

**LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
MEŽA FAKULTĀTE**

**PĒTNIECĪBAS PROJEKTA Nr.LLUZP07-35  
“LIDAPARĀTU MEŽA ATTĀLĀS ZONDĒŠANAS  
METODES, DATU IEGUVE UN APSTRĀDE”**

**PĀRSKATS**

Projekta vadītājs

Dr.sc.ing. L.Līpiņš

JELGAVA 2008

## Saturs:

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS .....	3
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA .....	4
2.1. Meža attālās zondēšanas tehnoloģiju pētījumu un testēšanas īstenošanas metodiskās vadības procedūru sagatavošana un sistematizēšana .....	4
2.2. Inventarizācijas informācijas atbalsta datu – karšu informācijas sagatavošana pētījumu rezultātu kontrolei .....	4
2.3. Attālās zondēšanas jēlmateriālu iegūšanas tehnoloģiju testēšana, izmantojot pilotējamus un bezpilota lidaparātus .....	4
3. REZULTĀTI .....	5
3.1. Meža attālās zondēšanas tehnoloģiju pētījumu un testēšanas īstenošanas metodiskās vadības procedūru sagatavošana un sistematizēšana .....	5
3.1.1. Bezpilota un pilotējamo lidaparātu izmantošanas normatīvā bāze .....	5
3.1.2. Likumdošanas prasības meža inventarizācijas jomā .....	7
3.2. Bezpilota tehnoloģiju apraksts (prasības lidojuma sagatavošanai, tehnika, pilotēšanas pamati) .....	7
3.3. Testa reģionu noteikšanas principi .....	11
3.3.1. Kopējie noteikumi .....	12
3.3.2. Klasifikācijas atbalsta un rezultātu kontroles parauglaukumu izveides nosacījumi .....	13
3.4. Inventarizācijas informācijas atbalsta datu – karšu informācijas sagatavošana pētījuma rezultātu kontrolei .....	15
3.4.1. Parauglaukumu uzmērīšanas izpildīšanas tehniskie nosacījumi .....	16
3.4.2. Meža instrumentālās taksācijas metodes .....	16
3.5. Lauku darbu metodika, parauglaukumu parametri .....	17
3.5.1. Parauglaukumu izvēles shēma, nogabalu atlase .....	17
3.5.2. Parauglaukumu kopskaits un rezultātu precizitāte .....	17
3.5.3. Parauglaukumu centru koordinātas .....	18
3.5.4. Parauglaukumu numurēšana, izmēri un struktūra .....	18
3.6. Attālās zondēšanas jēlmateriālu iegūšanas tehnoloģiju testēšana, izmantojot pilotējamus un bezpilota lidaparātus .....	20
3.6.1. Attēlu korekcija un atjaunošana .....	21
3.6.2. Attēlu uzlabošana .....	23
3.6.3. Telpiskās manipulācijas .....	24
3.6.4. Vairāku attēlu manipulācijas .....	24
3.6.5. Attēlu klasifikācija .....	25
4. SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI .....	33
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	34

## Projekta izpildītāji:

Nr.p.k.	Vārds, uzvārds	amats	Zinātniskais grāds
1.	Leonards Līpiņš	profesors	Ing.silv.
2.	Salvis Daģis	IT inženieris	Mg.ing. ITF 2.gada doktorants
3.	Aldis Pecka	laborants	ITF 3.gada bakalaurants
4.	Dagnis Dubrovskis	docenta v.i.	Dr.silv.
5.	Ivans Nikolajevs	asistents	Mg.silv.
6.	Gints Priedītis	maģistrants	Ing.silv.

# **1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS**

## **TĒMAS AKTUALITĀTE**

Sadārdzinoties klasisko meža inventarizācijas metožu izmaksām, pieaug jaunu tehniski sarežģītu, bet lētāku metožu izmantošanas nepieciešamība. Izmantojot jaunās tehnoloģijas iespējams samazināt cilvēku subjektīvo faktoru ietekmi, kas bieži vien meža inventarizācijā ir viens no lielākajiem kļūdu avotiem. Tāpēc viens no perspektīvākajiem izpētes virzieniem ir bezpilota un nelielu lidaparātu izmantošana meža inventarizācijā un mežsaimniecisko pasākumu uzraudzībā. Projekta mērķis ir izveidot uz LLU Meža fakultātes laboratoriju iekārtu bāzes meža attālās zondēšanas metožu izpētes un tehnoloģiju pārnese centru – precīzās mežsaimniecības laboratoriju, attīstīt LLU akadēmiskā personāla un studentu zināšanas jauno tehnoloģiju jomā.

## **PĒTĪJUMA MĒRĶIS**

Pētījuma mērķis ir adoptēt LLU Meža fakultātes rīcībā esošās attālās zondēšanas iekārtas, uz to bāzes izstrādāt turpmākos pētnieciskos virzienus.

## **GALVENIE UZDEVUMI**

1. Sagatavot meža attālās zondēšanas tehnoloģiju pētījumu un testēšanas īstenošanas metodiskās vadības procedūras, kas nodrošinātu iegūto pētījumu rezultātu atkārtojamību, ilglaicīgu attīstību un īstenotāju pārmantojamību;
2. Sistematizēt Meža fakultātes rīcībā esošo tehnoloģiju izmantošanas kārtību, kas nodrošinātu augstāku to izmantošanas pievienoto vērtību;
3. Ar modernajām tehnoloģijām pirmreizēji realizēt trīs meža informācijas ievākšanas un apstrādes sadaļas, kas iepriekš tradicionāli īstenotas ar lauku apsekošanu, nodrošinot iespējamu tehnoloģisko risinājumu ieviešanu nozarē;

## **ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE**

Pēdējā desmitgadē mežsaimniecības jomā šādi pētījumi Latvijā veikti atsevišķos A/S Latvijas valsts meži pētniecisko projektu ietvaros, kuru mērķis bija attīstīt jaunas un pilnveidot esošās meža inventarizācijas metodes Līdz šim realizēti šādi projekti:

- Algoritms koksnes krājas un sortimentu iznākuma noteikšanai audžu kopās, izmantojot meža datu bāzi// A/S LVM, 2004 (vad.D.Dubrovskis).
- Attālās zondēšanas metožu , multispektrālo un termālo aerofoto un satelītuņņēmumu praktiskās pielietojšanas iespēju izpēte meža resursu uzskaitē un apsaimniekošanā// A/S LVM, 2005 (vad.D.Dubrovskis).

