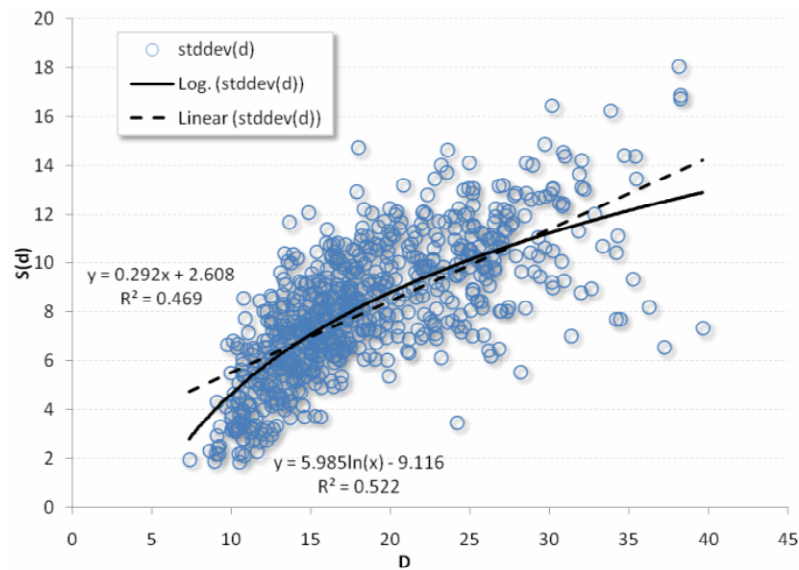
Normālā sadalījuma aprēķināšanai tiek izmantots modālais diametrs (2) nevis vidējais diametrs.

$$D_{\text{mod}} = 1.22027 * D - 8.46487 \quad (2)$$

Modālais diametrs – tas ir diametrs ar vislielāko frekvenci no diametru sadalījuma klases. Modālais diametrs rada pirmo algoritma pielietošanas ierobežojumu – to nedrīkst pielietot, ja vidējais caurmērs mazāks par 7 cm, jo tad iegūtā vērtība t.i. diametrs kļūst negatīvs. Tādēļ arī virtuālās dastlapas diametrs sākas no 8 cm (1.25. att.). Modālais diametrs pie mazākām D un lielākām S vērtībām rada normālā sadalījuma novirzīšanos negatīvo vērtību virzienā.

$$S = 0.06832 * D + 5.69188 \quad (3)$$

Kā vēl vienu no ierobežojumiem jāmin S vērtības robežas, kuras pēc šī algoritma (3) pat izmantojot visas 3 rekomendētās perturbācijas (Ozolins 2004) nevar būt mazāka par 3.5 un lielāka par 15, bet skatoties S vērtību no reālajiem datiem tā ir robežās no 2 – 19. Perturbācijas - tās ir iterācijas, kur sākotnēji noteiktās S un koku augstumlīknes vērtības tiek izmainītas pozitīvā un negatīvā virzienā ar koeficientu 0.25 meklējot atbilstību starp augstumlīkni un caurmēra sadalījumu, lai rezultātā iegūtā koku krāja būtu vienāda ar reālo. Arī šī perturbācijas pieeja, kur tiek variēti 2 parametri (koku augstumlīkne un S vērtība), lai kopsummā iegūtu korektu krāju, nav ideāls risinājums, jo pastāv neierobežots skaits pareizo risinājumu.



1.26. att. Caurmēra izkliede

Apskatot 1.26. attēlu var redzēt, ka normālā sadalījuma parametrs  $S$ , nav atkarīgs tikai no  $D$ , jo izkliede ir pārāk liela.  $S(D)$  nevar aprakstīt ne ar lineāru, kā tas ir darīts MATH\_OZO gadījumā (3), ne ar logaritmisku vienādojumu – korelācijas koeficients  $R^2$  ir pārāk mazs.

### 1.2.2.2 Caurmēra sadalījuma noteikšana ar mākslīgo neironu tīklu

Esošie koku sadalījuma pa caurmēra pakāpēm matemātiskie modeļi MATH\_OZO ir ļoti komplicēti un to modificēšana ir problemātiska, tā ātrdarbība varēja būt labāka (ar lieliem datu apjomiem tas rada problēmu), jaunu izstrāde prasa dziļas matemātiskas zināšanas. Apsverot iepriekšminētos esošā algoritma mīnus, tika izlemts meklēt alternatīvu risinājumu. Tā pamatā būs mākslīgais neironu tīkls (MNT), kas dod iespēju līdzīgus rezultātus sasniegt vienkāršākā veidā. Mākslīgie neironu tīkli izstrādāti ar nolūku cilvēka smadzeņu darbības imitācijai izmantojot matemātisko modeli.

MNT iespējas un priekšrocības:

- kompakts zināšanu attēlojums, svaru un aktivizācijas funkciju matricas formā;
- ļoti ātra un vienkārša darbība pateicoties iepriekšminētajai īpatnībai;
- tie var darboties ar trokšņainiem vai trūkstošiem datiem un dod labus rezultātus ar iepriekš neredzētiem datiem;
- tie apmācās induktīvi no apmācības datu kopas;
- tie spēj apstrādāt nelineāru funkcionalitāti, tas ir īpaši svarīgi darbam ar reāliem dabā sastopamiem datiem.

Tomēr MNT ir arī savas nepilnības:

- to apmācības laiks reizēm var būt ilgstošs un tie var nekonverģēt ar vēlamu rezultātu;
- lietojot gadījuma vērtības svaru inicializācijai, iespējams nonākt pie dažādiem problēmas atrisinājumiem;

- MNT topoloģija tiek veidota empīriskā ceļā, dažkārt, lai nonāktu pie vēlamā rezultāta, nepieciešami vairāki mēģinājumi;
- tiem ir ierobežota rezultāta izskaidrošana, kas dažkārt liek atturēties no to pielietošanas;
- ir sarežģīti MNT papildināt ar jaunām zināšanām un sarežģīti nodod esošās zināšanas citiem MNT.

Piedāvātajam risinājumam tika izvirzīti nosacījumi, ka tam jābūt ātrākam, precīzākam un vienkāršam praktiskā lietošanā. Pastāv 3 risinājumu alternatīvas, kuras var realizēt ar MNT.

Pirmā alternatīva, kā MNT mērķa vērtības izvēlēties caurmēra sadalījuma frekvenci pa klasēm. Lai nodrošinātu caurmēra vērtību diapazona 8-64 cm sadalījumu, noteikts optimālais caurmēra sadalījuma solis 4 cm. Šim sadalījumam no MNT ir nepieciešami 15 izejas neironi. Šī mērķa realizācijai ir nepieciešams ļoti liels datu apjoms, jo meža taksācijā reti sastopamas diapazona galējās vērtības, it īpaši lielāka caurmēra vērtības. Pieejamajos precīzās taksācijas datos dažām sugām trūkst mērījumu resno koku sadalījumu klasēs. Līdz ar to MNT apmācības procesā atbilstošajām izejām vienmēr tiktu dotas vērtības vienādas ar nulli, kas rezultātā radītu kļūdu brīžos, kad šie dati būtu pilnvērtīgi pārstāvēti. Apmācot MNT ar pieejamajiem datiem tika novērotas, datu nepilnības, kas atstāja negatīvu iespaidu uz vēlamo rezultātu, jo MNT veiksmīgi pielāgojās datu kļūdām. Tādēļ šī pieeja tika uz skafīta par piemērotu tikai pietiekamu un kvalitatīvu datu gadījumā, bet ne ar šajā pētījumā pieejamajiem datiem.

Otrā alternatīva, izmantot normālā sadalījuma funkciju, tā pat kā tas darīts MATH\_OZO gadījumā, bet izkliedes parametra  $S$  noteikšanai izmantot MNT.

Analizējot precīzās taksācijas datus tika konstatēts, ka caurmēra sadalījums pa caurmēra klasēm kopumā atbilst normālajam sadalījumam, bet ir atsevišķi gadījumi, kuros vērojama asimetrija.

Trešā alternatīva, noteikt normālā sadalījuma asimetrijas koeficientu un ar to papildināt normālā sadalījuma funkciju, izkliedes parametru  $S$  noteikt ar MNT. Šajā gadījumā var izmantot modificēto normālā sadalījuma funkciju (4), ko sauc par šķīb-normālā sadalījuma (*skew-normal distribution*) funkciju (Azzalini A., Capitanio A., 1999). Normālā sadalījuma asimetrijas funkcija iegūta kā 2 funkciju standartizētā normālā sadalījuma (5) un integrētas standartizētā normālā sadalījuma kumulatīvās funkcijas (6) divkārtšots reizinājums. Protams, jāpiebilst, ka normālā sadalījuma kumulatīvā funkcija ir modificēta, tās integrāļa augšējā robežvērtība tiek reizināta ar asimetrijas koeficienta vērtību.

$$f(S, \alpha) = 2\varphi(S) \cdot \phi(S, \alpha) \quad (4)$$

$$\varphi(S) = e^{\left(\frac{-x^2}{2}\right)} / \sqrt{2\pi} \quad (5)$$

$$\phi(S, \alpha) = \int_{-\infty}^{S-\alpha} \varphi(t) dt \quad (6)$$

Lai novērtētu iegūtos MNT rezultātus ar reālajiem precīzās taksācijas datiem, tie tiek transformēti uz sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Katras caurmēra pakāpes ietvaros tiek rēķināta kvadrātiskā kļūda un no visām caurmēra pakāpēm vienas paraugdatu kopas ietvaros tiek aprēķināta vidējā kvadrātiskā kļūda. Lai objektīvi novērtētu kļūdu tad arī starp visām paraugdatu kopām tiek aprēķināta vidējā kļūda, kura pēc tam tiek salīdzināta dažādu aprēķinu risinājumu ietvaros.

Izmantojot MNT tika sasniegti šādi rezultāti:

- palielinājās ātrdarbība un precizitāte;
- jaunizveidotā algoritma pielietojums ir plašākas salīdzinājumā ar pašreiz eksistējošo MATH\_OZO algoritmu;
- ir iespēja mainīt dastlapas caurmēra sadalījuma soli;
- nepieciešamības gadījumā veikt atkārtotu apmācību ar specifiskiem datiem;
- apmācīt ar pārējām sugām;

Algoritms tika aprobēts uz 4 Latvijā izplatītākajām koku sugām (minētās sugas sastāda 89% no kopējās meža platības) un atšķirīgu apmācības piemēru skaitu, tā rezultātā tika iegūta apmācības kļūda (Tabula 1.4);

Tabula 1.4 Algoritma aprobācija

	Apmācības piemēru skaits	Apmācības kļūda (%)
Priede	379	2.68
Egle	621	2.47
Bērzs	578	2.02
Melnalksnis	338	3.51

MNT tika izveidots C valodā uz *Fast Artificial Neural Network Library* bāzes (<http://leenissen.dk/fann/>). Pilns MNT apmācības kods redzams zemāk. (1.27. att.)

```
#include "fann.h"
int main(int argc, char **argv)
{
    const unsigned int num_input = 5;
    const unsigned int num_output = 1;
    const unsigned int num_layers = 3;
    const unsigned int num_neurons_hidden = 10;
    const float desired_error = (const float) 0.0001;
    const unsigned int max_epochs = 2000000;
    const unsigned int epochs_between_reports = 10000;
    if (argc==3)
    {
        struct fann *ann = fann_create_standard(num_layers,
            num_input, num_neurons_hidden, num_output);
        fann_set_training_algorithm(ann,FANN_TRAIN_INCREMENTAL);
        fann_set_activation_function_hidden(ann, FANN_ELLIOT);
        fann_set_activation_function_output(ann, FANN_ELLIOT);
        fann_train_on_file(ann, argv[1], max_epochs,
            epochs_between_reports, desired_error);
        fann_save(ann, argv[2]);
        fann_destroy(ann);
    }
    else
    {
        printf("Usage:\n\t%s inp_train.data out_train.net\n",argv[0]);
    }
    return 0;
}
```

1.27. att. MNT apmācības kods C valodā

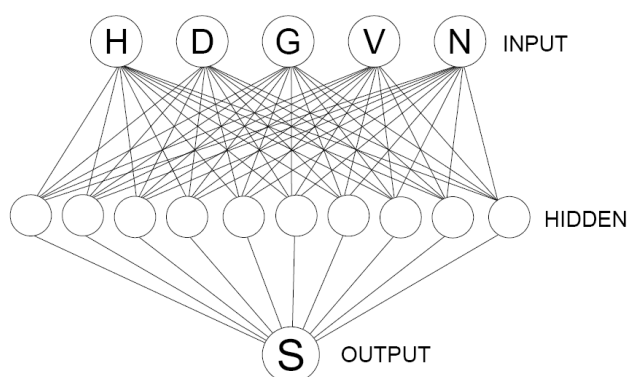
Nepieciešams uzsvērt, ka neironu skaits slēptajā slānī tika noteikts eksperimentālā ceļā, jo analizējot dažādus literatūras avotus nekur netiek piedāvāta metodika optimālā neironu skaita noteikšanai. Šim MNT, kā vispiemērotākā aktivizācijas funkcija tika izvēlēta (David Elliott) izstrādātā funkcija (3), kur  $x$  - ieejas,  $y$  - izejas vērtība,  $s$  - stāvums (stepness)

$$y = ((x*s) / 2) / (1 + |x*s|) + 0.5 \quad (7)$$

Šī aktivizācijas funkcija bija stabilāka – straujāk konverģēja un netika novērota diverģence, kā tas bija ar tradicionālo *sigmoid* funkciju (4)

$$y = 1/(1 + \exp(-2*s*x)) \quad (8)$$

Veidojot MNT struktūru, tika izvēlēta vienkāršākā tīkla topoloģija – uz priekšu izplatības neironu tīkls (*Feedforward neural network*) (1.28. att.).



1.28. att. Izveidotā MNT struktūra

Neironu tīkla slāņu skaits tika noteikts eksperimentālā veidā, kur vienslāņu tīkls (INPUT-OUTPUT) uzrādīja ļoti sliktus rezultātus apmācības procesā, bet divslāņu tīkls (INPUT-HIDDEN-OUTPUT) uzrādīja pietiekami labus rezultātus. Tika mēģināts pievienot vēl vienu HIDDEN slāni – tas nedeva nekādus būtiskus uzlabojumus uz apmācības precizitāti un ātrdarbību, tādēļ trīsslāņu tīkls šim gadījumam tika atzīts par piemērotāko. Šo tīklu var attēlot ar matemātisku struktūru (9).

$$s = f_o \left( \sum_{h=1}^H w_h \cdot f_h \left( \sum_{i=1}^I w_i \cdot X_i + b_h \right) \right) + b_o \quad (9)$$

$X_i$  – ieejas slāņa vērtības;

$i$  – ieejas slāņa neirona indekss ( $i=1..I$ );

$h$  – slēptā slāņa neirona indekss ( $h=1..H$ );

$f_o$  – aktivizācijas funkcija (7) izejas slānī;

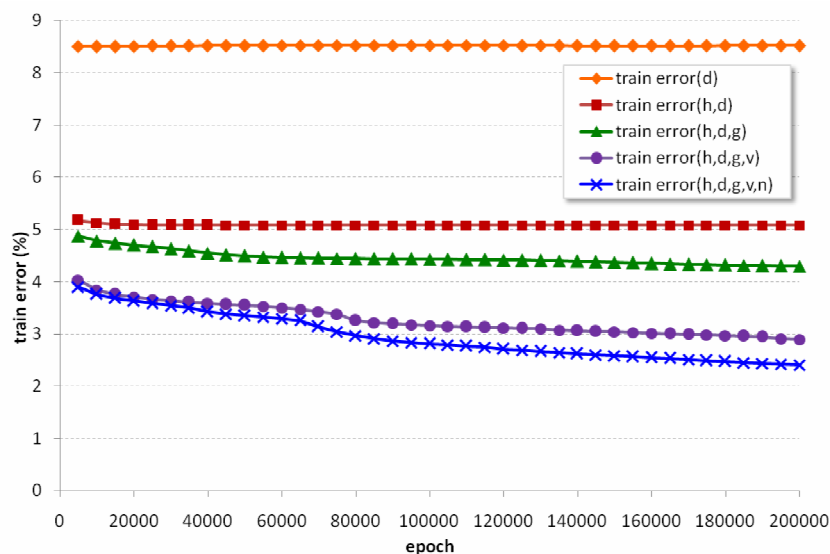
$f_h$  – aktivizācijas funkcija (7) slēptajā slānī;

$W_h$  – svaru vērtības no ieejas uz slēpto slāni;

$W_o$  – svaru vērtības no slēptā uz izejas slāni;

$b_h, b_o,$  – konstantas svaru vērtības (bias) slēptajam un izejas slānim;

MNT apmācības procesā ieejas parametri tika mainīti, sākot tikai ar primārajiem taksācijas datiem (H,D), līdz beidzot pievienojot aprēķinātos datus (G,V,N), kā rezultātā tika iegūta augstāka precizitāte un ātrāka tīkla apmācība (1.29. att.).