Līdzšinējos pētījumos tika izmantotas tradicionālās datu ieguves metodes un veikti pētījumi par perspektīvākajiem potenciālajiem pētnieciskajiem virzieniem. Šī projekta mērķis ir attīstīt jaunas datu ieguves metodes un automatizēt datu pēcapstrādi.

## **ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA**

Pētījuma rezultāti integrēti Meža nozares kompetences centra izveides sagatavošanā, uzsākta sadarbība ar SIA Metrum un SIA Meža īpašnieku konsultāciju centrs.

## **2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA**

### **2.1. Meža attālās zondēšanas tehnoloģiju pētījumu un testēšanas īstenošanas metodiskās vadības procedūru sagatavošana un sistematizēšana**

1. Bezpilota lidaparātu – helikoptera JR GSR260 Voyager Gas Helicopter izmantošanas nosacījumi un normatīvās bāzes vērtējums (normatīvie dokumenti):
  - a. Izmantošanas tehnisko un normatīvo dokumentu nosacījumu bāze;
  - b. Lidaparātu veidu un nozares pielietojuma tehnoloģiju apraksts i
  - c. Attālās zondēšanas iekārtu savietojamības ar lidaparātu veidiem informācijas apkopojums.

### **2.2. Inventarizācijas informācijas atbalsta datu – karšu informācijas sagatavošana pētījumu rezultātu kontrolei**

Testa teritoriju noteikšanas principu novērtējums. Izpētīt metodes meža inventarizācijas datu iegūšanai lauku darbos. Inventarizācijas informācijas atbalsta datu – karšu sagatavošana pētījuma rezultātu kontrolei. Lauku darbu metodikas izstrāde:

- ❖ meža inventarizācijai:
    - Sugu sastāvs;
    - Valdošā suga;
    - Koku skaits;
    - Šķērslaukums.
  - ❖ Parauglaukumu datu ieguve:
    - Meža inventarizācijas rādītāju kontrolei:
      - Pieaugušu audžu;
      - Slimību un kaitēkļu bojātu aužu;
      - Jaunaudžu.
  - ❖ Parauglaukumu datu apstrāde un datu bāzes sagatavošana;
  - ❖ meža apsardzībai pret uguni:
    - Deguma teritoriju digitālās kartes iegūšana;
    - Uguns atklāšanas ātruma un izplatības virziena fiksācija.
  - ❖ meža dzīvnieku novērošanai:
    - dzīvnieku skaita un iespējamās sugas noteikšana.
6. Datu pārbaude un salīdzināšana:
- ❖ Datu kvalitātes salīdzināšana:
    - Meža inventarizācijai:
      - Radītāji un kvalitātes novērtēšanas kritēriji;
    - Ugunsapsardzībai:
      - Noteikto teritoriju platības salīdzināšana;
    - Meža dzīvnieku novērošanai:

### **2.3. Attālās zondēšanas jēlmateriālu iegūšanas tehnoloģiju testēšana, izmantojot pilotējamus un bezpilota lidaparātus**

1. Attēlu korekcija un atjaunošana;
2. Attēlu uzlabošana;
3. Telpiskās manipulācijas;
4. Attēlu klasifikācija iegūstot
  - a. Atsevišķu teritoriju aplidojuma, novērojuma informācija;
  - b. Ortofoto attēlu iegūšanas simulācija.
5. Infrasarkanāto attēlu iegūšana:
  - a. Zināmu un atpazīstamu dzīvnieku objektu attēlu iegūšana;
  - b. Iespējami bieži apdzīvotu meža teritoriju attēlu iegūšana.

## 3.REZULTĀTI

### 3.1. Meža attālās zondēšanas tehnoloģiju pētījumu un testēšanas īstenošanas metodiskās vadības procedūru sagatavošana un sistematizēšana

#### 3.1.1. Bezpilota un pilotējamo lidaparātu izmantošanas normatīvā bāze

Izmantošanu reglamentē:

- Likums par aviāciju (spēkā no 03.11.1994.);
- LR MK noteikumi Nr 656 15.08.2006. „Kārtība, kādā veicami bezpilota gaisa kuģu un tādu cita veida lidaparātu lidojumi, kuri nav kvalificējami kā gaisa kuģi”.
- Civilās aizsardzības likums (spēkā esošs no 2007.01.01)

Izmantošanai noteikti šādi ierobežojumi:

Bezpilota gaisa kuģu lidojumi Latvijas Republikas kontrolējamā gaisa telpā (noteikta gaisa telpa, kurā ir nodrošināta gaisa satiksmes vadība saskaņā ar vizuālo un instrumentālo lidojumu noteikumiem) un gaisa telpā, kas atrodas mazāk nekā 10 km attālumā no jebkura lidlauka, ir atļauti, ja tiek izpildīti šādi nosacījumi:

- minētās darbības (konkrētā gaisa kuģa konkrētais lidojums) ir saskaņotas ar valsts un pašvaldības iestādēm, juridiskām personām un privātpersonām, kuru intereses tiek nepamatoti skartas, veicot konkrētās darbības;
- minētās darbības (konkrētā gaisa kuģa konkrētais lidojums) ir saskaņotas ar Aizsardzības ministriju, ja lidojumus paredzēts veikt mazāk nekā 10 km attālumā no militārā lidlauka;
- ir saņemta Civilās aviācijas aģentūras atļauja lidojumu veikšanai (konkrētā gaisa kuģa konkrētajam lidojumam).