1.29. att. MNT apmācības kļūdas novērtējums

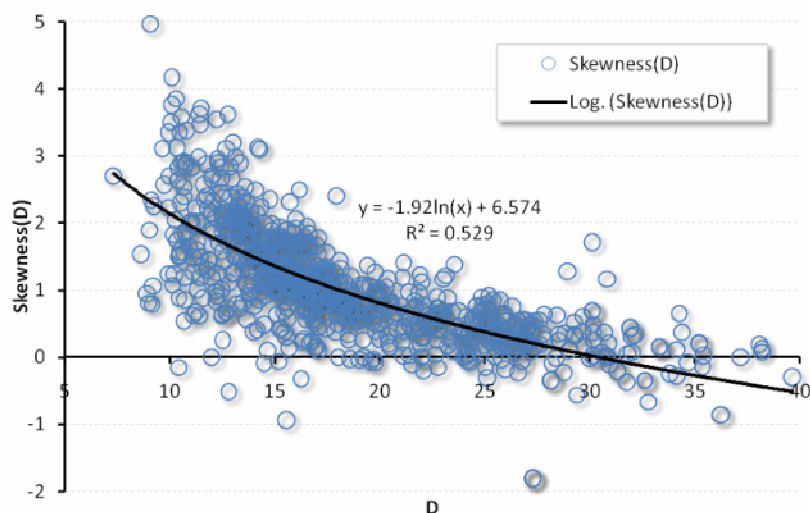
Veicot eksperimentu ar ieejas parametru izvēli tika secināts, ka katrs MNT pievienotais ieejas parametrs samazina apmācības kļūdu. Kļūda straujāk konverģē, tas nozīmē, ka katrs parametrs ir būtisks un dod tīklam augstāku precizitāti. Kā var redzēt 1.30. attēlā – apmācītā MNT svaru stiprums (nozīme) starp visiem neironiem ir ļoti liels, uz ko norāda alfabēta burti mērogā no A līdz Z, kur Z – norāda uz vislielāko svaru vērtību. Piektais ieejas neirons (N) dod vismazāko ietekmi uz MNT apmācības precizitāti.

Layer	Neuron	Weight
L 1 / N 6	LzqBzH	.....
L 1 / N 7	ZzZzHd	.....
L 1 / N 8	xJzzKF	.....
L 1 / N 9	KxtIce	.....
L 1 / N 10	HkzZzB	.....
L 1 / N 11	ZzZzbe	.....
L 1 / N 12	zZCzZH	.....
L 1 / N 13	ZzzEwb	.....
L 1 / N 14	zZzZRI	.....
L 1 / N 15	GzUzQG	.....
L 1 / N 16		.....
L 2 / N 17	.....NrTZRjzKIpk	.....
L 2 / N 18	.....	.....

1.30. att. FANN tīkla svaru analīze



Ņemot vērā to, ka MNT neizdevās apmācīt tā, lai rezultātā tiktu iegūts asimetrijas koeficients, tad eksperimentālā ceļā aplūkojot asimetrijas atkarību no vidējā caurmēra tika konstatēts visām 4 apskatītajām sugām līdzīgas sakarības (1.31. att.). Tās tika aproksimētas ar logaritmisko vienādojumu. Visām apskatītajām koku sugām šī līknes uzvedība ir līdzīga, t.i., jaunākiem, tievākiem kokiem asimetrija ir pozitīva, kokiem ar lielākām caurmēra vērtībām asimetrija pāriet uz negatīvu vērtību.



1.31. att. Asimetrijas koeficients atkarībā no caurmēra (bērzs)

Algoritmu testēšanas vajadzībām no precīzās taksācijas datiem tika ņemta katra 10 datu kopa, kura netika iekļauta apmācības procesā. Testēšanas laikā tika pārbaudīta arī algoritmu ātrdarbība caurmēra sadalījuma pa klasēm aprēķināšanai. Uz MNT bāzētie algoritmi rezultātus sniedza 92x ātrāk par MATH\_OZO algoritmu. Šis ātrdarbības pieaugums skaidrojams ar vienkāršajiem matemātiskajiem aprēķiniem (9), jo MATH\_OZO ir komplicēts un iteratīvs algoritms.

Tabula 1.5. Algoritma testēšanas rezultātu salīdzinājums

Suga	Vidējās kvadrātiskās kļūdas (MSE) salīdzinājums		
	MSE_MATH_OZO / MSE_ANN_S	MSE_MATH_OZO / MSE_ANN_S_SKEW	MSE_ANN_S / MSE_ANN_S_SKEW
Priede	1.36	1.67	1.23
Egle	1.67	2.07	1.24
Bērzs	2.16	2.72	1.26
Melnalksnis	1.79	2.00	1.12
AVERAGE	1.75	2.12	1.21

Iegūtie rezultāti redzami tabulā (Tabula 1.5), kur atspoguļota vidējo kvadrātisko kļūdu attiecība starp 3 metodēm:

- MSE\_MATH\_OZO – vidējā kvadrātiskā kļūda MATH\_OZO algoritmam;
- MSE\_ANN\_S – vidējā kvadrātiskā kļūda izmantojot normālā sadalījuma funkciju (1) ar MNT aprēķināto parametru S;
- MSE\_ANN\_S\_SKEW – vidējā kvadrātiskā kļūda izmantojot šķīb-normālā sadalījuma funkciju (4) ar MNT aprēķināto parametru S un ar logaritmisko vienādojumu iegūto asimetrijas koeficientu (1.31. att.);

Katrai no metodēm vidējā kvadrātiskā kļūda aprēķināta starp reālajiem precīzās taksācijas datiem un ar konkrēto metodi iegūtajiem datiem. Kā var redzēt 2. Tabulā ar MNT noteiktais normālā sadalījuma S parametrs vidēji dod 1.75 reizes precīzākus rezultātus salīdzinājumā ar pašreiz eksistējošo MATH\_OZO algoritmu. Savukārt izmantojot šķīb-normālo asimetrijas funkciju (4), precizitāte uzlabojas 1.21 reizes attiecībā pret normālā sadalījuma funkciju bez asimetrijas. Kopumā vislabākie rezultāti novērojami starp MATH\_OZO algoritmu un šķīb-normālo asimetrijas funkciju (4), kur precizitāte uzlabota vidēji 2.12 reizes, bet atsevišķu sugu gadījumā pat līdz 2.72 reizēm.

Kopumā MNT pārspēj precizitātē OZO vairāk kā 2x, tā rezultātā aprēķinot ekonomiskos rādītājus tiks iegūta augstāka ticamība un iegūtais rezultāts būs tuvāks reālajai situācijai mežā.

- Izmantojot MNT ir iegūta 2x lielāka precizitāte, 92x lielāka aprēķinu ātrdarbība, iegūta iespēja vienkāršā veidā apmācīt MNT ar jaunām sugām, ar sugām, kuras augušas citos apstākļos.
- Izmantojot pēc apmācības iegūto MNT neironu saistību stiprumu – ir iespējams noteikt katra ieejas parametra būtiskumu uz kopējo sistēmu.
- MNT apmācībai nepieciešams visu ģenerālkopu raksturojošs datu apjoms.
- Koku sadalījuma pa diametru klasēm precizitāti var vēl uzlabot, ja MNT apmācītu atkarībā no augšanas apstākļu tipa (šajā pētījumā tas nebija iespējams nelielā datu apjoma dēļ).
- Koku sadalījumam pa caurmēra klasēm raksturīga sadalījuma asimetrija – tievākiem kokiem negatīva, resnākiem un vecākiem – pozitīva.
- Praktiskais ieguvums no MNT ir tā elastība, noturība pret datiem ar traucējumiem, nepilnīgiem datiem, kā arī komplicētu nelineāru problēmu vienkāršota risināšana.

### **1.2.3 Kapitālvērtības imitācija**

Meža kapitālvērtības noteikšanai ieteicams izmantot tiešo ienākumu kapitalizācijas metodi. Metodi iespējams izmantot īpašumos, kuros ieņēmumi tiks gūti ilgstoši un tiks nodrošināts noturīgu fīro ienākumu profils. Šādos īpašumos parasti nav nepieciešams veikt pirmreizējās investīcijas. Lai noteiktu īpašuma kapitālvērtību jāaprēķina ikgadējo fīro ienākumu profils un kapitalizācijas likme. Lai to iespējami precīzi noteiktu, jāveic šādas ienākumu prognozes:

- tiešās izmaksas;

- efektīvie jeb iespējamie kopējie ienākumi;
- potenciālie kopējie ienākumi.

Tiešās izmaksas veido īpašumam atbilstošā apsaimniekošanas mērķa nodrošināšanas izmaksas (funkcionēšanas izmaksas) un efektīvo vai iespējamo kopējo ienākumu gūšanas izmaksas. Literatūrā sastopams arī operatīvo izmaksu apzīmējums;

*Efektīvie jeb iespējamie kopējie ienākumi* – korigētie potenciālie kopējie ienākumi, no kuriem atņemti ienākumi par neizmantotajām platībām, ražošanas zaudējumi, un citi faktori, kas samazina ienākumus;

*Tīrie ienākumi* – efektīvie jeb iespējamie ienākumi, no kuriem atskaitītas operatīvās izmaksas, nodokļu izmaksas, objektu amortizācijas izmaksas u.c. Mežsaimniecības praksē tīro ienākumu jēdzienam analogisks jēdziens ir meža rente;

*Meža rente* – tīrie ienākumi uz platības vienību aprēķina brīdī, nerēķinot laika faktora ietekmi.

Tiešo ienākumu kapitalizācijas metodes ekonomiskā jēga ir īpašuma operatīvās vērtības noteikšanā. Operatīvā vērtība tiek noteikta atbilstoši noteiktā laika posmā gūstamajiem tīrajiem ienākumiem, kapitāla uzkrājumiem un tiem atbilstošajam kapitalizācijas faktoram.

1. Tīrā tagadnes vērtība ir visu nākotnē sagaidāmo izmaksu un ienākumu diskontētā tagadnes vērtība. Meža kapitālvērtība tiek noteikta kā mežierīcības periodu sagaidāmo tīro ienākumu tagadnes vērtību summa. To aprēķina pēc formulas 10:

$$TTV = \sum_{y=0}^n \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n} = (R_0 - C_0) + \frac{R_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (10)$$

kur  $R_n$  – efektīvie jeb iespējamie kopējie ienākumi;

$C_n$  – tiešās izmaksas;

$r$  – procentu likme.

Formula (11) pirmajam plānošanas periodam pārveidota šādā izteiksmē:

$$TTV = \sum_{y=0}^n \frac{A_n - S_c + D_n + M_n - C_n - V_n - I_n}{(1+r)^n} = \sum_{y=0}^n \frac{P_y}{(1+r)^n}, \quad (11)$$

kur,  $A_n$  – galvenās cirtes ienākumi  $n$  periodā, LVL;

$S_c$  – mežizstrādes izmaksas  $n$  periodā, LVL

$D_n$  – starpcirtes ienākumi  $n$  periodā, LVL;

$M_n$  – medību nomas ienākumi  $n$  periodā, LVL;

$C_n$  - meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas, LVL;

$V_n$  – administratīvās izmaksas un nekustamā īpašuma nodoklis, LVL;

$I_n$  – infrastruktūras uzturēšanas izmaksas, LVL

Pētījuma rezultātā tapušās datu apstrādes programmā minētā formula, tajā iekļaujot rezerves fonda uzkrāšanu un izmantošanu nākošo periodu fīrās tagadnes vērtības aprēķināšanai pārveidota formulā 12.

$$TTV_{(n)} = \sum_{y=0}^{n-1} \frac{P_y}{(1+r)^u - 1} * (1+r)^{(y*m)+\frac{m}{2}} + Rf_{(y-1)} * (1+r)^{(y*m)+\frac{m}{2}} + \sum_{y=n+1}^n \frac{P_y}{(1+r)^{(y*m)+\frac{m}{2}}}, (12)$$

kur  $R_f$  – perioda rezerves fonds, LVL;

$u$  – rotācijas periods, gadi;

$p_y$  – sagaidāmie fīrie ienākumi periodā, LVL;

$m$  – perioda ilgums, gadi;

$y$  – periods.

Aprēķinātajai fīrajai tagadnes vērtībai jābūt vienādai vai lielākai par 0. Ja fīrā tagadnes vērtība ir negatīva, tas nozīmē, ka investīcijas ievērojami pārsniedz sagaidāmos ienākumus un saimniekošana pie pieņemtās peļņas likmes nenodrošina pozitīvu bilanci.

2. Fīrie ienākumi (meža rente) tiek izteikti kā katra mežierīcības perioda efektīvo ienākumu un tiešo izmaksu sagaidāmā starpība. Ikgadējie fīrie ienākumi tiek aprēķināti perioda kopējos fīros ienākumus dalot uz perioda ilgumu. Plānošanas perioda kopējo ienākumu fīrās tagadnes vērtības (meža kapitālvērtības) un procentu likmes attiecību sauc par meža renti jeb noturīgo fīro ienākumu profilu, kuru iespējams nodrošināt atbilstoši noteiktajam plānošanas periodam visa meža apsaimniekošanas plāna izpildes laikā. Nosakot optimālo fīro ienākumu profilu svarīgi noteikt katra perioda efektīvos fīros ienākumus, kas kalpo kā salīdzināmais rādītājs un norāda uz rezerves fonda izveides nepieciešamību:

$$p = \sum_{y=0}^n \frac{A_n + D_n + M_n - C_n - V_n - I_n}{y}, (13)$$

kur  $p$  – ikgadējie fīrie ienākumi, Ls;

$y$  – perioda laiks, gadi

Meža renti meža īpašumam nosaka pēc formulas:

$$Mr = TTV * r, (14)$$

kur,  $Mr$  – Meža rente, LVL/gadā;

Meža renti periodam nosaka:

$$Mr_n = \sum_{y=1}^n TTV_n * r, (15)$$

3. Šīs metodes izpratnē rezerves fonds ir fīro ienākumu atlikusī vērtība, kuru plānots izmantot nākamajā plānošanas periodā, vai investēt kapitālvērtības paaugstināšanai nākotnē. Ar daļu no rezerves fonda līdzekļiem jāuztur riska fonds. Rezerves fonda vērtību aprēķina pēc formulas 16.:

$$Rf_y = p_y - Mr * 10, \quad (16)$$

Nākamajiem plānošanas periodiem jāveic fīrās tagadnes vērtības un meža rentes pārrēķināšanu, izveidojot rezerves fonda uzkrājumus. Rezerves fonda uzkrājumi jāpieskaita nākamā mežierīcības perioda fīrajai tagadnes vērtībai.

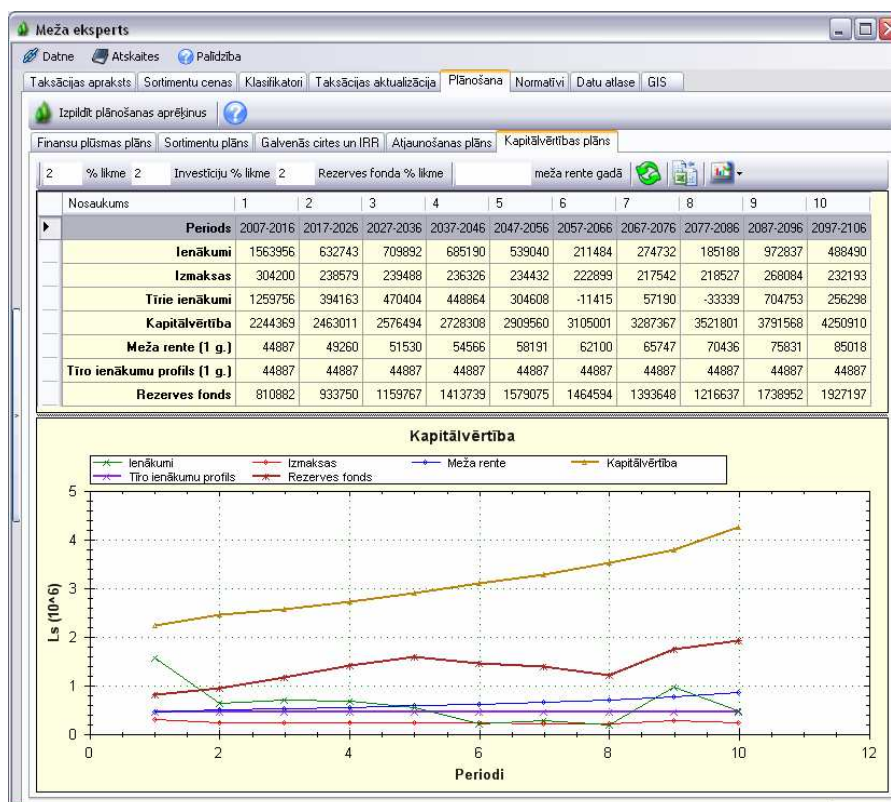
$$Rf_y = (Rf_{y-1} * (1+r)^m + p_y) - Mr * 10, \quad (17)$$

kur  $Rf_y$  – n perioda rezerves fonds, LVL;

$Rf_{y-1}$  – iepriekšējā perioda rezerves fonds, LVL;

$m$  – perioda ilgums, gadi.

Gadījumā, ja meža rente periodā ir lielāka par sagaidāmajiem fīrajiem ienākumiem, rezerves fonds būs ar negatīvu vērtību. Tas nozīmē, ka šajā periodā fīrie ienākumi būs jāsamazina un ar tiem jākompensē rezerves fonda zaudējumi (1.32. att.). Šajā periodā meža īpašnieks peļņu nesaņems. Īpašuma uzturēšana būs jāfinansē no citiem finansu avotiem, vai jāsamazina īpašuma uzturēšanas izmaksas.