Ja bezpilota gaisa kuģu lidojumu veikšanai nav noteikta ierobežotu lidojumu gaisa telpas zona, tos var veikt augstumā, kas nepārsniedz **120 m**.

Minēto bezpilota gaisa kuģu lidojumus var vadīt persona, kas sasniegusi 18 gadu vecumu.

Bezpilota gaisa kuģu lidojumus veic tā, lai neapdraudētu cilvēka dzīvību, veselību vai mantu, lidojumu drošību un nenodarītu kaitējumu videi.

Bezpilota gaisa kuģis ir konstruēts un aprīkots tā, lai nodrošinātu tā nekavējošu nosēšanos vai pašiznīcināšanos,

ja bezpilota gaisa kuģa operators zaudējis kontroli pār tā vadību.

Nekontrolējamā gaisa telpā vadāmo bezpilota gaisa kuģu (izņemot šo noteikumu 16.punktā minētos gaisa kuģus) operators uztur radio sakarus vienotā frekvencē ar citiem šīs gaisa telpas izmantotājiem, lai lidojumu drošības nolūkā ziņotu par tā vadītā bezpilota gaisa kuģa atrašanās vietu un maršrutu.

Radio vadāmais lidmodelis ir bezpilota gaisa kuģis (izņemot bezpilota gaisa balonu, pūķi un raķeti), kas sver ne vairāk par 20 kg (bez degvielas) kopā ar aprīkojumu.

Latvijas Republikas gaisa telpā var veikt tādu radio vadāmu lidmodeļu lidojumus:

- kuri nav aprīkoti ar metāla vai remontētu propelleri vai nedroši nostiprinātu dzinēju;
- kuru konstrukcijas detaļām (spārniem, astei) nav asu priekšējo šķautņu;
- kuru radiouztvērējs atrodas vibrāciju absorbējošā iepakojumā (konteinerā);
- kuri konstruēti un būvēti tā, lai lidojumu laikā nebūtu iespējama nejauša smagu detaļu vai balasta atdalīšanās no tiem;
- kuru korpusiem ir piestiprināta plāksnīte ar to īpašnieka vārdu un uzvārdu (nosaukumu), adresi (juridisko adresi) un tālruna numuru.

Vadot radio vadāmu lidmodeļu lidojumus, var izmantot tikai radioviļņu frekvences, kas noteiktas normatīvajos aktos par radiofrekvenču spektra joslu sadalījumu lidmodeļu lidojumu veikšanai.

Lidojumus veic radio vadāma lidmodeļa operatora izvēlētā gaisa telpas zonā virs laukuma, kas ir vismaz 500 m garš un 200 m plats. Radio vadāma lidmodeļa operators nodrošina, ka šajā laukumā un 50 m drošības zonā ap to neatrodas cilvēki, dzīvnieki, transportlīdzekļi, kā arī ugunsbīstami un sprādzienbīstami priekšmeti.

Radio vadāma lidmodeļa operators pirms lidojuma veikšanas pārliecinās, ka paredzēto vadības pulsts raidītāja radioviļņu frekvenci neizmanto cits operators un par vadības iekārtu pareizu darbību pirms un pēc dzinēja startēšanas.

Ja tuvāk par 200 m no radio vadāma lidmodeļa palaišanas (starta) vietas atrodas cilvēki, pacelšanās laikā operators pirmajā manevrā to vada uz lidojuma zonas vidu.

Ja rodas radiosakaru traucējumi vai vadības kontroles traucējumi, radio vadāmā lidmodeļa lidojumu nekavējoties pārtrauc un lidmodeli nosēdina.

Ja radio vadāmais lidmodelis iepriekš lidojumos nav pārbaudīts, tā lidojumus veic ne tuvāk par 200 m no cilvēkiem.

Aizliegts vadīt radio vadāmu lidmodeli tā, ka tas veic lidojumu tuvāk par 200 m no būvēm, tiltiem, dzelzceļa, šosejām, ceļu pārvadiem, transporta ceru sazarojumiem, elektrības zemsprieguma, augstsprieguma un sakaru līnijām, kapsētām, rezervātiem un militārās infrastruktūras objektiem, kuri tiek izmantoti Nacionālo bruņoto spēku vajadzībām, varētu tikt zaudēta operatora nepārtraukta vizuāla kontrole pār to un tas lido pāri transportlīdzekļu stāvvietām un vietām, kur pulcējas cilvēki.

**Civilās aizsardzības likums** (spēkā esošs no 2007.01.01) (turpmāk tekstā CAL) prasības saistībā ar meža teritoriju datu iegūšanu izmantojot radio vadāmo mazgabarīta lidaparātu sensoru.

Pamatojoties uz CAL 11.pantu 2. apakšpantu, resp. „Iedzīvotāju pienākumi civilajā aizsardzībā ir šādi:

2) katastrofas gadījumā rīkoties saskaņā ar plašsaziņas līdzekļu un elektronisko sabiedrības saziņas līdzekļu sniegto informāciju, kā arī operatīvo un avārijas dienestu amatpersonu norādījumiem notikuma vietā;”, tika izplānots un veikts preventīvo pasākumu kopums, lai nodrošinātu likumprasību ievērošanu.

Apzinoties CAL likuma prasības attiecībā uz iepriekšminēto prasību izpildi tika veikti sekojoši pasākumi:

- 1) tika nodrošināta operatīvās informācijas apmaiņa lidojuma laikā ar mobilo ierīču palīdzību;
- 2) lai nodrošinātu pirmās palīdzības sniegšanu ārkārtas situācijas gadījumos tika sagādāti palīglīdzekļi pirmās palīdzības sniegšanai;

Ņemot vērā saistošos noteikumus, resp., Ministru kabineta noteikumi Nr. 656 „Kārtība, kādā veicami bezpilota gaisa kuģu un tādu cita veida lidaparātu lidojumi, kuri nav kvalificējami kā gaisa kuģi” (spēkā esošs no 23.08.2006) 3.p., „bezpilota gaisa kuģu lidojumu veikšanai nav noteikta ierobežotu lidojumu gaisa telpas zona, tos var veikt augstumā, kas nepārsniedz 120 m.” lidojuma gaisa telpas zona lidojuma augstums tika noteikts mazāks par 120m.

Ievērojot radio vadāmo mazgabarīta lidaparāta lietošanas instrukcijā norādītās prasības tika nodrošināta iepriekšminētos noteikumos 6.p. izpilde, resp., „Bezpilota gaisa kuģu lidojumus veic tā, lai neapdraudētu cilvēka dzīvību, veselību vai mantu, lidojumu drošību un nenodarītu kaitējumu videi” un ņemot vērā bezpilota lidaparāta tehniskās īpašības var apgalvot, ka negatīva ietekme uz vidi ir krietni mazāka salīdzinājumā ar citām bezpilota gaisa kuģu modeļiem vai lidaparātiem, jo:

1. tiek izmantota plaši pieejama degvielas marka (nav vajadzīgas speciāla degšķidrums izmantošana);
2. minimāls degvielas izmantošanas daudzums salīdzinājumā ar citiem lidaparātiem;
3. lidaparāta konstruktīvs risinājums nodrošina degvielas tvertnes īpašu aizsardzību ārkārtas situācijas laikā;

Bezpilota lidaparāta uzbūves īpatnības nodrošina MK noteikumos Nr. 656 7.p. resp., „Bezpilota gaisa kuģis ir konstruēts un aprīkots tā, lai nodrošinātu tā nekavējošu nosēšanos vai pašiznīcināšanos, ja bezpilota gaisa kuģa operators zaudējis kontroli pār tā vadību.” prasību izpildi.

## Ieteikumi

1. Patreizējas likumdošanas prasības daļēji nodrošina radio vadāmo mazgabarīta lidaparātu izmantošanas iespējas, jo MK noteikumu Nr. 656 19.p. nosaka, ka „Lidojumus veic radio vadāma lidmodeļa operatora izvēlētā gaisa telpas zonā virs laukuma, kas ir vismaz 500 m garš un 200 m plats. Radio vadāma lidmodeļa operators nodrošina, ka šajā laukumā un 50 m drošības zonā ap to neatrodas cilvēki, **dzīvnieki, transportlīdzekļi**, kā arī ugunsbīstami un sprādzienbīstami priekšmeti.”, kas būtiski samazina un tikai daļēji atbilst mūsdienu augsto tehnoloģiju izstrādājumu izmantošanas iespējas;
2. MK noteikumos Nr. 656 24.1.p. nosaka, ka „Aizliegts vadīt radio vadāmu lidmodeli tā, ka tas veic lidojumu tuvāk par 200 m no būvēm, **tiltiem**, dzelzceļa, **šosejām**, ceļu pārvadiem, **transporta ceļu sazarojumiem**, elektrības zemsprieguma, augstsprieguma un sakaru līnijām, **kapsētām**, rezervātiem un militārās infrastruktūras objektiem, kuri tiek izmantoti Nacionālo bruņoto spēku vajadzībām”, kas līdzīgi kā iepriekšminētajā punktā negatīvi ietekme meža vai citu objektu inventarizācijas iespējas to atrašanos tuvāk augstākminētajiem objektiem;

### **3.1.2. Likumdošanas prasības meža inventarizācijas jomā**

Pamatojoties uz MK noteikumiem Nr.590 (Rīgā 2007.gada 28.augustā) „*Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi*” veicot meža inventarizāciju meža apsaimniekošanas plānošanai meža zemi sadala inventarizācijas pamatvienībās – nogabalos, ņemot vērā minēto parametru atšķirības attiecīgajās platībās (7.1.p. un Pielikums Nr.1) katram nogabalam nosaka platību ar precizitāti līdz 0,1 ha (pilsētu teritorijās – ar precizitāti līdz 0,01 ha) (7.3.p.), kā arī par katru nogabalu iegūst un apkopo informāciju saskaņā ar noteiktajiem nogabalu raksturojošajiem rādītājiem, nepārsniedzot pieļaujamo novirzi.

## Ieteikums

MK noteikumos Nr. 590 „*Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra aprites noteikumi*” vai citos normatīvajos aktos nav paredzētas, kā arī aprakstītās prasības, kā arī iespējas veikt meža inventarizācijas darbus izmantojot radio vadāmo mazgabarīta lidaparātu sensoru un lāzerskanēšanas LIDAR tehnoloģijas. Līdz ar to ir nepieciešamas izmaiņas likumdošanas jomā, ar mērķi nodrošināt plašākas jaunāko tehnoloģiju izmantošanas iespējas.

Pastāv iespējas izmantot radio vadāmo mazgabarīta lidaparātu ar dažāda veida aprīkojumiem komerciālajām vajadzībām:

1. kino vai reklāmas filmēšanā;
2. dzīvnieku uzskaitē, migrācijā un iespējamo bojājumu prognozēšanā;
3. meža ugunsgrēku noteikšanā un iespējama virziena noteikšanā;
4. atsevišķu grūti pieejamo vietu apsekošanā (bebru appludinātās platības vai vētras bojājumu apsekošanā);
5. defoliācijas konstatēšanā;
6. meža inventarizācijā u.c.