1.32. att. Kapitālvērtības aprēķina rezultāts

4. Ikgadējā meža izmantošanas tāme atkarīga no pieņemtā fīro ienākumu profila. Tīrie ienākumi tiek aprēķināti kā visu ienākumu un izmaksu starpība. Tāpēc jānodala fīro ienākumu daļa, kas attiecināma uz citu ienākumu posteņiem (medību nomas maksa, citi ienākumi) no koksnes resursu ienākumu posteņiem. Lai motivētu turpmāku mežaudžu kvalitātes paaugstināšanu, arī krājas kopšanas ciršu ienākumi jānodala no galvenās cirtes ienākumiem. Tāpēc perioda galvenās cirtes fīro ienākumu aprēķināšanai jāizmanto formula 18.

$$A_u - C = Mr + V - D - G, \quad (18)$$

kur  $A_u$  - kopējie fīrie galvenās cirtes ienākumi, LVL

$Mr$  - Akceptētais perioda noturīgs fīro ienākumu profils, LVL;

$V$  - perioda kopējās administratīvās, infrastruktūras uzturēšanas un nodokļu izmaksas, LVL;

$C$  - meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas, LVL;

$D$  - perioda kopējie starpcirtes fīrie ienākumi, LVL;

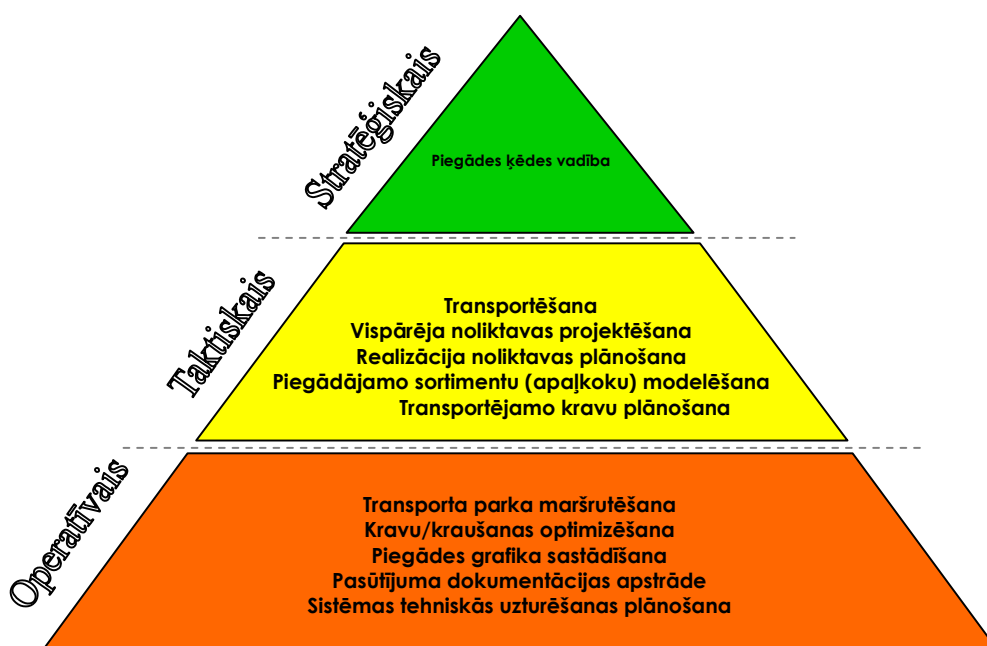
$G$  - kopējie medību saimniecības un citi ienākumi, LVL

## 2 Koksnes resursu plūsmas vadības prototipa imitācija

Ideālā gadījumā apaļkoku sagatavošana un piegāde pasūtītājiem tiek organizēta tā, lai tiktu izlietots iespējami mazāk līdzekļu un laika, savukārt apaļkoku izmēri un kvalitāte atbilstu patērētāja vajadzībām un pie pasūtītāja tie nonāktu pareizā laikā un vietā. Pie tam tiktu garantēta prasību izpilde attiecībā uz meža ilgtspējīgu izmantošanu un darba vidi, kā arī darbības tiktu saskaņotas ar citu sabiedrības darbības sfēru interesēm, lai neviena no iesaistītajām pusēm necieš zaudējumus, bet ir spējīga nodrošināt pastāvīgu attīstību. Tie ir tikai daži mērķi, kas tiek uzstādīti koksnes resursu loģistikas sistēmai. Lai paātrinātu dažādu uzdevumu izpildes laikus un informācijas aprites procesus ir nepieciešams ieviest specifiskus apaļkoku piegādes vadības un uzskaites sistēmas moduljus. Eksistē ļoti plašs klāsts ar dažādām šādu veidu informācijas sistēmām, bet nav skaidrības par to kādas struktūras un kādus biznesa procesus tām būtu jāatbalsta. Šajā nodaļā tiek apskatītas pamat struktūras un biznesa procesi koksnes resursus loģistikā no informācijas sistēmas viedokļa.

Koksnes resursu loģistikas informācijas sistēmai ir jābūt darboties spējīgai gan integrēti ar visu meža saimniecisko pasākumu kontroles sistēmu, gan neatkarīgi kā atsevišķam modulim. Koksnes resursu loģistikas sistēmas pamatā ir zināšanām par loģistiku, koksnes piegādes ķēdi un pilno meža apsaimniekošanas ciklu.

Klasiski **loģistika** ir tautsaimniecības vai atsevišķa uzņēmuma darbībā vajadzīgo resursu pasūtīšanas, saņemšanas, transportēšanas un izvietojšanas plānošana, organizēšana un koordinēšana.



2.1.att. Loģistikas vadības process

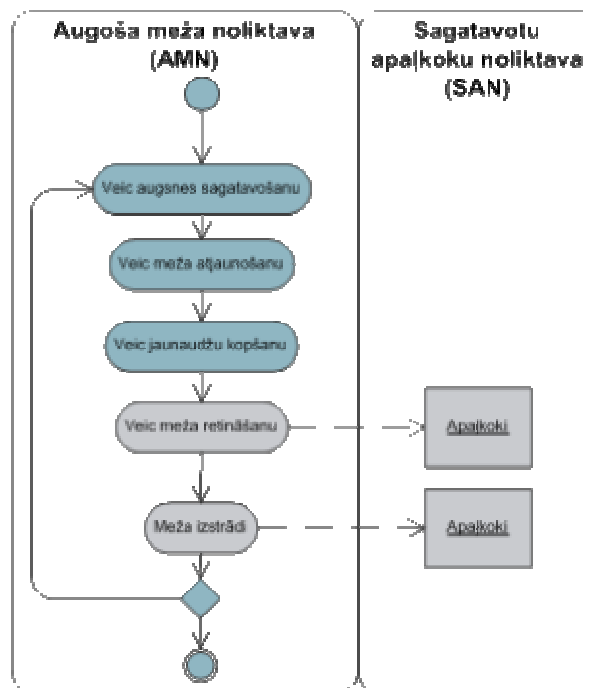
Taču loģistika nav tikai transportēšana, piegāde un uzglabāšana. Modernā loģistika ietver arī mārketingu, grāmatvedību, IT, klientu servisu, kuru vada vairāku līmeņu plānošanas process, ko var attēlot piramīdas veidā (2.1.attēls) un kas sastāv no stratēģiskās, taktiskās un operatīvās plānošanas līmeņiem. Katrs no plānošanas līmeņiem ietver konkrētus pasākumus un uzdevumus.

Loģistika ir iespaidīgs ierocis uzņēmuma rīcībā, lai uzņēmums būtu konkurētspējīgs. Tās mērķis ir padarīt konkurētspējīgāku uzņēmuma sniegto piegādes pakalpojumu, piedāvājot modernus risinājumus, kvalitatīvus transportēšanas pakalpojumus un sevi kā precīzu un uzticamu sadarbības partneri. No koksnes resursu piegādes procesa vadīšanas viedokļa loģistika vispārējā gadījumā ir saimniecisko darbību plānošana, organizēšana un kontrole, kas nodrošina materiālo vērtību plūsmu un ar to saistītās informācijas mērķtiecīgu glabāšanu, pārvietošanu un citas aktivitātes no ražošanas vietas līdz patērētājam ar mērķi paaugstināt darbības efektivitāti un apmierināt patērētāju vajadzības.

Meža apsaimniekošana ir pakārtota koku augšanas ciklam, kuram sākums ir koka iestādīšana un noslēgums koka nociršana. Šo periodu sauc par meža augšanas ciklu. Meža augšanas ciklā, kas var būt vairākus desmitus gadu garumā ir jāveic virkne saimniecisku darbību, lai panāktu kvalitatīvu augšanas procesu un atbilstošu koksnes pieaugumu. Saimniecisko darbību kopumu, ko veic meža augšanas cikla procesā sauc par **pilno meža apsaimniekošanas ciklu** (2.2.attēls). Tas sākas ar meža iestādīšanu, turpinās ar kopšanu un noslēdzas ar izstrādi.

Pilnā meža apsaimniekošanas cikla nodrošināšanai ir nepieciešams precīzi plānot veicamos darbus un izmatot atbilstošu tehniku. Ar to var būt saistīti

elementi, kas nav koksnes produkti - rekreācija (tūrisms, u.c.) un blakusizmantošana (medību saimniecība, u.c.).



2.2. att. Pilns meža apsaimniekošanas cikls

Meža augšanas ciklā, laikiem ejot, pieaug koksne un līdz ar to mainās (pieaug) „Augoša meža noliktavas” vērtība.

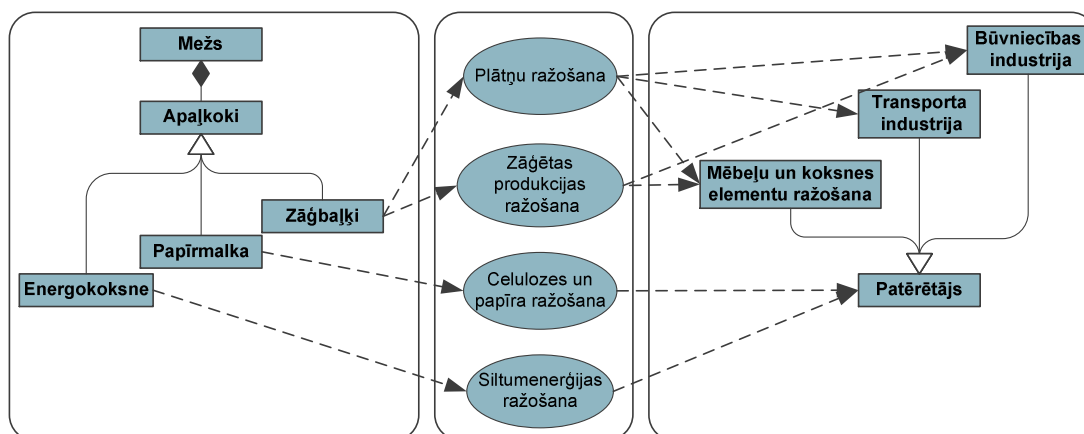
Pilna meža apsaimniekošanas cikla realizācijas gaitā (kopšanas cirtēs un galvenajā cirtē) rodas apaļkoki, kuri nonāk „Sagatavotu apaļkoku noliktavā”.

Koksnes piegādes ķēde (2.3.attēls) atspoguļo koksnes ceļu no meža līdz gala patērētājam, kā arī parāda koksnes sagatavošanas, pārstrādes un pielietošanas veidus un mērķus.

Atkarībā no koksnes pielietojamības dažādības tautsaimniecībā, piegādes ķēdes elementi var mainīties. Kā piemēru var minēt jēdziena „energokoksne” parādīšanos kokmateriālu sagatavošanas zonā, jo Eiropas Savienības stratēģijā par enerģijas ražošanu un piegādi ir definēta prioritāte - enerģijas ražošanā izmantot atjaunojamus resursus.

Koksnes piegādes ķēdes mēdz sertificēt, lai „Patērētājam” un citiem piegādes ķēdes dalībniekiem nodrošinātu ticamību, ka produkts, ko tie lieto ir nācis no sertificēta jeb ilgtspējīgi apsaimniekota meža un tā pārstrādes process noticis videi un patērētājam draudzīgi.





2.3.att. Koksnes piegādes ķēde

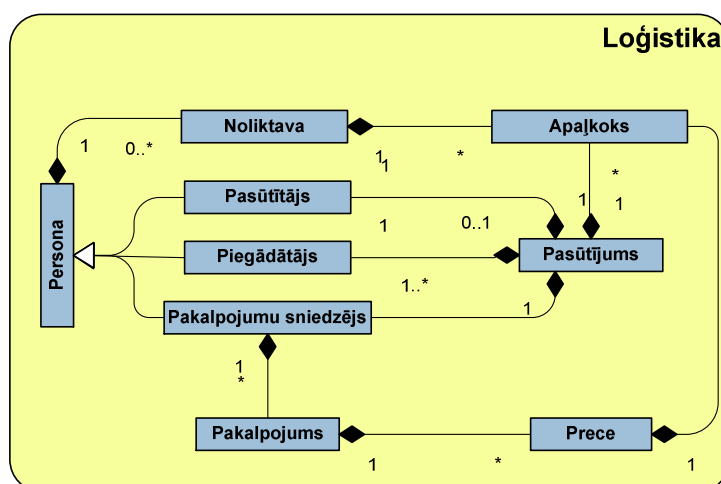
2.3.attēlā redzamā piegādes ķēde demonstrē pielietojuma gadījumu saistību ar dažādiem resursu un patērētāju veidiem. Diagramma sastāv no trim daļām, kur pirmajā ir aprakstīti resursu veidi un to savstarpējās saistības, otrajā resursu lietošanas gadījumi, bet trešajā resursu patērētāju klasifikācija. Ar raustītām līnijām starp diagrammu veidiem ir norādīts, kuros lietošanas gadījumos resurss tiek izmantots un kurš patērētāja veids ir ar to saistīts.

### 2.1 Koksnes resursu loģistikas sistēmas struktūra

Nozīmīga loma efektīvas koksnes resursu loģistikas nodrošināšanā ir pasākumu plānošanai, kas ir ilgtspējīgas un sabalansētas mežsaimniecības pamats. Ideālā gadījumā ir ievērojama trīs līmeņu plānošana – stratēģiskā, taktiskā un operatīvā, kuras noslēgums ir saimnieciskais rīkojums. Šādas pasākumu plānošanas rezultātā tiktu iegūts sekojošais:

- optimāla mežistrāde (sabalansētas mežistrādes tehniskās iespējas, resursu pieprasījums un to iegūšanas iespējas);
- optimāls resursu nodrošinājums (jau iepriekš plānota resursu apjoma piegāde noteiktā laikā, vietā un kvalitātē);
- optimāls piegādes process (apaļkoku transportēšana pēc aprēķinātas un saskaņotas shēmas, pēc noteiktas specifikācijas un apjoma).
- Pārvēršot iepriekšminētos ieguvumus ekonomiskos un izmērāmos parametros, iegūstam laika un izmaksu ekonomiju uz vienu piegādātā apaļkoka kubikmetru.

Lai varētu veikt iepriekš minētos uzdevumus un vienkāršu sistemātisku procesu uzraudzību, ir nepieciešams izstrādāt informācijas sistēmu, kas sevī ietver mežsaimniecībā svarīgu biznesa procesu vadības un kontroles mehānismus.



2.4. att. Koksnes resursu loģistikas sistēmas konceptuālais modelis

Konceptuālā modeļa galvenais uzdevums ir aprakstīt koksnes resursu loģistikas sistēmā pastāvošos jēdzienus un to mijiedarbības, lai tie vēlāk varētu tikt atbilstoši izmantoti un neradītu papildus neskaidrības. Otrs šī modeļa uzdevums ir parādīt bāzes klases, kuras var tikt izmantotas šādas sistēmas veidošanā.

2.4. attēlā ir izveidota resursu loģistikas procesos iesaistīto uzņēmumu klasifikācija ar virs klasi „Persona”. Šāds klases nosaukums tika izvēlēts atbilstoši reālai situācijai, jo, transportēšanas un izstrādes uzdevumos var piedalīties gan individuālas personas, gan uzņēmumi. Klase „Persona” tiek iedalīta trijās grupās – Pasūtītājs, Piegādātājs un Pakalpojumu sniedzējs. Visām trim minētajām grupām ir noliktava un kopā tās veido pasūtījumu, kas sastāv no apaļkokiem. Pakalpojumu sniedzējs ir atbildīgs par mežsaimniecisko darbu un apaļkoku piegādes veikšanu (2.1. tabula).