(informācijas avots: <http://www.airfoilsycam.com>, 11.09.2007)

### **3.2. Bezpilota tehnoloģiju apraksts (prasības lidojuma sagatavošanai, tehnika, pilotēšanas pamati)**

Lidaparātā vadīšanai izmanto pulti, kura nosūta radio signālu uz lidaparātu. Attiecīgi uz lidaparāta ir uztvērējs, kas uztver pulsts raidīto signālu un pārveido elektriskajos impulsos. Šie impulsi tiek padoti uz stūres mašīnām kas pagriežas pa noteiktajiem grādiem atkarībā no radio vadāmās pulsts sviras sasvēršanas. Pārraidot pa gaisu radio viļņus dažādas ierīces (Automašīnu

sveču dzirksteles rada daudz frekvenču impulsus) var kropļot signālu, kas nokļūstot līdz lidaparātam var dot nepareizu komandu. Datu pārraides drošības nodrošināšanai tiek izmantotas dažādas tehnoloģijas. Agrāk izmantota PPM (Pulse-position modulation) tehnoloģija, bet šobrīd plaši tiek izmantotas PCM (Pulse Code Modulation) kur tiek sūtīts digitālais signāls, kas ļauj izvairīties no nepareizām komandām lidmodeļa vadīšanas laikā.

Helikoptera vadīšana notiek visās trijās dimensijās un tas tiek uzskatīts pa vissarežģītāk vadāmo lidaparātu (neskaitot kosmosa kuģus), tāpēc apmācībai izstrādāti simulātori, kur tiek imitēta helikoptera uzvedība. Ir izstrādāti dažādi vingrinājumi iemaņu apgūšanai. Pēc ekspertu viedokļa, reāla lidaparāta vadība var tikt veikta pēc 100 stundu stimulatora kursa.

Kā jau katru lidaparātu, pirms pacelšanās jāpārbauda vai tas ir tehniskajā kārtībā. Veicamie darbi pirms lidaparāta pacelšanas:

- Jāpārlicinās vai visi akumulatori ir uzlādēti;
- Vai helikopteram ir visas skrūves pieskrūvētas kā nākas;
- Vai degviela ir izfiltrēta un bāka piepildīta;
- Vai visas detaļas ir savās vietās, kā ir paredzējis ražotājs;

Helikoptera vadībai tika izmantots „JR” ražotais raidītājs un uztvērējs. Radio vadāmā aparatūra, ar kuru vada helikopteru, strādā 35MHz frekvencē. Lai nerastos traucējumi no kādām citām iekārtām, tika izmantota S-PCM (Super Pulse Code Modulation) tehnoloģija, ar kuras palīdzību tika nodrošināts kvalitatīvs radio signāls. Šī projekta vajadzībām tika izmantots „Airfoilskycam” „JR” ražotais helikopters ar divtaktu benzīna dzinēju. Nepieciešamā degviela – benzīns (95 % piesātināts oglekļaūdeņradis C8H18) un ātrgaitas motoriem domāto motoreļļu. Lai nodrošinātu lidošanas stabilitāti tiek izmantotas speciālas ar metāla zobratiem digitālās stūres mašīnītes ([Servo](#)), kam ir ļoti augsta ātrdarbība un precizitāte. Tas nepieciešam tādēļ, ka uz helikoptera tiek uzstādīt žiroskops ([Gyro](#)), kas nosaka helikoptera svārstības un caur stūres mašīnītem izlīdzina helikoptera gaitu. Lai visai elektronikai norosinātu enerģiju, tiek izmantoti divas Ni-CD 700mAh 4,8 V akumulatora baterijas, un raidītājam tiek izmantots Ni-CD 800mAh 9.6V akumulatora baterijas. Bilžu uzņemšanai izmanto fotoaparātu, kuru iestiprina speciālā statīvā. Statīvs ir veidots kā atsevišķa sistēma, kurai ir savs raidītājs un uztvērējs (strādā 72MHz frekvencē). Šis statīvs nodrošina uzliktā fotoaparāta vadību. Uz statīva stāv video raidītājs, kas nodrošina video pārraidi statīva operatoram uz datoru. Video raidītājs strādā 2.2GHz frekvencē, kas nodrošina 100m video pārraidi. Ar raidītāja palīdzību nepieciešamā vietā iespējams veikt foto uzņēmumu.

3.1.tabula

### Helikoptera komplektācija

Garums	1.524 m
Platums	12 collas
Rotora diametrs	1.98 m
Dzinējs	26 cm <sup>3</sup>
Rotora apgriezieni minūtē	1450-1550
Svars	12 kg
Stūres mašīna	360 <sup>0</sup> lenķi
Gyro stabilizators	
Radio sistēmas komplektācija	
Helikoptera raidītājs	JR 9303 PCM
Statīva raidītājs	JR 9303 PCM
Žiroskops	Gyro 401 ar 9254 stūres mašīnu astes rotora

Pirms katra lidojuma ir jāveic sekojoši darbi – skrūvju, dzinēja, elektronikas, degvielas, akumulatora un instrumentu pārbaudes. Helikopters vibrējot rada svārstības, no kurām var atskrūvēties skrūves. Vienmēr pirms lidojuma jāpārlicinās, vai kāda skrūvīte nav atskrūvējusies. Ja kāda skrūvīte atskrūvējusies, ir jālieto speciāla smēre. Šī smēre jāliek uz vītnes, un tad jāskrūvē skrūve, kur bija paredzēts. Smēre pēc brītiņa paliek biezāka, un skrūves vairs neskrūvējas ārā tik



viegli. Tālāk jāveic dzinēja pārbaude. Jāpārlicinās, vai dzinējam nav radušies kādi defekti. Ļoti svarīga lieta ir pārbaudīt, vai zobrati ir veseli, vai kāds zobns nav izlūzis. Jāpārlicinās par to, vai siksna, kas domāta astes rotoram, ir vesela un nav saplaisājusi. Pirms lidojuma der pārlicināties, vai elektronika ir darba kārtībā. To var izdarīt, ieslēdzot aparāturu un pakustinot vadības stūres. Ja visas stūres mašīnas kustās kā viņām paredzēts, tad viss kārtībā. Vēl vajag pārbaudīt žiroskopu. To pārbauda pie ieslēgtas aparātūras, pakustinot helikoptera asti uz vienu vai otru pusi. Ja astes lāpstiņas maina leņķus pareizajos virzienos, tad viss ir kārtībā. Degviela arī ir iepriekš jāsapagatavo, jo degvielai jābūt tīrai, bez gružiem. Jāveic bākas pārbaude, vai nav radies kāds caurums, vai caurulītes nav sasprēgājušas. Pirms lidojuma jāpārlicinās par akumulatora spriegumu, tas nedrīkst būt zemāks par 5,2V uztvērējam un raidītājam 10,2V.

Plānojot lidojumu, nedrīkst aizmirst par metroloģiskiem apstākļiem. Lai iegūtu labus foto uzņēmumus, kurus pēc tam varētu apstrādāt, ir nepieciešami apstākļi, kur varētu labi redzēt, stabili vadīt un nepārsniedzot motora ražotāja noteikto lidojuma āra temperatūru. Bet kā vissvarīgākais ir redzamība. Jāplāno lidojumi tā, lai lidaparāts vienmēr būtu labi redzams.

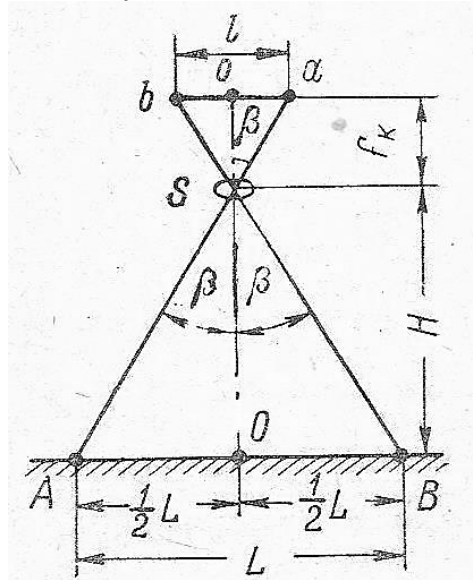
Kad sāk plānot lidojumu, jāizvēlas tāds laiks kad ir visslābākā redzamība. Tas tāpēc, lai helikopters būtu labāk saskatāms. Nepieciešams arī silts laiks, lai rokas nesaltu un degviela būtu nepieciešamajā blīvumā, t.i., ne zemāk kā  $5^{\circ}$ . Jāskatās arī vēja ātrums, kas nedrīkst pārsniegt 5m/s.

### Lidojumu datu saglabāšana

Pēc optiskās ass stāvokļa un teritorijas pārklājuma aerofoto uzņēmumi dalās 3 veidos – horizontālā, plānotā un perspektīvā.

Horizontālā ir tad, kad optiskā ass aerofoto uzņēmumā ieņem stingri vertikālu stāvokli, fokālā plakne ir stingri horizontāla. Praktiski tādu aerofoto uzņēmumus masveidīgi nevar realizēt jo viņi sastāda tikai daļu no plānoto aerofoto uzņēmumiem, bet horizontālajai uzņemšanai ir liela teorētiskā nozīme. Pie horizontālās uzņemšanas iegūstam vienkāršākas un stingrākas attiecības starp dažādiem ģeometriskiem elementiem.

Attēlā 1 ir parādīts viens aerofoto uzņēmums, kur  $H$  – augstums,  $l$  - objektīva lielums,  $L$  – apņemtā platība viena uzņēmuma pusē,  $oSO$  – aerofoto uzņēmuma objektīva galvenā optiskā ass, kas vienmēr ir perpendikulāra aerofoto uzņēmumam,  $Aa$  un  $Bb$  ir malējie projektējošie stari.



3.1.att. Horizontālās uzņemšanas shēma.

Pēc trīsstūra līdzībām, trīsstūriem  $ASB$  un  $aSb$  var noteikt uzņēmuma mērogu pēc formulas:

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{f_k}{H}$$

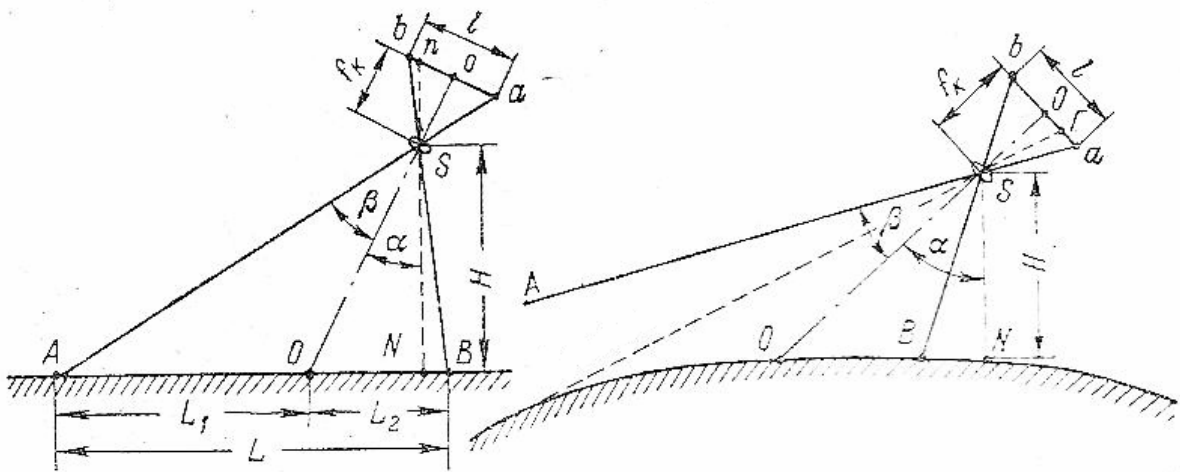
$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H} \quad (1)$$