2.1.tabula. Koksnes resursu loģistikas sistēmas virs klašu apraksts

Virs klase	Nosaukums	Apraksts
	Persona	Apraksta vispārīgu uzņēmumu, kas iesaistīts preču plūsmā. Tālāk tiek specificēta sīkāk atbilstošie ieņemamai lomai un pienākumiem. Ir saistīta ar klasi Noliktava.
Persona	Piegādātājs	Piegādātājs koksnes resursu loģistikas sistēmas (KRLS) izpratnē ir koksnes resursu pārdevējs, kurš var būt meža īpašnieks, meža apsaimniekotājs, koksnes tirgotājs. Piegādātājs ir persona (uzņēmums), kuram ir pārdošanai gatavi vai sagatavojami materiāli un tā uzdevums ir atbilstoši pasūtītāja specificācijai nodrošināt attiecīgo apaļkoku piegādi, noteiktā apjomā un termiņā.
Persona	Pasūtītājs	Pasūtītājs KRLS izpratnē ir koksnes resursu pircējs,

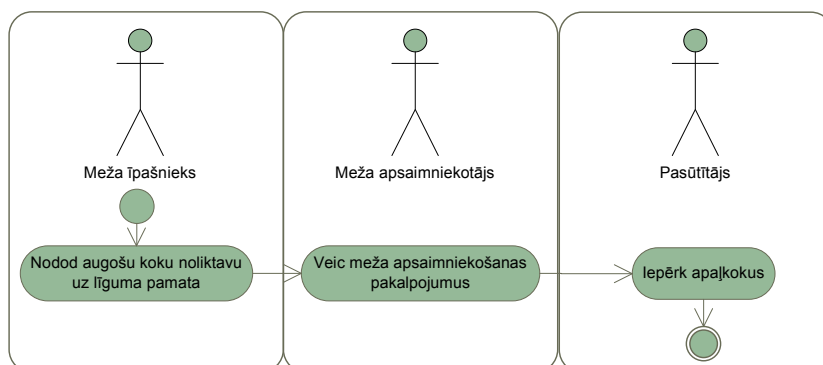
Virsi klase	Nosaukums	Apraksts
		kurš var būt koksnes tirgotājs vai koksnes pārstrādātājs. Šī dalībnieka galvenais mērķis ir iegādāties materiālus un to piegādes pakalpojumus.
Persona	Pakalpojumu sniedzējs	Pakalpojumu sniedzējs KRLS izpratnē ir pilna meža apsaimniekošanas cikla un koksnes piegādes ķēdes nodrošināšanas pakalpojumu sniedzējs. KRLS var izdalīt sekojošus pakalpojumu veidus, meža atjaunošana, meža kopšana, meža izstrāde, apaļkoku pievešana, apaļkoku transports, apaļkoku uzmērīšana
	Noliktava	Noliktava var būt jebkuram no plūsmas dalībniekiem. KRLS izpratnē var izdalīt divus noliktavu veidus: Augoša meža noliktava (AMN) un Sagatavotu apaļkoku noliktava (SAN). Pirmo noliktavu raksturo koksnes apjoms, kvalitāte un vērtība, kas atrodas augošā mežā. Apaļkoku piegādes plānošana notiek balstoties uz informāciju par augošu koku noteiktā vietā. Otrā noliktavu raksturo koksnes apjoms, specifikācija un vērtība, kas sagatavots un atrodas noteiktā vietā un ir gatavs transportēšanai pie Pasūtītāja.
	Apaļkoki	KRLS izpratnē apaļkokus raksturo Suga, Kvalitāte, Garums, Diametrs, Apjoms.
	Prece	Prece ir apaļkoku kopums, kurš ir saistīts ar konkrētu pakalpojumu, piemēram, piegādi. To var raksturot tādi jēdzieni kā Apjoms, Transportēšanas veids, Pilna vai kombinēta krava, Kvalitāte, Vērtība u.c. (Atkarībā no veicamā uzdevuma)
	Pasūtījums	Pasūtījums ir viena no būtiskākajām klasēm sistēmā, jo tā nodrošina sasaisti starp visām pārējām. Reālā dzīvē pasūtījums ir dokuments uz kura bāzes tiek veiktas preču piegādes darbības, bet no KRLS viedokļa pasūtījums ir apaļkoku kopums, kas saistīts ar piegādātāju, pasūtītāju un pakalpojumu sniedzēju.

## 2.2 *Latvijā pastāvošie koksnes resursu piegādes procesi*

Latvijā pašlaik nav izveidojies savs tradicionālais jeb klasiskais koksnes resursu piegādes modelis, jo kopš valsts neatkarības iegūšanas, laika gaitā ir mainījušās tirgus dalībnieku lomas, veidojot dažādas kombinācijas.

## 1. „Meža apsaimniekotāja” modelis.

Sekojoši koksnes resursu piegādes modeļi ir Latvijā visbiežāk sastopami. Meža apsaimniekošanas uzņēmums (uzņēmums, kas uz līguma pamata veic mežsaimnieciskos darbus meža īpašniekam piederošajā mežā) par samaksu iegūst augošu koku cirmsas, veic to izstrādi, organizē piegādi un realizāciju (2.5.attēls).

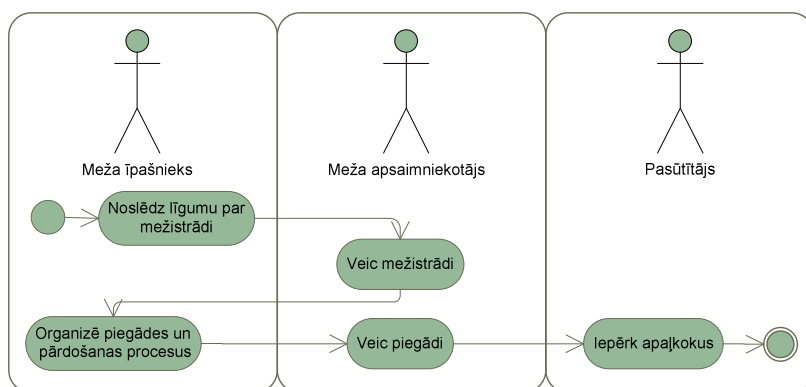


2.5. att. Meža apsaimniekotāja process

Sadarbojoties ar vairākiem meža īpašniekiem, meža apsaimniekotājs nodrošina attiecīgu apaļkoku apjomu. Šāds modelis darbojas Rietumeiropā, kur ir senas meža īpašnieku asociāciju tradīcijas un kā meža apsaimniekotājs ir tieši meža īpašnieku asociācija, kas veic saimnieciskās operācijas mežā un apaļkoku realizāciju.

## 2. „Meža īpašnieka” modelis

Meža īpašnieks pērk meža apsaimniekošanas un piegādes pakalpojumus, bet apaļkoku realizāciju veic pats (2.6.attēls).

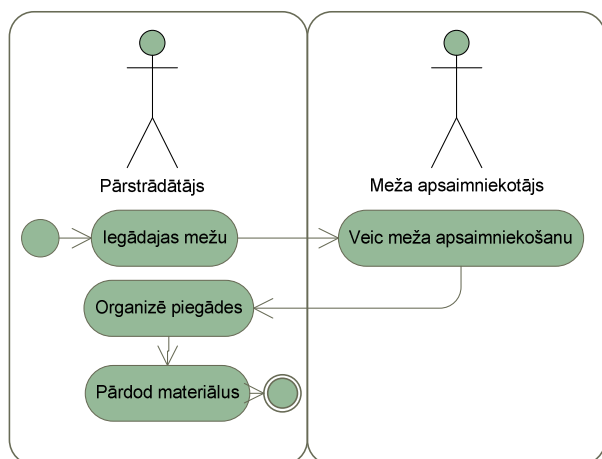


2.6. att. Meža apsaimniekotāja process

Šāds modelis vēl joprojām pastāv Latvijā, lai gan nav izplatīts nekur citur Eiropā. Lai gan šis modelis privātā mežsaimniecībā nav ekonomiski efektīvs (mazo meža platību dēļ), tas pastāv meža īpašnieku neinformētības un nesakārtotu tirgus darbības principu dēļ.

### 3. „Pārstrādātāja” (Pasūfītāja) modelis.

Pārstrādātājs savā pārvaldījumā iegūst augoša meža īpašumu un pērk meža apsaimniekošanas un piegādes pakalpojumus, un organizē neizmantojamo kokmateriālu tālāku realizāciju (2.7.attēls).

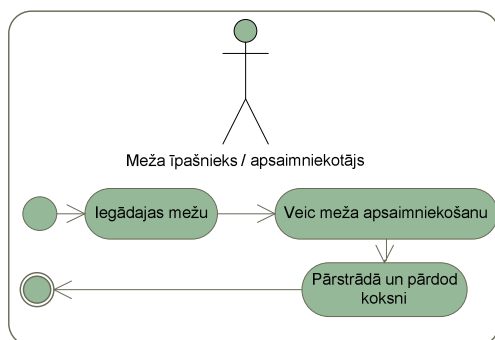


2.7.att. Pārstrādātāja/Pasūfītāja process

Šādu modeli realizē lielie koksnes pārstrādes uzņēmumi, lai nodrošinātu zināmu neatkarību resursu sagādē. Taču šis modelis ir radies nesabalansētu apaļkoku piegāžu rezultātā un varētu pazust, kad iestāsies zināma tirgus stabilizācija, kurai jābalstās uz resursu piegāžu plānošanu ilgtermiņā.

### 4. "Meža pilna apsaimniekošanas cikla jeb resursu piegādātāja" modelis

Meža apsaimniekošanas uzņēmums ir gan meža īpašnieks, gan pakalpojumu sniedzējs, kas nodrošina apaļkoku piegādes Pasūfītājiem (2.8.attēls).



2.8.att. Meža pilna apsaimniekošanas cikla jeb resursu piegādātāja process

Šī modeļa raksturojošie rādītāji ir sekojoši:

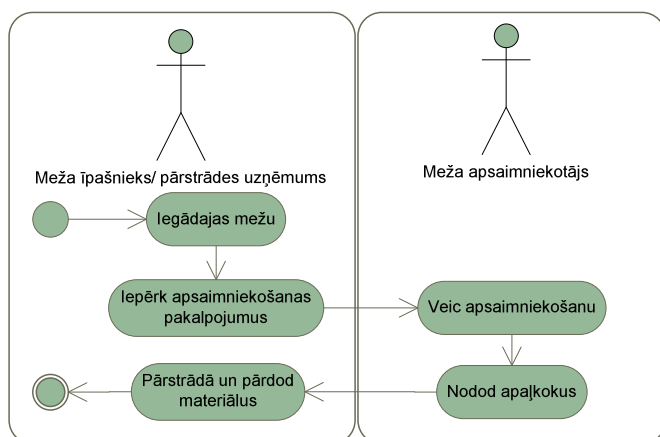
Viena tirgus dalībnieka rīcībā ir:

- meža īpašums;
- meža atjaunošanas un kopšanas resursi (tehnika un darbinieki);
- meža izstrādes un pievešanas resursi (tehnika un darbinieki);

- kokmateriālu transportēšanas resursi (loģistikas sistēma, tehnika un darbinieki),
- kokmateriālu tirdzniecības sistēma (starpkrautuves, klientu apkalpošanas sistēma, u.c.).

## 5. "Īpašnieka - Patērētāja" modelis

Šajā modelī (2.9.att.) apaļkoku tālākas pārstrādes uzņēmums ir arī meža īpašnieks, taču meža apsaimniekošanai un piegādēm piesaista apakšuzņēmējus. Šāds modelis kļūst populārs Skandināvijā, kur vairākas kompānijas, kas ir gan meža īpašnieki, gan pārstrādātāji dibina savu meža apsaimniekošanas un piegādes uzņēmumu.



2.9.att. "Īpašnieka - Patērētāja" process

No augstākminētajiem koksnes resursu loģistikas modeļiem pašlaik stabilu lomu Latvijas mežsaimniecībā ir ieņēmis „Meža pilna apsaimniekošanas cikla jeb resursu piegādātāja” modelis, kurš spējīgs pastāvēt un attīstīties ilgtermiņā.

Kā perspektīvu varētu minēt arī "Īpašnieka - Patērētāja" modeļa attīstību Latvijā, taču lai tas notiktu ir jāpiepildās vienam būtiskam priekšnosacījumam – Patērētāja valdījumā jābūt pietiekami meža, lai varētu veikt ilgtermiņa apaļkoku piegāžu plānošanu. Atšķirībā no Skandināvijas, kur lielajām pārstrādes kompānijām ir gadsimtiem senas tradīcijas un līdz ar to arī pakāpeniski palielināti meža īpašumi, Latvijā pārstrādātājiem būtu jāveic ārkārtīgi lielas investīcijas mežu iegādē īsā laika periodā, pie tam rēķinoties ar to, ka stabilas piegādes no saviem īpašumiem varētu sākties pēc vairākiem gadu desmitiem.

### 2.3 Koksnes loģistikas informācijas sistēmas lietošanas gadījumi

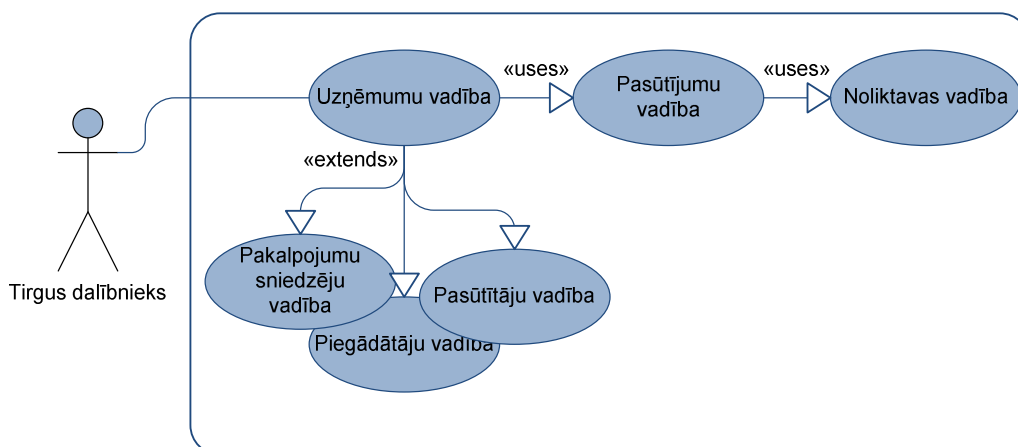
Koksnes resursu loģistikas sistēma (KRLS) ietvaros tiek realizēta sekojošu pakalpojumu atbalsta funkciju veikšana:

- meža izstrādes;
- apaļkoku pievešanas;
- apaļkoku transportēšanas;
- apaļkoku uzmērīšana;

- mežā;
- pasūtītāja noliktavā.

Lielākā koksnes resursu loģistikas sistēmas pakalpojumu daļa ir attiecināma tieši uz transportēšanas organizēšanu: transporta līdzekļu un piegādes shēmu izvēlei, maršrutu plānošanu, laika grafiku sastādīšanu, piegādes procesa kontroli u.c. Konceptuālais modelī tika atspoguļoti apaļkoku plūsmas, pārvietošanas, transportēšanas un glabāšanas uzdevumos pastāvošie svarīgākie jēdzieni.

Uz KRLS konceptuālā modeļa pamata jāizstrādā datorprogramma, kas piemērota apaļkoku piegāžu situāciju modelēšanai, optimālo apaļkoku struktūru izvēlei, plānošanai un sagatavošanai, integrējot sistēmā jaunākās informāciju un komunikāciju tehnoloģijas, t.i. mobilo sakaru tehniskos risinājumus, kas paver iespējas ātrai datu pārvadei un apstrādei. Būtiska pievienotā daļa ir KRLS savietošana ar GPS un GIS sistēmām. KRLS kā programmnodrošinājuma ieviešana ir saistīta ar attiecīga aprīkojuma uzstādīšanu, programmatūras un datu pārraides savietošana visos posmos – meža izstrāde, pievešana, transportēšana, loģistika. Bet pirms tiek veikta šādas sistēmas ieviešana ir jāprecizē tās izmantošanas gadījumi.



2.10. att. KRLS lietošanas gadījumi

KRLS galvenais uzdevums jeb misija ir padarīt koksnes resursu piegādes procesu daudz prognozējamāku un ekonomiski efektīvāku no laika, enerģijas un koksnes izmantošanas lietderības viedokļa.

KRLS potenciālie lietotāji ir gan lielas – integrētas mežsaimniecības kompānijas, kuru īpašumā ir koksnes resursi un mežsaimnieciskā tehnika, gan atsevišķu pakalpojumu sniedzēji vai tikai meža īpašnieki.

KRLS ir programmnodrošinājums darbojas savietojamu moduļu veidā, kas nozīmē to, ka atkarībā no tirgus dalībnieka specializācijas var tikt pielietota integrēta KRLS vai tikai kāds no tās moduļiem, piemēram, pakalpojumu sniedzēja modulis, kurš administrē un plāno mežsaimniecisko vai transportēšanas pakalpojumu sniegšanu, nepieskaroties pašam apaļkoku realizācijas procesam.

Svarīgākie KRLS lietošanas gadījumi ir apkopoti 2.10.attēlā redzamajā diagrammā, kur par sistēmas izmantotāju tiek uzskatīts jebkurš tirgus dalībnieks. KRLS ir realizēti trīs būtiski uzdevumi - *Uzņēmumu vadība*, *Pasūtījumu vadība* un *Noliktavas vadība*. Pirmais ietver visu uzņēmumu informāciju vadību un var tikt iedalīts sīkāk atbilstoši to tipam. *Pasūtījumu vadība* ir visbiežāk veicamais uzdevums un to izmanto *uzņēmumu vadība* un tās realizācijai ir nepieciešama *noliktavas vadība*.

Koksnes piegādes ciklā visās pozīcijās galveno lomu spēlē Pasūtītājs, kurš lielā mērā arī definē konkrētus uzdevumus un prasības KRLS. Tāpēc KRLS ir pakārtota Pasūtītāju vajadzībām gan preču, gan pakalpojumu līmenī.

### **2.3.1 Sistēmas izmantošanas mērķi**

Optimālas un ekonomiski efektīvas preču un pakalpojumu piegādes nodrošināšana koksnes resursu tirgus dalībniekiem.

Ekonomiski (izmaksas, laiks, kvalitāte) efektīvāko piegādes modeļu izvēle;

Uzdevumu panākt maksimāli ekonomiski efektīvāko risinājumu gan resursu iegūšanā, gan to piegādāšanā risina ikviena dabas resursu pārvaldības joma, jo primāri to nosaka dabas resursu pieejamības faktors. Koksnes resursi ir atjaunojami, taču to piegāde, realizācija un pārstrāde ir saistīta ar citiem ierobežotu resursu veidiem, tādiem kā degviela, enerģija, cilvēkresursi u.c. Tajā pašā laikā pieejamā infrastruktūra, tāda kā ceļu tīkls ir ļoti pieprasīta no sabiedrības un tautsaimniecības, kurai arī ir savs ierobežots kalpošanas laiks, kas regulāri prasa lielas investīcijas tā uzturēšanā. Tāpēc ir vērts nopietni strādāt pie apaļkoku ražošanas un piegādes procesu optimizācijas, lai pēc iespējas taupītu iepriekšminētos resursus un infrastruktūras platformu. Lai to izdarītu ir nepieciešams pietiekami precīzi plānot apaļkoku piegādes, kas savukārt atkarīgas no kvalitatīvas un pietiekamas datu pārraides.

Koksnes resursu piegādes plānošana;

Koksnes resursu piegādēm jānodrošina 3 līmeņu plānošana – stratēģiskā, taktiskā un operatīvā. Plānošanas procesā ir jāiekļauj sekojoši koksnes resursu plūsmas elementi:

- ciršanas vietu izvēle;
- apaļkoku sagatavošanas laiks;
- apaļkoku atrašanās laiks piegādātāja krautuvē;
- apaļkoku piegādes attālums un laiks līdz pasūtītājam;
- piegādes un pasūtījuma vietu lokācija;
- apaļkoku plūsmas grafiks laikā un telpā;
- pakalpojumu sniegšanas grafiks;
- transporta kustības grafiks.

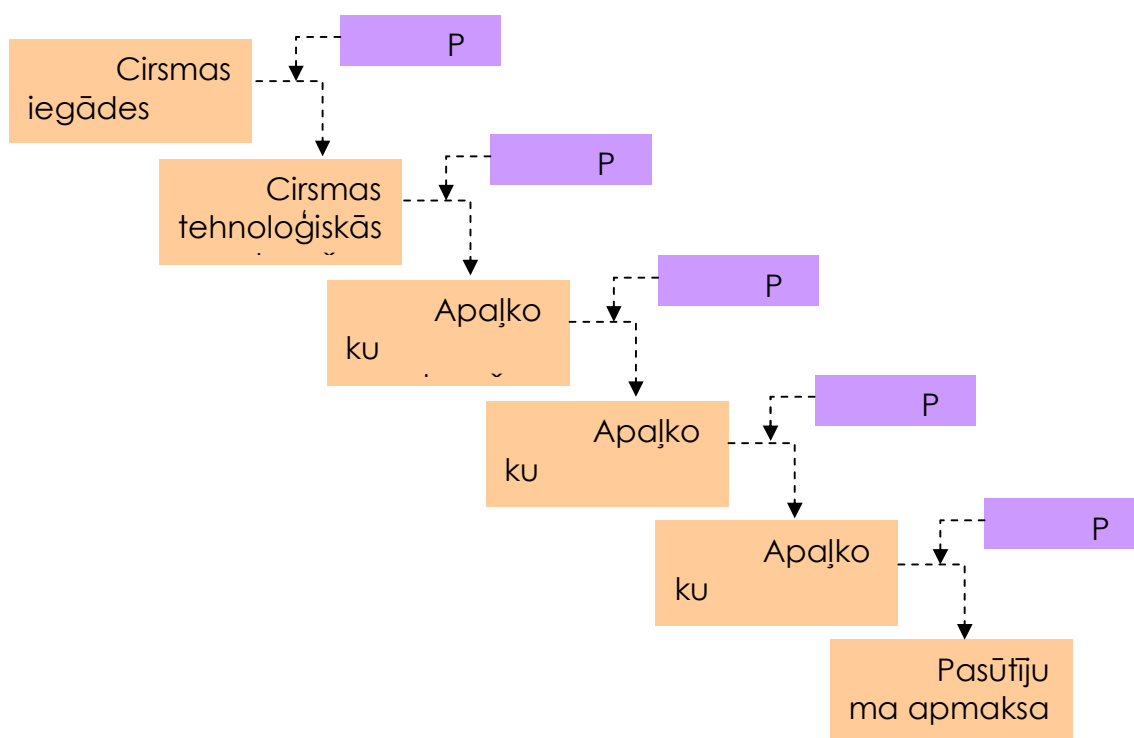
Piegādes procesa izmaksu kalkulācija un analīze;



Vispārīgā gadījumā par pamatu piegādes procesa izmaksu aprēķināšanai tiek ņemtas investīciju izmaksas meža resursu pārvaldīšanā. Lai gan jāatzīmē, ka katrā KRLS posmā var būt padziļināti un detāli aprēķinu algoritmi, kuru nepieciešamību nosaka konkrētais koksnes resursu piegādes modelis (aprakstīti 2.2.nodaļā).

Investīcijas meža resursu pārvaldīšanā sastāv no sekojošām grupām (2.11.attēls):

- nekustamā īpašuma izmaksas;
- mežsaimnieciskās izmaksas;
- piegādes un realizācijas izmaksas;
- ieguldījumu atmaksāšanās perioda izmaksas, izteiktas izmaksās par laika vienību:
- nekustamā īpašuma/cirsmas iegādes procedūras ilgums;
- periods no cirsmas iegādes brīža līdz tās tehnoloģiskai sagatavošanai;
- cirsmas tehnoloģiskās sagatavošanas periods;
- periods no cirsmas tehnoloģiskās sagatavošanas līdz apaļkoku sagatavošanas uzsākšanai;
- apaļkoku sagatavošanas periods;
- periods no apaļkoku sagatavošanas līdz pievešanas uzsākšanai;
- apaļkoku pievešanas periods;
- apaļkoku uzglabāšanas periods sagatavotu apaļkoku noliktavā pie meža;
- apaļkoku transportēšanas periods;
- periods, no apaļkoku piegādes brīža gala krautuvē līdz to apmaksai.



2.11.att. Apaļkoku piegādes procesa izmaksu modelis

Potenciāli pieejamo koksnes resursu datu bāzes uzturēšana un efektīvāka klientu apkalpošana.

Pilnīgas informācijas pieejamība jeb datu bāzes esamība un tās regulāra papildināšana ir būtisks priekšnosacījums KRLS veiksmīgai darbībai. Jo pilnvērtīgāka datu bāze sadalījumā pa reģioniem, meža īpašumiem, pastāvošo infrastruktūru, koksnes kvalitatīvajiem rādītājiem, pasūtītājiem, piegādātājiem, pakalpojumu sniedzējiem u.t.t., jo precīzāk darbojas KRLS. Sistēmā pastāv divi galvenie elementi – persona un prece. Persona no sistēmas viedokļa ir Pasūtītājs, Piegādātājs vai Pakalpojumu sniedzējs, aiz kuriem stāv konkrēti cilvēki jeb klienti. Tātad KRLS risina ne vien preču efektīvas kustības jautājumus, bet arī organizē darbu ar klientiem jeb klientu attiecību vadīšanu (no angļu val. *CRM – Client Relationship Management*).

### 2.3.2 Sistēmas izmantošanas modeļi

Koksnes resursu loģistikas informācijas sistēma var darboties:

- integrēti ar visu meža saimniecisko pasākumu kontroles sistēmu;
- neatkarīgi kā atsevišķs modulis.

Abos gadījumos var tikt realizēti divi dažādi sistēmas izmantošanas modeļi, kas saistīti ar kokmateriālu noliktavas veidu. Pirmajā situācijā par noliktavu tiek uzskatīts augošs mežs – Augoša meža noliktava (AMN). Šī modeļa ietvaros KRLS pilda uzdevumus, kas saistīti ar apaļkoku sagatavošanas plānošanu un piegādi no augoša meža un ietver sekojošu informāciju:

- Īpašuma un cirsmu raksturojums (īpašumtiesības, vieta, izstrādes un transportēšanas apstākļi);
- Informācija par pieejamiem sortimentiem un to apjomu;
- Informācija par apaļkoku sagatavošanas un pievešanas laiku;
- Meža apsaimniekošanas apgrūtinājumi (piem. dabas liegumi)
- Apaļkoku sagatavošanas tehnoloģiskie varianti;
- Informācija par apaļkoku tirgus situāciju (izmēri, cenas, kvalitāte u.t.t.).

Šis modelis piemērots ilgtermiņa apaļkoku piegāžu plānošanai un balstīts uz informāciju par mežā augošajiem koksnes resursiem. Jo lielākas meža platības ir ievadītas sistēmā, jo efektīvāku rezultātu tā sniegs. Būtiskākās šādas sistēmas priekšrocības ir iespēja precīzi izpildīt pasūtītāja sortimentu specifikāciju, samazināt piegādes attālumus un precīzi plānot pārējos saistītos pakalpojumus. Šis modelis nav paredzēts gadījumiem, kad notiek ārkārtas situācijas, kas būtiski ietekmē ilgtermiņa plānošanu un datus sistēmā.

Otrā modeļa gadījumā noliktavu veido jau nozāģēti apaļkoki (Sagatavotu apaļkoku noliktava – SAN) un tā galvenais uzdevums ir maksimāli efektīvi veikt apaļkoku piegādes reālā laika režīmā, kur informācija par sagatavotajiem apaļkokiem un noliktavām ienāk no dažādiem, iepriekš neparedzētiem vai daļēji paredzētiem avotiem. Tas nozīmē, ka sistēma risina īstermiņa vai vidēja termiņa piegāžu plānošanu, kas atkarīga no pasūtījuma specifikācijas (sortimentu raksturojums, apjoms, piegādes vieta).

Viens no paņēmieniem, kā rīkoties apstākļos, kad nosacījumi strauji mainās, ir lēmumu pieņemšanas decentralizācija, novirzot to uz lokālajiem izpildītājiem. Tie savus plānus var mainīt operatīvāk, ja vien viņam ir iespēja to darīt ar pilnu atbildību. Lielā uzņēmumā detalizēta kopēja plāna pārstrādei var būt nepieciešams ilgs laiks.

Modeļu būtiskākās atšķirības ir sekojošas:

#### **Plānošanas līmenī:**

ilgtermiņa piegādes plānošana (dati par koksnes resursiem) – AMN noliktavas modelis,

operatīvā piegādes jeb „taksi” piegādes modelis, kur piegādes sistēma pieskaņojas reālajam apaļkoku piedāvājumam (dati par koksnes resursu piegādātājiem) – SAN noliktavu modelis.

#### **Dalībnieku līmenī:**

- zināms piegādātājs, pasūtītājs, pakalpojumu sniedzējs – AMN
- zināms tikai viens no trijiem - SAN
- Mežsaimnieciskās īpatnības (sezonālais raksturs)
- var ieplānot – AMN
- nevar ieplānot - SAN

Tirgus īpatnības (likumdošanas normas, eksporta, importa ietekme):

- nevar ieplānot – AMN
- var ieplānot - SAN

juridiskās īpatnības:

- noslēgts ilgtermiņa līgums par piegādēm – AMN
- vienreizēja piegāde, gadījuma rakstura sadarbība - SAN

datu apstrāde un analīze:

- balstīta uz datiem par koksnes resursiem – AMN
- dati par koksnes resursu piegādātājiem - SAN

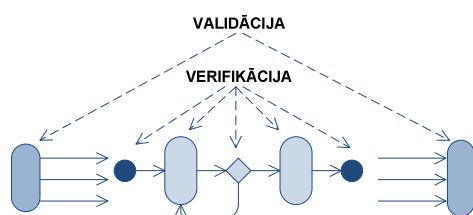
Gadījums, kad abi modeļi (AMN un SAN) var darboties integrētā veidā, no sistēmas viedokļa, nav izslēgts, lai piegāžu plānošana būtu iespējama visos līmeņos.

### 3 Informācijas sistēmas prototipa validācija un testēšana

Jebkuras sistēmas vai modeļa veidošanā pastāv divi ļoti nozīmīgi uzdevumi:

- pārlicināties vai realizētajos variantos nav kļūdas
- pārlicināties vai tie pilnībā atbilst iepriekš izvirzītajām prasībām.

Sistēmu inženierijā šādu problēmu aprakstīšanai izmanto jēdzienus verifikācija un validācija. Pirmais ir process, kura ietvaros tiek atbildēts uz sistēmas izstrādes laikā ļoti nozīmīgu jautājumu – vai modelis tiek veidots pareizi? Verifikācija var saprast kā sistēmas veidošanā izmantojamo metožu un datu testēšanu, lai noteiktu vai to uzbūvē nav nepamanītas kļūdas. Validācijas procesā tiek noskaidrota atbilde uz jautājumu – vai tiek veidots pareizais modelis? Algoritma vai sistēmas validācija ir tās darbības rezultātu salīdzināšana ar reāliem datiem.



3.1. att. Verifikācijas un validācijas uzdevums

Atšķirības starp abiem procesiem ir to darbības virziens – vienā gadījumā tiek analizēta sistēmas iekšējā (3.1. att.) uzbūve un darbības principi, bet otrā gadījumā tās atbilstība izvirzītajiem prasībām.

Sistēmu izstrādes gaitā ļoti būtiska loma ir verifikācijas procesam, kas dažreiz var aizņemt līdz pat 50 procentiem no sistēmas izstrādes laika, bet nedrīkst aizmirst arī par validāciju, jo pretējā gadījumā var rasties situācija, kad pabeigta un labi strādājoša sistēma lietotājam nav nepieciešama, jo tā vienkārši neatbilst iepriekš

izvirzītām prasībām. Tāpat arī dažādu algoritmu izstrādē un izpētē ir ļoti svarīgi noteikti vai iegūtie rezultāti ir atbilstoši sagaidāmajiem.

Viena no populārākajām validācijas pieejām ir prototipēšana, kas arī tika izmantota šā projekta ietvaros.

Prototipēšana ir ļoti ātra sistēmas versijas izstrāde. Šī procesa mērķis ir izmantojot visas pieejamās metodes pēc iespējas īsākos termiņos izstrādāt darboties spējīgu programmu, kas būtu līdzīga potenciāli izstrādājamai sistēmai. Parasti gala risinājumu no prototipa atšķir vairāki parametri, kā piemēram, veiktspēja, ieejas datu pārbaudes procedūru trūkums, pieļaujamie datu apjomi. Prototipēšana ir pretrunā ar sistemātisku un pakāpenisku izstrādes procesu, jo tajā maksimāli īsos laika periodos tiek izstrādāta „ātrā” programmas versija, kas var saturēt daudzas kļūdas un neprecizitātes. Iegūto rezultātu parasti izmanto, lai izstrādājamā produkta potenciālie lietotāji varētu iepazīties ar tā pamat funkcionalitātē un novērtēt to atbilstību saviem kritērijiem – veikt sistēmas validāciju pēc iespējas agrīnākā tās izstrādes etapā.

Prototipa izstrādē tiek izmantoti dažādi automatizācijas rīki, kas darbojas ar augsta līmeņa programmēšanas vai modelēšanas valodām. Ar tiem tiek izveidota sistēma, kurai ir dažādi būtiski trūkumi un viss ticamāk, ka pēc prototipa analizēšanas tā tiek pārbūvēta no jauna. Prototipus var iedalīt trijos veidos atkarībā no to izmantošanas. Pirmais veids ir evolucionārie, kas sākotnēji tiek izstrādāti analīzei un tiek saglabāti, kā bāze reālās sistēmas veidošanai. Otrais prototipu veids ir paredzēts tikai sistēmas analīzes fāzei un pēc tās paveikšanas tie tiek pilnībā likvidēti. Trešais un visātrākais veids ir interfeisa aprakstīšana, kā rezultātā tiek iegūta programmas darba vide bez nekādām funkcionālām iespējām.

Visos gadījumos prototips tikai demonstrē galvenās gala sistēmas iezīmes. Svarīgākais parametrs, kas tiek ņemts vērā tā veidošanā, ir – izstrādes ātrums, jo pēc iespējas īsākā laikā ir jāizveido darboties spējīgs modelis. Gadījumos ja sistēmas izstrāde atbilst standarta procedūrām biežāk tiek izmantots trešais veids, jo nepieciešams lietotāju tikai iepazīstināt ar topošās sistēmas interfeisa uzbūvi un tādējādi veikt izstrādes validāciju. Savādāka situācija ir ja sistēma tiek izstrādāta sarežģītā nozarē, kur arī lietotājs precīzi nevar formulēt savas prasības. Šāda gadījumā labākais variants ir veikti pilnvērtīga prototipa izstrādi atbilstoši pirmajam vai otrajam variantam un kopā ar lietotāju validēt tā atbildību prasībām.

Šī projekta ietvaros tiks veikta šāda prototipa validācija atbilstoši iepriekš aprakstītām prasībām.

### **3.1 Projekta vienotais kopskats**

Pētniecības projekta process ir orientēts uz tādiem procesa atslēgas punktiem, kuros notiek projekta būtiska rezultātu sasniegšana. Šis rezultāts var būt novērtēts un izanalizēts, kas paredz atbildes uz sekojošiem jautājumiem: „Vai projekta grupa vienojas par projekta mērķiem un uzdevumiem?”, „Vai pietiekamā

gatavības pakāpē ir sagatavots projekta darbību plāns?", „Vai rezultāts atbilst apstiprinātām specifikācijām?", u.t.t.

IT lēmumu projektēšanas modelis paredz projektēto prasību pastāvīgās izmaiņas. Modelis pamatojas uz to, ka lēmuma izstrādāšana sastāv no īsiem cikliem no vienkāršām risinājuma versijām līdz finālā risinājumam.

Projektētā lēmuma radīšana paredzētā laika un budžeta ietvaros paredz metodoloģiskus pamatus. Projektēšanas metodoloģija sastāv no personāla, procesu un tehnoloģisku elementu pārvaldes principiem un modeļiem, kuri ir saistīti ar visiem šiem faktoriem, kas ir raksturīgi projektu vairākumam (Arhipova I., Arhipovs S., 2005).

Projektētā lēmuma izveides procesu modeļi apraksta darbību secību, kas ir īstenojamas projekta realizācijas gaitā, tie uzdod dzīves projekta ciklu. Modeļu spektrs, ko pielieto pašreiz dažādas organizācijas, ir visai plašs. Starp tiem ir arī *Microsoft Solution Framework (MSF)* procesu modelis, kas ir izveidots uz *Microsoft* bāzetas lietojumprogrammatūras izstrādes pieejas. Atfīstības rezultātā modelis apvienoja citu pieejamo procesu modeļu efektīvus principus, izveidojot vienotu bāzi darbam ar jebkuru tipu projektiem: fāžu orientētie projekti (*phase-based*), kontrolpunktu orientētie projekti (*milestone-driven*) un interaktīvi (*iterative*) orientētie projekti.