Šī formula ir pamatā daudziem galvenajiem aprēķiniem.

Par plānoto uzņemšanu uzskatāma tāda, kur neskatoties uz lidaparāta ekipāžas pūlēm noturēt optiskās ass vertikālo stāvokli, kas novirzās par pāris grādiem dažādu iemeslu dēļ. Parasti novirzīšanās no vertikālās ass ietilpst no  $0^{\circ}$  līdz  $3^{\circ}$  robežās. Šādu novirzi no ass vertikālā stāvoklī neizsauc būtiskas mēroga un leņķa izmaiņas uzņēmuma centrā. Minētā iemesla dēļ aerofoto uzņēmumu galvenie parametri tiek aprēķināti pēc tādas pašas formulas, kā horizontālajā uzņemšanā. Plānotā uzņemšana ir visvairāk pielietotā un plašāk izmantotā.

Pielietojot papildus stabilizējošas iekārtas plānotā tiek pielīdzināta horizontālajai uzņemšanai.

Pie perspektīvās pieskaitāmas tādi aerofoto uzņēmumi, kur optiskajai asij tiek apzināti piedots slīpuma leņķis no  $45^{\circ}$  -  $60^{\circ}$ . Ja perspektīvajā uzņemšanā ir redzama tikai zemes virsma, tad aerofoto tiek nosaukts par attēlu bez horizonta redzamības, ja optiskās ass slīpuma leņķis ir tik liels, kad redzamas debess, tad attēls tiek nosaukts par uzņēmumu ar redzamu horizontu. Abus minētos paņēmienus var redzēt 2. attēlā, kur  $nON$  ir vertikāle, kas iet cauri objektīva centram,  $L_1L_2$  – ir platības daļas, kas ietvertas priekšējā un aizmugures puses uzņēmumā, tās, kā redzams ir dažādas, a – optiskās ass (oSO) novirzes leņķis no vertikālās līnijas.



3.2.att. Attēlā pa kreisi ir aerofoto bez horizonta redzamības un attēlā pa labi ir aerofoto ar redzamu horizontu.

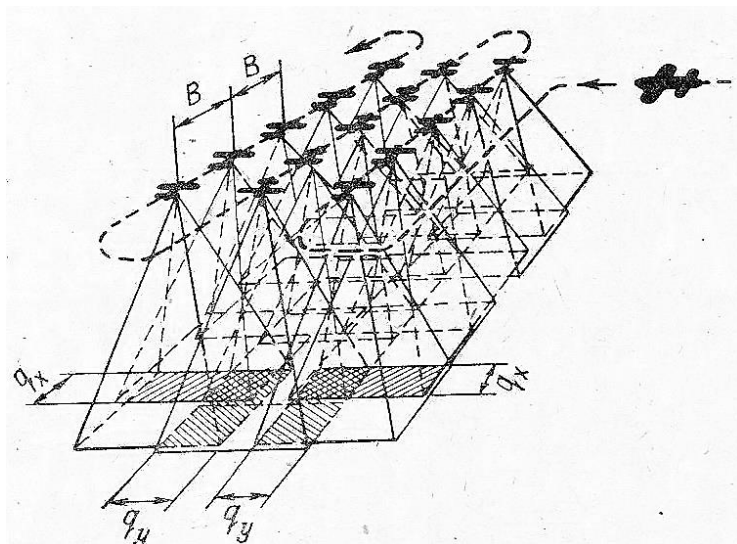
Praksē kādreiz vienlaicīgi pielieto gan plānoto, gan perspektīvo, kuru veic ar divām aerofoto kamerām.

Aerofoto uzņemšana dalās trīs veidos – izlases, maršruta un vienlaidus.

Izlases aerofoto uzņemšana tiek veikta no viena līdz trīs uzņēmumiem, kurus realizē no lidmašīnas loga vai durvīm, tomēr labāk pielietot stacionāro uzņemšanu. To uzņemšanu jāveic ar biežāku pārklājumu 2,5 – 3,0 s iegūstot labāku pārskatu par fotografēto platību.

Maršrutu aerofoto uzņemšana tiek veikta šaurākā, garākā joslā, kas iekļaujas vienā līdz diviem maršrutiem.

Vienlaidus aerofoto uzņemšana tiek pielietota plašu teritoriju uzņemšanai ar daudziem lidojumu maršrutiem un ir visplašāk pielietotā. Starp blakus esošajiem uzņēmumiem gareniskajam pārklājumam jābūt vismaz 55 - 60 % un šķērspārklājumam jābūt, līdzenumos 30 – 20%, kalnos – 40%, speciālos izmeklēšanas darbos no 55 – 60%.



3.3.att. Lidojuma shēma noteiktas platības uzņemšanai.