MSF modelis ir pielietojams pie tradicionāla programnodrošinājuma izstrādes procesa, bet arī tas varbūt izmantots izstrādāšanai un lēmumu ieviešanai elektroniskas komercijas (*e-commerce*), dalīto tīklu aplikācijas (*web-distributed applications*) un citu sarežģīto informatīvo sistēmu jomā, kuras var rasties nākotnē.

Par risinājumu var definēt stratēģiju vai metodi, kas ļauj atrisināt problēmu. IT-industrijas terminoloģijā par "risinājumu" arvien biežāk sauc programnodrošinājuma produktus. Tādēļ dažreiz rodas skepticisms attiecībā uz to, kas īstenībā tiek saprasts zem risinājumā. Terminam "risinājums" (*solution*) ir ļoti specifiska nozīme. Tā ir tādu elementu (piemēram, programnodrošinājuma tehniskie līdzekļi, dokumentācija, apmācība un pavadījums) kopas sakoordinētā piegāde, kas ir nepieciešami konkrēta pasūtītāja vajadzības apmierināšanai.

Projektētāja grupas panākumi projekta izstrādē ir neiedomājami bez vienotas pasūtītāja un izstrādātāja projekta mērķa un uzdevumu vīzijas (*shared vision*) esamības. Gan projektētāja grupai, gan pasūtītājam sākotnēji ir dažādi redzējumi, kādiem jābūt rezultātiem projekta izstrādes laikā. Tikai vienotas vīzijas esamība ir spējīga ienest skaidrību un nodrošināt visu pušu virzību projekta mērķa sasniegšanai.

Projekti var atšķirties pēc izstrādes un ieviešanas sarežģītības līmeni. Vienkāršos gadījumos bez daži elementiem, tādi kā atbalsts, apmācība, ieviešana, komunikācijas, var iztikt. Tomēr sarežģītākos un lielos projektos, ļoti ticami, būs nepieciešami visi risinājuma elementi. Papildinājumā:

- programnodrošinājuma tehniskie līdzekļi/speciāli izstrādājamais kods (*custom code*) var būt agrāk izstrādāto komponentu gan jaunas, gan pilnveidotas versijas;
- programnodrošinājuma tehniskie līdzekļi var ietvert sevī aparātu nodrošinājumu, programnodrošinājumu, perifēriju iekārtas, tīklu komponentus u.tml. Speciāli izstrādājamais kods – tas ir programmatūras komponenti, kas ir izstrādājami konkrēta projekta vajadzībām;
- apmācība skar katru, kas izmantos vai pavadīs risinājumu pēc tā ieviešanas;
- dokumentācija sedz visu informāciju, kura ir nepieciešama uzstādīšanai, atbalstam, pavadījumam un risinājuma izmantošanai;
- pavadījuma procesi ietver sevī rezervju kopēšanas visas nepieciešamas procedūras, atjaunošanas, darbību ārkārtas situācijās, rodošos grūtību un lietotāju atbalsta nokārtošanas;
- ieviešana ietver sevī ieviešamā aparātu un programnodrošinājuma uzstādīšanas/noņemšanas procedūras, automatizētos ieviešanas instrumentus un atceļšanas (*rollback*) scenārijus avāriju situācijās.

Vienotas vīzijas formēšana un tālākā tam sekošana ir tik svarīga, ka šim mērķim ir izdalīta speciāla fāze ("Konceptijas izstrādes" fāze). Konceptijas (*envisioning phase*) izstrādes fāzes laikā tiek izveidota projektētāju grupas vienota projekta vīzija. Projektētāja grupai ir skaidri jāsaprot, kas tiks izstrādāts pasūtītājam un jānoformulē projekta mērķi tā, lai maksimāli motivēt gan pasūtītāju, gan pašu projektētāju grupu. Projekta vispārīgā mērķa un nosacījumu izstrāde var būt izskafīts kā agra plānošanas forma - tā sagatavo augsni detaļu plānu radīšanas procesiem, kuri tiks īstenoti plānošanas fāzes laikā. Konceptijas izstrādes fāzes galvenie uzdevumi ir projektētāja grupas kodola izveide un projekta apraksta dokumenta sagatavošana (*vision/scope document*). Projekta vīzijas formēšana un to robežu noteikšana atšķiras savā starpā. Vīzija (*vision*) – tas ir neierobežots priekšstats par to, kādam jābūt risinājumam. Robežas (*scope*) nosaka, kas no piedāvātās vīzijas tiks realizēts projekta eksistējošo ierobežojumu nosacījumos. Tāpat konceptijas izstrādes fāzes laikā notiek biznesa prasību atklāšana un analīze. Detalizētāk šīs prasības ir aplūkojamas plānošanas fāzes laikā.

Konceptijas izstrādes fāzes rezultāti ir:

- Vīzija un projekta ierobežojumi (*vision/scope document*).
- Risku novērtējuma dokuments (*risk assessment document*).
- Projekta struktūras apraksts (*project structure document*).

Plānošanas (*planning*) fāzē notiek projekta plānu sastādīšanas pamatdarbs. Tas ietver sevī funkcionālas specifikācijas sagatavošanu, dizainu izstrādāšanu, darba plānu sagatavošanu, projektēto izmaksu un projekta komponentu izstrādāšanas termiņu novērtējumu.

Plānošanas fāzes sākumā projektētāja grupa analizē un dokumentē projektētās prasības. Tie sadalīti četrās kopīgās kategorijās: biznes-prasības (*business requirements*), lietotāja prasības (*user requirements*), ekspluatāciju prasības (*operational requirements*) un sistēmas prasības, kuras attiecas uz visu

risinājumu (*system requirements*). Lēmuma un tā funkcionālās specifikācijas izstrādes projektēšanas laikā nepieciešams kontrolēt atbilstību (*traceability*) starp esošajām prasībām un projektējamo funkcionalitāti. Šī atbilstība ne vienmēr būs viennozīmīga. Tā kalpo par vienu no risinājuma dizaina un tā lietderības korektuma kontroles veidiem izvirzīto mērķu sasniegšanai.

Projektēšanas process – tas ir sistemātisks virzīšanas veids no abstraktām koncepcijām uz konkrētām tehniskām detaļām. Process iesākas no lietotāju (*user profiles*, dažreiz saucami par “personām”) profilu metodiskas analīzes, kuri apraksta atšķirīgus lietotāju (ieskaitot pavadījuma personālu) tipus un to darba funkcijas.

Šī darba nozīmīga daļa bieži tiek veikta koncepcijas izstrādes fāzes laikā. Pēc tam formējas izmantošanas (*usage scenarios*) scenāriju kopums, katrā no kuriem ir modelējama kādas operācijas izpilde ar noteiktu lietotāja tipu (piemēram, apmeklētāju reģistrācija hotelī vai lietotāju parolu administrēšana informācijas sistēmā). Noslēgumā katrs izmantošanas scenārijs sadalās specifisku darbību secībā, ko sauc par izmantošanas variantiem (*use cases*), kuras nepieciešams izpildīt lietotājam, lai izpildītu operāciju. Šo lietotāju darbību analīzes procesu sauc par „*story boarding*”.

Eksistē projektēšanas procesa trīs līmeņi: konceptuālais projektējums (*conceptual design*), loģiskais projektējums (*logical design*) un fiziskais projektējums (*physical design*). Darbs pie loģiskā projektējuma sākas neilgi pēc konceptuālā projektējuma sākuma. Savukārt darbs pie fiziska dizaina sākas tūlīt pēc loģiska projektējuma sākuma. Projektēšanas procesa rezultāti ir dokumentējami funkcionālā specifikācijā (*functional specification(s)*). Funkcionālas specifikācijas detalizēti apraksta katras risinājuma komponentes veidu un uzvedību. Tāpat visām komponentēm apraksta to arhitektūru un projektējumu.

Funkcionālā specifikācija kalpo vairākiem mērķiem. Galvenie no tiem ir:

- Instrukcijas izstrādātāju grupai.
- Norādes darba apjoma novērtēšanai.
- Vienošanās ar pasūtītāju par darba apjomu.
- Visas projektētāja grupas darba sinhronizācija.

Līdz ko ir izveidota funkcionālas specifikācijas bāzes versija, var būt iesākta detalizēta plānošana. Katrs no projektētāja grupas vadītājiem sagatavo plānu vai plānus, kas attiecas uz viņu uzdevumu, un piedalās komandu plānošanas sesijās. Plānu piemēri ietver sevī ieviešanas plānu, testēšanas plānu, ekspluatācijas plānu, drošības pasākumu plānu un apmācības plānu. Pēc tam projektētāja grupa analizē plānus un atklāj sakarības starp tiem. Visi plāni ir sinhronizējami un attēlojami kopprojekta veidā (nevajag jaukt šo darbību ar *.mpp Microsoft® Project®* faila izveidi). Atkarībā no projekta, plānu skaits, kas izveido kopplānu, var mainīties.

Projektētās grupas locekļi novērtē nepieciešamo laiku ieplānoto uzdevumu izpildei un sastāda rezultātu nodošanas kalendāru grafiku. Pēc tam notiek



kalendāru grafiku sinhronizācija ar turpmāko to integrāciju projekta kalendārā grafikā (*master project schedule*). Plānošanas fāzes kulminācija ir atslēgas punkts „Projekta plāni ir apstiprināti” (*project plans approved*). Plānošanas fāze nozīmē to, ka sasniegta detalizēta vienošanās starp projektētāja grupu un pasūtītāju par piegādājamā risinājuma sastāvu un piegāžu termiņiem, kā arī projektētāja grupas precizē risku novērtējumus, koriģē (pēc nepieciešamības) prioritātes un galīgi novērtē nepieciešamos resursus.

Plānošanas fāzes rezultāti ir:

- Funkcionāla specifikācija.
- Risku pārvaldes plāns.
- Kopplāns un kalendārā projekta grafiks.

### **3.2 MAPIS sistēmas apraksts**

Meža apsaimniekošanas plānošanas datorprogrammas prototips sniedz iespēju veikt meža apsaimniekošanas plānošanu un meža īpašuma vērtēšanu izmantojot klasiskās meža taksācijas metodes un Valsts meža reģistra informāciju atbilstoši tajā glabāto datu struktūrai (Arhipovs S., Dubrovskis D., Arhipova I., 2005).

Sistēma realizē primāro datu vadības funkcijas un atbalsta sekojošas atskaišu formas:

- taksācijas apraksts – satur informāciju par katra nogabala taksācijas rādītājiem;
- sortiments – atlasīto nogabalu sortimentu iznākuma un vērtības aprēķins;
- teritoriālais sadalījums pa augšanas apstākļu tipiem, zemju kategorijām un bonitātēm;
- sugu un krājas sadalījums pa vecuma klasēm;
- finansu plūsmas periodu plāns – satur atlasīto īpašumu saimniecisko pasākumu kopsavilkumu sarakstu;
- sortimentu periodu plāns – satur atlasīto īpašumu nogabalu sortimentu iznākumu un vērtības pa sortimentu veidiem atbilstoši meža apsaimniekošanas plānošanas posmiem;
- kapitālvērtības periodu plāns – satur informāciju par meža kapitālvērtību, ienākumu un izmaksu struktūru, optimālo tīro ienākumu profilu (meža renti), meža kapitālvērtības izmaiņu dinamikas prognozēm (pieejama datu eksportēšana uz *Microsoft Excel* pie periodu plānu rezultātiem)
- galvenās cirtes un iekšēja atmaksāšanās likme (IRR) – satur informāciju par atlasīto īpašumu nogabalu galvenajām cirtēm un iekšējo atmaksāšanās likmi;
- periodu plānu izcērtamās krājas un krājas vērtības kopsavilkumi.

Sistēmas klasifikatori izveidoti atbilstoši valsts meža reģistra klasifikācijai un kodiem. Klasifikatoru grupas iespējams labot, kā arī katrai klasifikatoru grupai var pievienot jaunus klasifikatorus vai labot esošos.

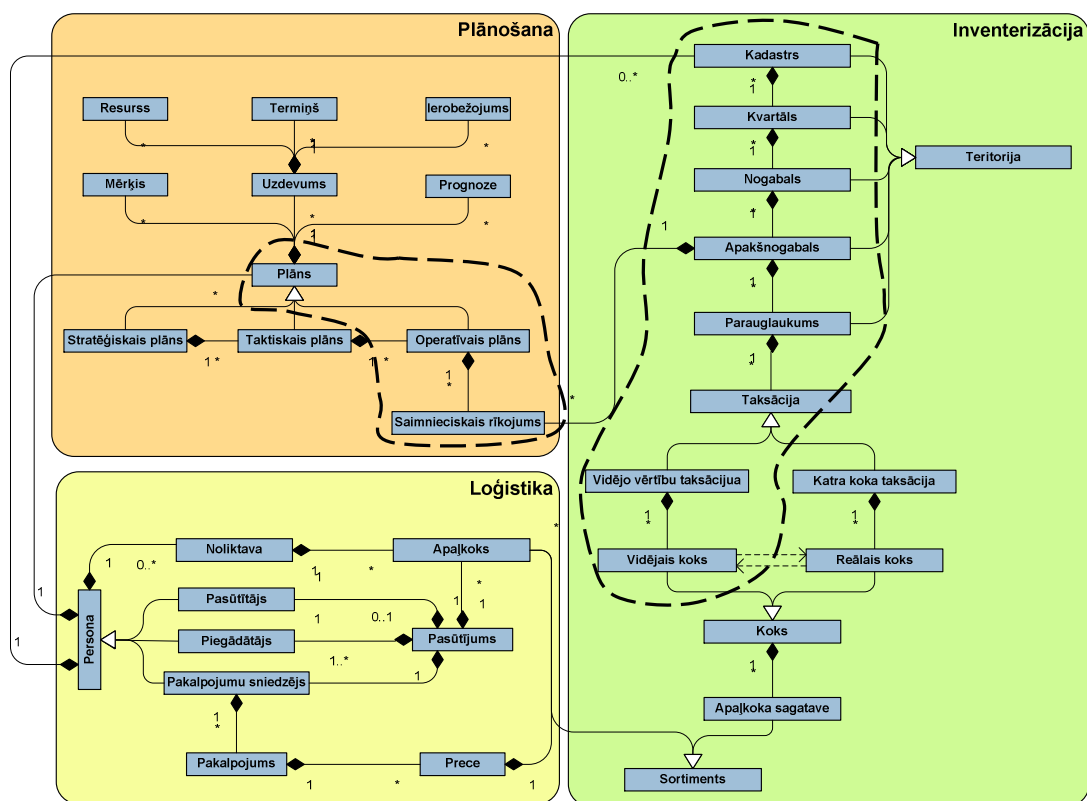
Sadaļā „Normatīvi” ir atrodamī visi plānošanas parametri. Lai būtu iespēja ātri izvēlēties dažādus plānošanas parametrus, ir izveidotas normatīvu grupas, kur

katrai normatīvu grupai ir uzstādāmi savi neatkarīgi normatīvu parametri. Tādējādi izvēloties vēlamo normatīvu grupu ir iespējams ērti un ātri pārslēgties starp dažādām parametru grupām (dažādiem plānošanas variantiem). Programma piedāvā arī veidot dublikātus kādai no normatīvu grupām, kas ļauj samazināt nepieciešamo datu ievadi jaunai normatīvu grupai. Galvenās cirtes vecumu un caurmēru iespējams koriģēt izmantojot logu „Galvenās cirtes vecums un caurmērs”. Atbilstoši šiem parametriem tiek atlasītas mežaudzes, kurās iespējams veikt galveno cirti. Šīm audzēm tiek dots saimnieciskais rīkojums „Galvenā cirte”.

### **3.2.1 Konceptuālais modelis**

Lietojot datu apstrādes programmu iespējams pārlūkot taksācijas datus pēc pieprasījuma (īpašums, kvartāls, nogabals, apakšnogabals), filtrēt kadastrus pēc visiem kadastru vērtības laukiem, kā arī iespējams aplūkot apaļkoku sortimentu iznākuma struktūru un mežaudzes celma naudas vērtību. Apakšnogabala augstumlīknes un koku skaita virtuālais sadalījums pa caurmēra pakāpēm, sortimentācijas krājas aprēķins notiek pēc prof. R.Ozoliņa algoritmiem, savukārt sortimentu vērtība tiek rēķināta pēc izvēlētās sortimentācijas cenu grupas.

Apaļkoku sortimentu struktūru iespējams aprēķināt izmantojot dažādu prioritāšu rindas (sortimentu cenu grupas), aprēķinu gaitā nosakot optimālo apaļkoku sortimentu prioritāšu rindas. Apaļkoku prioritāšu rindas iespējams pievienot un koriģēt izmantojot logu „Sortimentu cenas”. Izveidojot jaunas prioritātes, tām iespējams dot nosaukumu un piešķirt datumu. Mežaudžu vērtēšana un meža apsaimniekošanas plānošana noritēs atbilstoši iezīmētajai/izvēlētajai prioritātei. Datu apstrādes programmā iestrādāti mežaudžu augšanas gaitas aktualizācijas modeļi. Mežaudzēm, kuru taksācija veikta pirms vairākiem gadiem iespējams apskatīt aktualizēto informāciju. Minētie aktualizācijas modeļi tiek izmantoti mežaudžu augšanas gaitas prognozēm un sagaidāmās vērtības noteikšanai (augšanas gaitas modeļi atrodami normatīvos) un dots 3.2. attēlā (Dagis S., Arhipovs, S., 2006).



3.2. att. Meža apsaimniekošanas plānošanas informācijas sistēmas konceptuālais modelis.

(Ar punktotu līniju tiek apzīmēti objekti, kas ir realizēti informācijas sistēmā)

Meža apsaimniekošanas plānošanas informācijas sistēmas realizētais inventarizācijas apakšsistēmas objektu modelis dots 3.2. attēlā (Sīle I., Arhipovs S., 2006). Meža apsaimniekošanas plānošanu iespējams veikt starp vairākām alternatīvām atrodot optimālo meža apsaimniekošanas plānošanas variantu, kurš spēj nodrošināt maksimālo meža tīro tagadnes vērtību un noturīgu tīro ienākumu profilu.



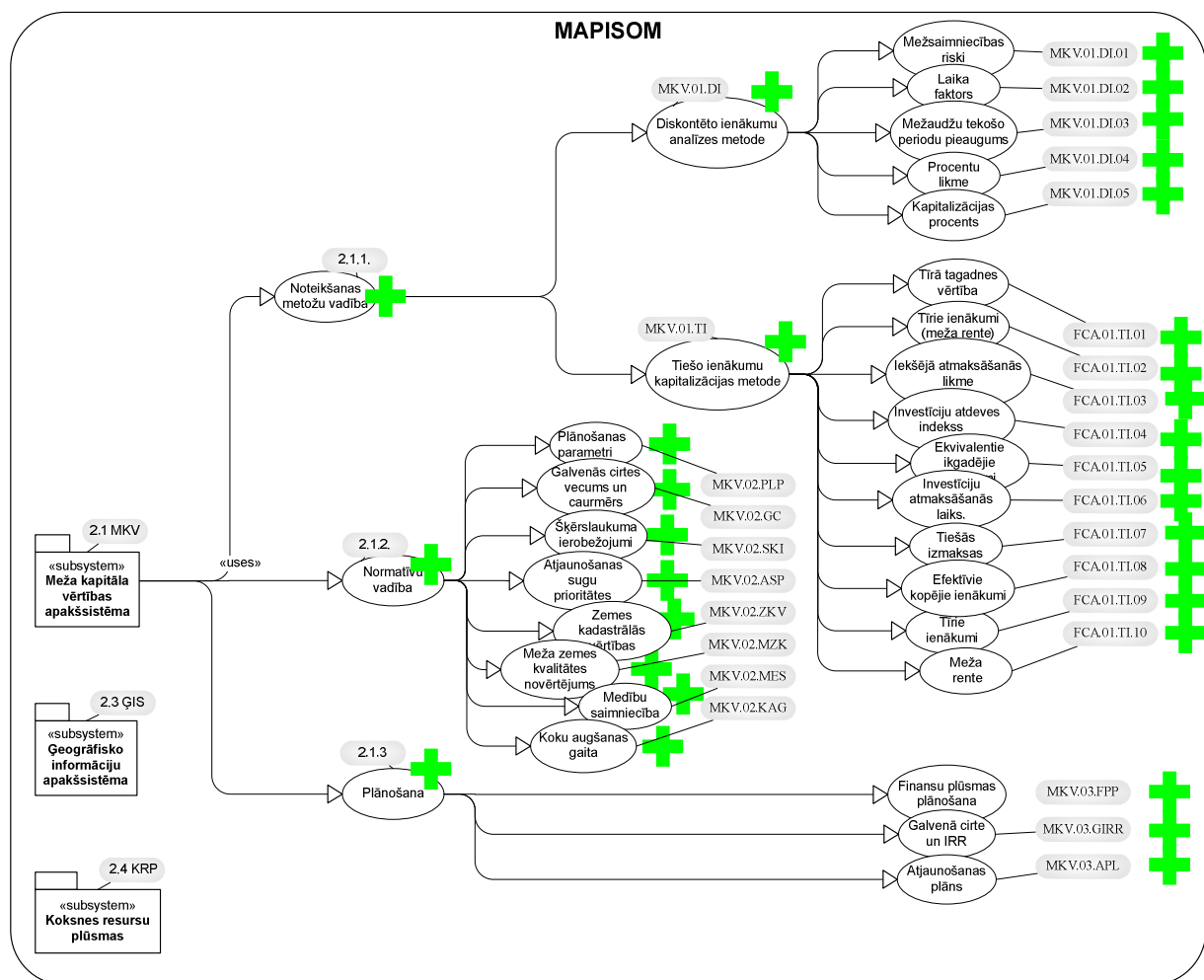
- plānošanas laiks, plānošanas solis, periodu skaits, procentu likme;
- medību saimniecības ienākumi, administratīvās un infrastruktūras izmaksas.

Plānošana notiek atbilstoši izvēlētajiem kadastriem, normatīvu grupai un sortimentu cenu grupai. Periodu plānu rezultāti apkopo informāciju par meža apsaimniekošanas plānošanas principiem un rezultatīvajiem rādītājiem.

Sortimentu plāns apkopo informāciju par visiem apakšnogabaliem, kuros paredzēta saimnieciskā darbība, norādot sortimentu iznākumu pa sugām un sortimentu vērtību.

### 3.2.2 Funkcionālais modelis

Meža apsaimniekošanas plānošanas informāciju sistēmas objektu modelis sastāv no trim apakšsistēmām (1.pielikums). Pirmā ir **Meža kapitāla vērtības apakšsistēma (2.1 MKV)**, otrā ir **Ģeogrāfiskās informācijas apakšsistēma (2.3 ĢIS)** un trešā ir **Koksnes resursu plūsmu apakšsistēma (2.4 KRP)** (3.4.att.).



3.4. att. Meža kapitāla vērtības apakšsistēmas funkcionālais modelis (2.1 MKV).

(Ar zaļu krustiņu tiek apzīmētas funkcijas, kas ir realizētas informācijas sistēmā)

**Meža kapitāla vērtības apakšsistēmai (2.1 MKV)** ir trīs pamat funkcijas, skat. 3.4.attēlā (2.Pielikums).

#### **Funkcija 2.1.1. Noteikšanas metožu vadība**

Izmantojot kapitāla vērtības metodi, iespējams noteikt īpašuma ražošanas vērtību izmantojot esošo un prognozējot sagaidāmās finansu plūsmas, izvērtējot esošos un sagaidāmos riskus, kā arī nosakot finansu plūsmu raksturu (periodiskie vai regulārie ienākumi). Korektu aprēķinu gadījumā iegūtā vērtība ir atbilstoša īpašuma tirgus vērtībai.

#### **Funkcija 2.1.2 Normatīvu vadība**

Meža kapitāla vērtības normatīvu vadība. Tas iekļauj sevi iespēju veikt plānošanas aktivitātes pēc izvirzītajiem kritērijiem, parametru vadība, pēc kurām atrod mežaudzes, kurām var veikt galveno cirti. Jārealizē meža atjaunošanas saimnieciskais rīkojumu vadība. Meža atjaunošanas saimnieciskais rīkojums tiek dots pēc galvenās cirtes izpildes. Meža atjaunošana tiek plānota nākamajā gadā pēc mežaudzes nociršanas galvenajā cirtē. Meža atjaunošana tiek projektēta atbilstoši augšanas apstākļa tipa sugu prioritātēm. Sugu prioritātes, atjaunošanas un kopšanas izmaksas, kā arī stādāmā materiāla daudzumu iespējams koriģēt. Apakšsistēmā ir iespēja noteikt potenciālo ienākumu no medību aktivitātēm, iespēja prognozēt koku augšanas gaitu.

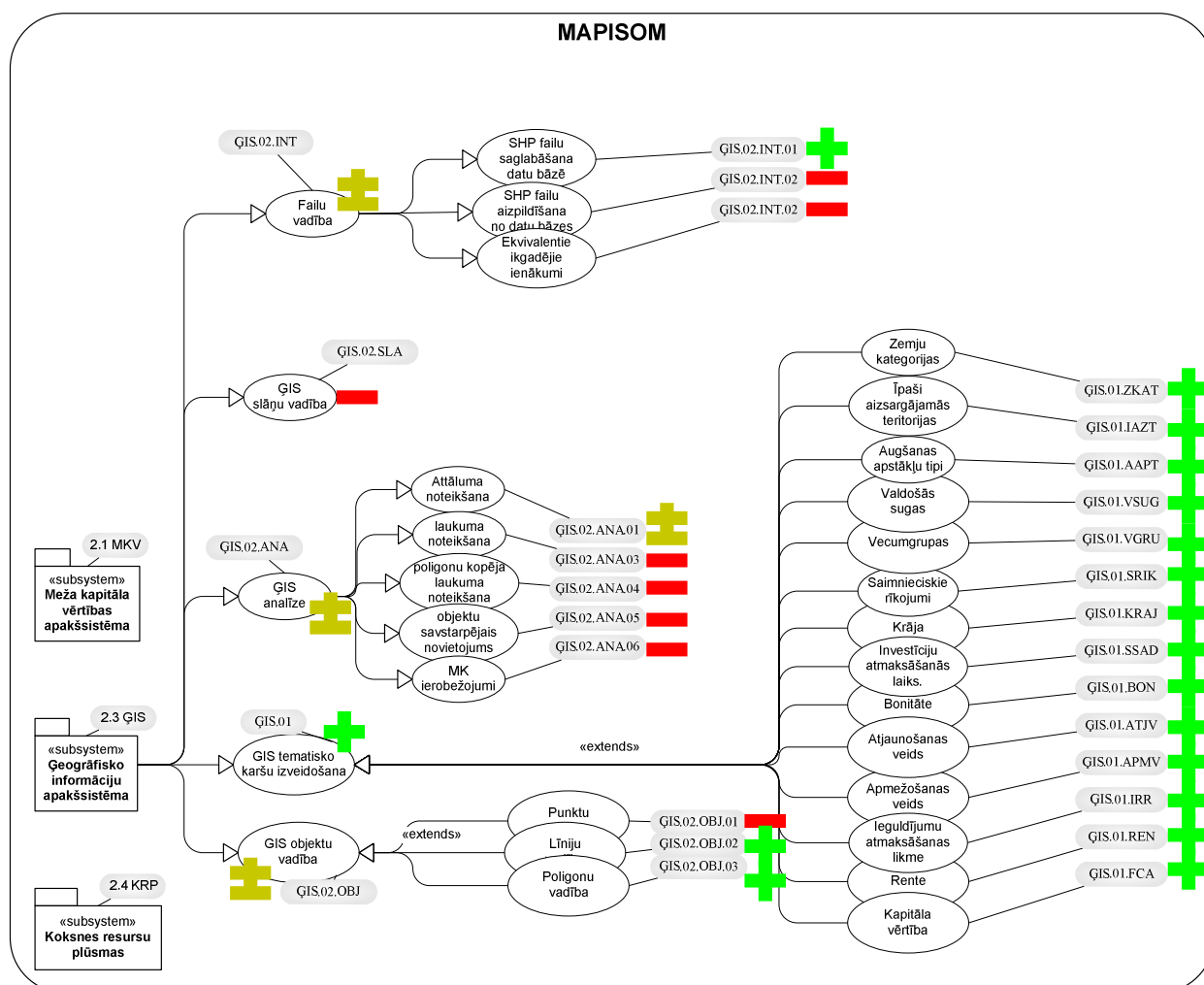
#### **Funkcija 2.1.3. Plānošana**

Meža apsaimniekošanas plānošanu iespējams veikt starp vairākām alternatīvām atrodot optimālo meža apsaimniekošanas plānošanas variantu, kurš spēj nodrošināt maksimālo meža tīro tagadnes vērtību un noturīgu tīro ienākumu profilu. Dažādiem plānošanas modeļiem nosaka atšķirīgus meža apsaimniekošanu raksturojošus parametrus:

- galvenās cirtes vecums un mērķa caurmērs;
- apaļkoku sortimentu cenas;
- atjaunojamo sugu prioritātes;
- krājas kopšanas ciršu parametrus (paliekošās daļas šķērslaukums, kopšanas intensitāte);
- plānošanas laiks, plānošanas solis, periodu skaits, procentu likme;
- medību saimniecības ienākumi, administratīvās un infrastruktūras izmaksas.
- Plānošana notiek atbilstoši izvēlētajiem kadastriem, normatīvu grupai un sortimentu cenu grupai.

Meža kapitāla vērtības apakšsistēmā visas trīs pamatfunkcijas ir realizētas informācijas sistēmā.

**Ģeogrāfiskās informācijas apakšsistēma (2.3 ĢIS)** realizē piecas pamat funkcijas: GIS failu vadība, GIS slāņu vadība, GIS analīze, GIS tematisko karšu vadība un GIS objektu vadība, skat. 3.4.attēlā (3.pielikums).



3.5. att. Ģeogrāfiskā informācijas apakšsistēma.

(Ar zaļu krustiņu tiek apzīmētas funkcijas, kas ir realizētas informācijas sistēmā. Ar plusu/ mīnusu tiek apzīmētas funkcijas, kas daļēji ir realizētas informācijas sistēmā, bet ar sarkanu mīnusu tiek apzīmētas funkcijas, kas informācijas sistēmā nav realizētas)

### Funkcija GIS.02.INT. GIS failu vadība

Funkcija nodrošina failu konvertēšanu no viena tipa otrā un saglabāšanu datu bāzē vai atsevišķā failā. Tas ir SHP failu saglabāšana datu bāzē (ir realizēta), ģeogrāfiskās informācijas saglabāšana no datu bāzes SHP failā (nav realizēta), SHP faila modificēšana (nav realizēta).

### Funkcija GIS.02.SLA. GIS slāņu vadība

Funkcija nav realizēta informācijas sistēmā. Funkcija ir paredzēta ĢIS objektu grupa teritoriālās klasifikācijas līmeņa vai viena veida ģeogrāfisko objektu attēlošanai (nogabalu slānis, ūdenstilpņu slānis, ceļu slānis utt.). Funkcija satur sekojošās apakšfunkcijas:

- informatīvais, komentāru slāņu vadība.
- informatīvo grafikas un teksta objektu grupa, kas ir attēlojama kartē analogiski kā GIS slānis.
- teritoriālās klasifikācijas slāņu vadība.
- GIS objektu slāņu vadība, kurš sastāv tikai no poligoniem, kuri tiek izmantoti teritorijas klasificēšanai pa teritoriālajām vienībām (apsaimniekošanas, kvartāli, nogabali utt.).
- Teritoriālās klasifikācijas slānī ietilpstošo GIS objektu telpiskie ierobežojumu vadība.
- Slānī ietilpstošajiem poligoniem ir pilnībā jāpārklāj apzīmējamā teritorija;
- Poligoni nedrīkst pārklāties (nedrīkst būt kopīgs laukums);
- Blakus esošajiem poligoniem drīkst būt kopīgi punkti un malas.
- Saisīto teritoriālās klasifikācijas slāņu hierarhiju vadība. Iespēja izveidot teritoriālās klasifikācijas slāņu grupu, kur katra slāņa GIS poligonu telpiskie dati ir hierarhiski saistīti ar pārējo slāņu poligoniem. Tādā veidā definējot struktūru: apsaimniekošana ir pilnībā aizpildīta ar kvartāliem, ārējo kvartālu ārējās robežas ir apsaimniekošanu teritoriālās klasifikācijas slānī esošā poligona robežas; kvartāls ir pilnībā aizpildīts ar nogabaliem, ārējo nogabalu ārējās robežas ir kvartālu teritoriālās klasifikācijas slānī esošā poligona robežas utt.

### **Funkcija GIS.02.ANA. GIS analīze**

GIS analīzes pamatā ir dažādi mērījumi un ierobežojumi starp objektiem vienā vai vairākos slāņos, kuri nav realizēti programmas prototipā. Mērījumu rezultātus nepieciešams attēlot reālajās mērvienībās – metros, kilometros, kvadrātmetros u.tml. No vispārīgās GIS pamata funkcionalitātes analīzes daļas nav realizētas vairākas funkcijas:

- Attāluma noteikšana starp 2 lietotāja izvēlētajiem GIS punktiem;
- Attāluma noteikšana starp 2 lietotāja izvēlētajām GIS līnijām. Kā tuvāko attālumu starp līnijām pieņem attālumu starp abu līniju vistuvākajām virsotnēm;
- Starp 2 lietotāja izvēlētajiem GIS poligoniem. Kā tuvāko attālumu starp poligoniem pieņem attālumu starp abu poligonu vistuvākajām virsotnēm;
- Starp 2 jauktiem lietotāja izvēlētiem GIS objektiem;
- GIS līnijas garumu, lietotāja norādīto GIS līniju grupas kopējo garumu;
- GIS poligona robežas garumu (tikai ārējās un gadījumos ar iekšējām atverēm – gan iekšējās, gan ārējās un to summu), lietotāja norādīto GIS poligonu grupas robežas kopējo garumu.
- Attāluma **noteikšana** uz kartes izmantojot kā palīgrikus grafiskos objektus punktu un līniju;
- Tuvāko attālumu starp 2 lietotāja brīvi izvēlētajiem punktiem uz kartes – “līnēkla rīks”;
- Tuvāko attālumu summu starp lietotāja definēta punktu saraksta elementiem – “cirkulā rīks”;



- ĢIS līnijas vai poligona robežas nogriežņa garumu. Līnijas nogriežni definē ar 2 tai piederošiem punktiem – “līnijmēra rīks”.

**Iespēja** (nav realizēta) noteikt laukumu reālās mērvienībās (kvadrātmētros, kvadrātkilometros, hektāros) ĢIS objektiem ar definētu laukumu – poligoniem:

1 lietotāja norādītam poligonam;

Kopīgo laukumu lietotāja norādītajai poligonu grupai (grupā var ietilpt poligoni, gan no viena, gan no vairākiem ĢIS slāņiem).

Laukuma **noteikšana** (nav realizēta) uz kartes izmantojot kā palīgriņķus grafiskos objektus daudzstūrus: Lietotāja uz kartes brīvi definētā daudzstūra laukuma noteikšana.

**Iespēja** (nav realizēta) kopējā laukuma noteikšana reālās mērvienībās (kvadrātmētros, kvadrātkilometros, hektāros) lietotāja norādītajai poligonu grupai (grupā var ietilpt poligoni, gan no viena, gan no vairākiem ĢIS slāņiem).

**Iespēja** telpiski analizēt objektu savstarpējo novietojumu (objekti nepārklājas, pārklājas daļēji, pēc laukuma lielākais pilnībā pārklāj otru, ir vienādi, saskaras ar robežām nepārklājoties, saskaras ar robežām pārklājoties):

ĢIS objektu skaita noteikšana (jābūt iespējai norādīt vienu vai vairākus analizējamus ĢIS slāņus), kas ir lietotāja uzdotajā savstarpējā novietojumā ar lietotāja izvēlēto ĢIS objektu vai objektu grupu vienā vai vairākos ĢIS slāņos (kuri nogabali saskaras ar uzdoto nogabalu, cik ezeri atrodas norādītajā nogabalā, kuri ceļi šķērso doto nogabalu utt.).

### **Funkcija GIS.01. GIS tematisko karšu izveidošana**

Funkcija nodrošina iespēju konkrētai meža teritorijai attēlot vairākas slāņu kartes. Tie ir zemju kategorijas, īpaši aizsargājamās teritorijas, augšanas apstākļu tipi, valdošās sugas, vecumgrupas, saimnieciskie rīkojumi, krāja, sortimenta sadalījums, bonitāte, atjaunošanas veids, apmežošanas veids jeb atjaunojamo koku sugu sējums vai stādījums, ieguldījumu atmaksāšanas likme jeb likme, kura rāda, cik procenti vidēji katru gadu pelna katrs ieguldītais lats visā ieguldījumu periodā, rente jeb cik latu nopelnīs katru gadu, kapitāla vērtība jeb meža teritorijas vērtība, pie pārdošanas nosacījumiem.

### **Funkcija GIS.02.SLA. GIS objektu vadība**

Tā ir funkcija attiecībā uz ĢIS ietilpstošajiem telpiskajiem objektiem un to izmantošanu teritoriālo vienību aprakstīšanai. ĢIS telpiskais objekts vispārīgā gadījumā satur visu nepieciešamo informāciju teritoriālās vienības kontūru attēlošanai uz kartes. Punkts (nav realizēts) ir 0-dimensijas ģeometrisks objekts bez sava laukuma ar noteiktām koordinātām telpā. Apraksta punktveida objektus kartēs (apdzīvotas vietas, atsevišķi koki utt.). Līnija (ir realizēta) ir 1-dimensijas ģeometrisks objekts (lauzta līnija) bez sava laukuma ar noteiktām koordinātām telpā. Var būt noslēgta vai nenaslēgta. Apraksta līnijveida objektus kartēs (ceļi,

ūdensteces, apgabalu kontūrlīnijas utt.). Poligons (realizēts) ir 2-dimensijas ģeometrisks objekts (daudzstūris) ar noteiktu laukumu. Poligonā ir jābūt iespējai definēt atveres (poligona iekšpusē) un salas (poligona ārpusē). Kartē apraksta objektus ar laukumu (apsaimniekošanas, kvartāli, nogabali, ūdenstilpnes, neapmežota teritorija utt.).

**Koksnes resursu plūsmu apakšsistēma (2.4 KRP)** apraksta koksnes resursu plūsmu, kura noris starp vairāku uzņēmumu krautuvēm (neapstrādātu kokmateriālu noliktavas). Šī apakšsistēma nav realizēta.

Koksnes resursu plūsmu apakšsistēmā katra krautuve sastāv no vienas vai vairākām krautnēm, kurās tiek sagrupēti materiāli ar noteiktu garumu, sugu un sortimenta tipu. Piemēram, var tikt veidotas krautnes ar papīrmalku vai malku.

Koksnes resursu plūsmu apakšsistēmā pastāv triju tipu uzņēmumi – pasūtītāji, piegādātāji un transportētāji. Pirmie veido pasūtījumu, otrie izpilda un trešie apkalpo. Par katru uzņēmumu, atkarībā no ieņemamās lomas, tiek ievākta informācija, piemēram, par transporta uzņēmumiem ir svarīgi zināt kādi transportlīdzekļi ar kādu degvielas patēriņu un *kravnesību* ir pieejami, par pasūtītāju, kādu lielumu un sugu materiāli tam ir nepieciešami, ko reālajā dzīvē apraksta līgumi vai citi pasūtījumu dokumenti. Pats svarīgākais ir pārvaldīt paša uzņēmuma noliktavu un plānot pieejamo resursu sadalījumu pa pasūtījumiem tā, lai tiktu tērēti mazākie iespējami resursi piegādes procesos un tiktu ievērots balanss starp pasūtīto un nozāģēto daudzumu. Pasūtījumu apkalpošanas plānošanas fāzē ir svarīgi ņemti vērā ģeogrāfisko informāciju - no kurām krautuvēm materiāli tiks paņemti un uz kurām aizvesti izmantojot kādus ceļus. Apakšsistēmai ir jāvar analizēt iespējamās vešanas maršrūtus ņemot vērā informāciju par ceļiem un to kopējo garumu no sākuma punktam līdz beigu punktam.

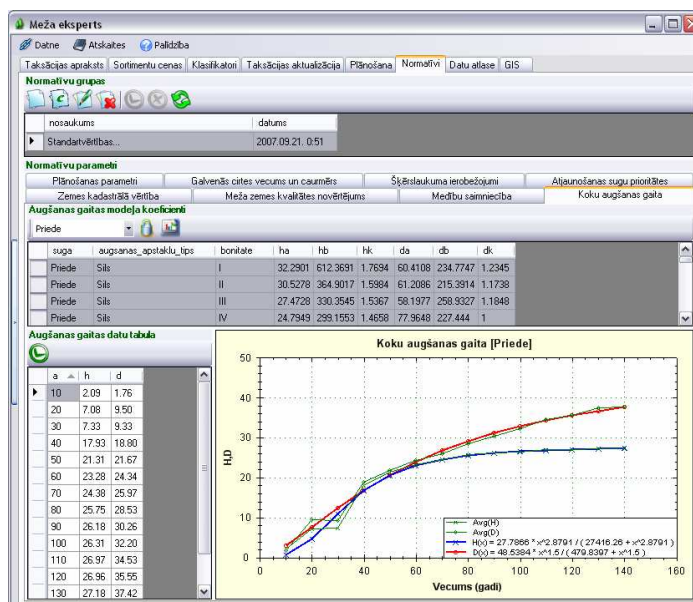
Koksnes resursu plūsmas apakšsistēmas funkcionālās iespējas iedalās četrās galvenajās daļās:

- uzņēmumu vadība – funkcionalitātes, kas saistītas ar uzņēmumu reģistrēšanu, labošanu utt.;
- pasūtījumu vadība - funkcionalitātes, kas saistītas ar pasūtījumu pieņemšanu, atsaukšanu, utt.;
- piegādes vadība - funkcionalitātes, kas saistītas ar pasūtījumu izpildes kontroli, plānošanu, piegāžu reģistrēšanu utt.;
- krautnes vadība – funkcionalitātes, kas saistītas ar kravas pieņemšanām izsniegšanām no krautnes.

Starp funkcionālajām prasībām pastāv zināmu veidu saistības, jeb atkarības. Piemēram, lai varētu veikt pasūtījumu reģistrēšanu sistēmā ir nepieciešams reģistrēt uzņēmumu, kas veic pasūtījumu vai, lai apstiprinātu pasūtījumu izpildi ir jānorāda, ka piegādātāja uzņēmuma krautnē materiālu daudzums ir samazinājies par piegādāto vienību skaitu.

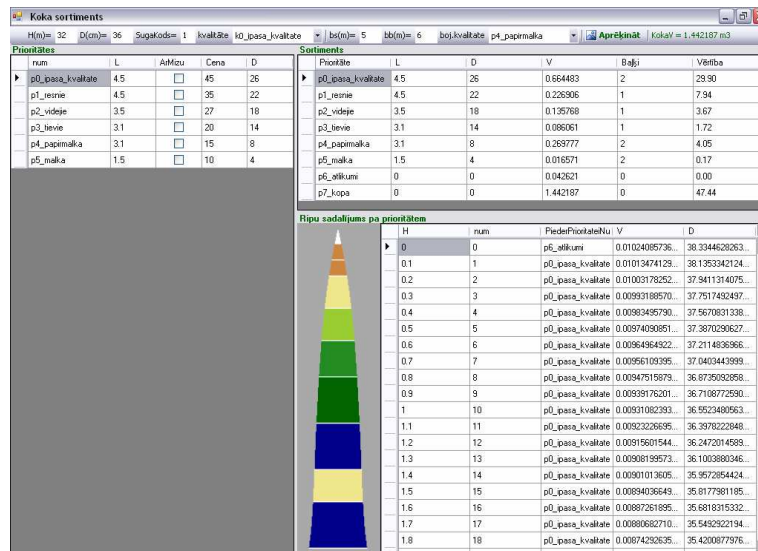
### 3.2.3 Testēšanas process meža augšanas gaitas virtuālo un reālo datu salīdzināšanas un mežaudžu elementu un struktūru sistēmas procesu uzdevumos

Meža augšanas gaitas virtuālie dati, jeb koku augšanas gaitas modeļa aprēķinātie koeficienti tiek aprēķināti vienreiz no pilnīgas taksācijas datubāzes, ar pietiekamu datu apjomu katrai sugai, katram augšanas apstākļu tipam un katrai bonitātei. Koeficientu koriģēšana notiek izvēloties konkrēto augšanas apstākļu tipu (3.6. att.), sugu un bonitāti, rezultātā tiek atlasīti esošie vidējie augstuma un caurmēra rādītāji no datubāzes, ja tie ir pilnīgi – tad var apstiprināt aprēķinātos koeficientus, bet ja datos novērojamas novirzes un datu apjomu nav iespējams papildināt – tad ir iespēja šos atlasītos vidējos rādītājus koriģēt. Datubāzē katram koku augšanas gaitas tipam tiek glabāti tikai 3 koeficienti augstuma aprēķināšanai un 3. caurmēram (Dagis S., 2007).



3.6. att. Koku augšanas gaitas modeļa realizācija

No koku augšanas gaitas modeļa realizācijas (3.6. att.) grafika vizuāli var novērtēt tā aprēķināto datu atbilstību reālajiem taksācijas datiem un gadījumā, ja ir novērojamas novirzes – tad atkal lietotājam pastāv iespēja koriģēt šos koeficientus, rezultātā iegūstot raksturīknes un to koeficientus atbilstoši konkrētajai koku augšanas gaitai.



3.7. att. Sortimentācijas aprēķinu imitācijas modelis

Potenciālā koku sortimenta prognozēšanai, tad ja koks tiktu nocirsts un sagarināts, tiktu iegūts katrai sortimentu prioritātei atbilstošais balķu skaits, krāja un tirgus vērtība. Imitācijas modelī (3.7.att.) ir iekļautas 6 prioritātes: īpaša kvalitāte (koki bez bojājumiem un ar augstāku tirgus vērtību nekā vienkārši resniem balķiem), resnie balķi, vidējie balķi, tievie, papīrmalka un malka. To pašu rezultātu ir iespējams noteikt nenocērtot koku, bet Sortimentācijas aprēķinu imitācijas programmā ievadot koka caurmēru, augstumu, sugas kodu (atbilstoši Latvijā pieņemtajam sugu klasifikatoram) koka bojājumu gadījumā ievadot bojājumu sākuma un beigu vietu (metros) un šo bojājumu raksturu (atbilstību kādai no prioritātēm vai atlikumiem). Sortimentā aprēķini notiek ar soli 10cm, kur katrai 10 cm koka ripai tiek aprēķināti tās izmēri un piederība kādai no sortimenta prioritātēm. Starp sortimenta balķiem tiek pievienots 10cm posms, kurš pieder atlikumiem (zāģējuma vietas u.tml.). Visas koka ripas un galotnes, kuras neietilpst kādā no sortimenta prioritātēm tiek iekļautas atlikumos.

## Secinājumi

Projekta ietvaros izstrādāts datu apstrādes programmas prototips (MAPIS) ar atbilstošu pasākumu kompleksu:

- Izpētīts un aprobēts datu ieguves apakšsistēmas inventarizācijas datu vadības darbību kopums. Inventarizācijas datu vadība paplašināta divos virzienos: „GIS datu vadība” un „Mobilā datu vadība”. GIS datu vadība papildina inventarizācijas operācijas ar iespēju aprakstīt teritoriālās vienības telpiski, piesaistot reālām ģeogrāfiskām koordinātēm un izmantojot tematiskās kartes grafiski attēlojot inventarizācijas datus pa to kategorijām;
- Izpētīta un aprobēta meža apsaimniekošanas stratēģiskā plānošanas līmeņa apakšsistēma, kas satur informāciju par meža apsaimniekošanas plānošanas

metodi, meža kapitāla vērtības noteikšanas mehānismu, noturīgo tīro ienākumu aprēķināšanu. Kapitāla vērtības noteikšanai izmanto iepriekš iegūtos inventarizācijas datus;

- Izpēfīta un aprobēta meža apsaimniekošanas taktiskā līmeņa apakšsistēma, kas satur saimniecisko rīkojumu plānošanu. Izmantojot stratēģiskās plānošanas rezultātus un GIS informāciju par mežaudžu telpisko novietojumu, automatizēta saimniecisko pasākumu plānošana;
- Izpēfīta meža apsaimniekošanas operatīvā līmeņa apakšsistēma, kas ietver koksnes resursu plūsmas, reprodūktīvo materiālu un citu resursu operatīvo plānošanu, izmantojot taktiskās plānošanas rezultātus.

Projekta rezultātā izstrādāta meža apsaimniekošanas plānošanas procesa informācijas sistēma, kuru iespējams izmantot meža nozares uzņēmumu koksnes resursu plūsmas vadības sistēmā.

Projekta realizācijas laikā:

- izstrādāts meža apsaimniekošanas plānošanas procesa informācijas sistēmas prototips;
- veikta informācijas sistēmas prototipa testēšana un validācija;
- radīti jauni resursi – augsti kvalificēti speciālisti, atbilstoši meža un informācijas tehnoloģiju nozaru prasībām;
- tiks veicināta sadarbība starp uzņēmumiem un akadēmisko vidi;
- sagatavotas publikācijas recenzējamos izdevumos vai rakstu krājumos.

## Izmantotā literatūra

- Arhipova I., Arhipovs S. Monogrāfijas „*Riski lauksaimniecībā un privātajā mežsaimniecībā*”, 2.nodaļa „*Riska vadības metodoloģija*”, Jelgava, LLU, RTU, 2005. 64-98.lpp.
- Arhipovs S., Dubrovskis D., Arhipova I. *Object oriented analysis and modeling of the forest management planning system*. International Congress of Information Technology in Agriculture, Food and Environment Proceedings. Cukurova University, Adana – Turkey, October 12-14, 2005. P. 107-115.
- Arhipovs S., Arhipova I. *The system modeling of Latvian forest management*. International conference on Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, Volos, Greece, ISBN 960-8029-43-0, September 20-23, 2006, P.163.-170.
- Azzalini A. and Capitanio A. 1999. *Statistical applications of the multivariate skew-normal distribution*. J. Roy. Statist. Soc., B 61, 579-602.
- Daģis S., Arhipovs S. *The static model of Latvian forest management planning and capital value estimation*. Proceedings of the 4th International Workshop on Modelling, Simulation, Verification and Validation of the Enterprise Information Systems – MSVVEIS 2006 with ICEIS 2006, 8th International conference Enterprise Information Systems, Paphos, Cyprus – May 23-27, 2006, P.185-188.
- Daģis S., Arhipovs S., Dubrovskis D. *The growth of trees motion mathematical models and their adaptation the Latvia circumstances*. Proceedings of the second International scientific conference “Biometrics and IT in agriculture: research and development”, Kaunas, Lithuanian University of Agriculture, November 24-25, 2006, P.80.-83.
- Daģis S. *Information system requirement analysis and specification in forest management planning process*. 9th International Conference on Enterprise Information Systems, Funchal, Madeira, Portugal, 2007.
- Daģis S. *Evaluation of forest tree distribution model using artificial neural networks*. The 2007 European Simulation and Modelling Conference, ESM'2007, Maltā, 22-24 October, 2007. P. 336-340.
- Ozolins R. *Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling*. Forest structure and growth, (Forestry studies XXXVII) Tartu, 2002. p.33-42.
- Sile I., Arhipovs S. *The development of the precedent model for the Latvia forest management planning processes*. Proceedings of the 4th International Workshop on Modelling, Simulation, Verification and Validation of the Enterprise Information Systems – MSVVEIS 2006 in conjunction with ICEIS 2006, 8th International conference Enterprise Information Systems, Paphos, Cyprus – May 23-27, 2006, P.181-184.
- Smits I., Arhipovs S. *The usage of palm top computer in forest inventory*. Proceedings of the second International scientific conference “Biometrics and IT in agriculture: research and development”, Kaunas, Lithuanian University of Agriculture, November 24-25, 2006, P.27.-30.

- Pielikums 1. Meža apsaimniekošanas plānošanas IS PPS**
- Pielikums 2. Meža kapitālvērtības IS prototipa PPA**
- Pielikums 3. Meža tematiskas kartes un ĢIS datu vadības IS prototipa PPA**
- Pielikums 4. M-Taksācijas IS prototipa PPA**
- Pielikums 5. Publikācija ESM'2007 konferencē**