Datu iegūšanai ir izmantojamas gan analogās, gan ciparu kameras. Tehnoloģiskais process, sākot ar iegūto attēlu saglabāšana un tālāku apstrādi, abos gadījumos atšķiras. Ja analogo uzņēmumu gadījumā, lai nonāktu pie ģeometriski korekta zemes virsmas attēla iegūšanas datorā, sākotnēji nepieciešama foto materiālu attīstīšana, iegūto planšetu skanēšana datorā, tad ciparu kameru tehnoloģija, kas arī tiek pielietota projektā izmantotajā STORAENSO MOSAICS tehnoloģijā, attēli jau pēc to uzņemšanas tiek saglabāti atmiņas kartē vai uz datora cietā diska.

Lai iegūtu ģeometriski precīzus attēlus, kas atbilstu stāvoklim dabā, iegūtie aerofoto attēli ir jāģeoreferencē (ortorektificēšana), kas nozīmē fotokameras lēcu kropļojumu un fotografēšanas leņķa radīto sagāzumu novēršanu, attēla sagatavošanu atbilstoši lokālajai koordinātu sistēmai, un apvidus virsmas modeļa īpatnībām.

Iegūstot attēlus, lai novērstu fotografēšanas leņķa sagāzuma kropļojumus (no attēla centra uz malām zemes virsmas objekti tiek attēloti slīpi), tiek plānota to pārsegšanās gan starp lidojuma līnijām, gan lidojuma virzienā uz priekšu un atpakaļ. Parastā attēlu savstarpējā pārsedze ir no 30 līdz 40 %.

Lai saglabātu informāciju par attēla uzņemšanas vietu, tiek fiksēts to uzņemšanas laiks un lidmašīnas atrašanās vietas koordinātes šajā mirklī. Tādā veidā tiek iegūtas attēla centra koordinātes un tā novietojuma virziens, savienojot uzņemšanas centru koordinātu informāciju. GPS (globālās pozicionēšanas sistēmas) tehnoloģijas blakus attēla atrašanās vietas koordinātēm saglabā arī lidmašīnas augstuma virs jūras līmeņa informāciju, kas tālāk izmantojama (kopā ar kameras objektīva informāciju), lai noteiktu attēla zemes pārklājuma teritoriju un tā zemes virsmas aptuveno izšķirtspēju.

### 3.3. Testa reģionu noteikšanas principi

Testa reģions ir teritorija 1500-2000 ha platībā, kur nelielā platībā atrodas mežaudzes ar atšķirīgiem mežaudžu taksācijas parametriem:

- Atšķirīgs sugu sastāvs (tūraudzes un mistraudzes);
- Dažāda vecuma audzes;
- Dažādi meža augšanas apstākļi (pārstāvētas visas edafiskās grupas);
- Dažādas biežības audzes;
- Dažādu elementu audzes.

Testa reģiona atlase notiek, analizējot pasūtītāja izsniegto meža datu bāzi (tekstuālo un grafisko daļu), pēc kuras nosaka:

- Nogabalu centroīdu koordinātes;
- Izteikt valdošās sugas vecumu četrās vecuma grupās atbilstoši LR likumdošanai – jaunaudzes, vidēja vecuma audzes, briestaudzes, pieaugušas un pāraugušas audzes (VGR);

- Izteikt sugas biežību divās klasēs – 1. klase ar vērtībām no 1 – 5, 2. klase ar vērtībām no 6 – 10 (B-KL);
- Izteikt augšanas apstākļu vērtības piecās edafiskajās grupās (E-GR);
- Mežaudzes sugu sastāva formulas klasifikatora sugu kodu un vērtību apvienoto lauku, iekļaujot pirmo un otro stāvu, pēc formas P-5-E-B-1 / E-10 / VGR / B-KL / E-GR;
- Mazāko koordinātu ierobežojuma logu ar vislielāko mežaudzes sastāva formulas variāciju;

### 3.3.1. Kopējie noteikumi

Lai, īstenojot pētījumu, pasūtītājam būtu iespējams izvērtēt gan attālās izpētes materiālu tiešās informācijas iegūšanu, gan dažādu laiku vienas teritorijas materiālu izmaiņu rezultātus, pētījumi realizējami vairāku kalendāro gadu materiālu iegūšanas termiņos. Tas neierobežo pieejamības gadījumā pētījumu realizēšanā izmantot vēsturiskus ar jaunākajiem materiāliem salāgojamus, testa reģiona ierobežotus attālās izpētes materiālus, kuriem pieejama pētījumam nepieciešama atbilstoša laika meža digitālās kartes atbalsta informācija.

Lai pārbaudītu attālās izpētes iespējas, atbilstoši Latvijas meža augšanas apstākļu īpatnībām, sniegtu ticamus un pasūtītājam pārbaudāmus rezultātus, pētījumu īsteno divi izpildītāji – pētījuma realizētājs un pētījumu rezultātu pārbaudītājs.

Pētījuma realizētājs īsteno:

- Attālās izpētes materiālu izvēli un pasūtīšanu atbilstoši projekta uzdevumiem;
- Attālās izpētes materiālu analīzes programmatūras izvēli (iegādi);
- Materiālu apvienošanas un klasifikācijas veida izvēle;
- Atbilstoši pētījuma uzdevumiem klasificēto rastra un vektoru materiālu sagatavošana;
- Pētījuma rezultātu pārbaudītājs īsteno:
- Pētījuma reģiona izvēli pēc datu bāzes analīzes.
- Klasifikācijas atbalsta (vadītās klasifikācijas gadījumā) un rezultātu kontroles parauglaukumu uzmērīšanu;
- Rezultātu statistisko novērtēšanu.

Pētījumu pirmajā posmā tiek realizēts:

- Atbalsta datu bāžu un digitālās kartes informācijas (ieskaitot cirsmu informāciju) sagatavošana testa reģiona izvēlei un vēlākai klasifikācijas novērtēšanai;
- Testa reģiona izvēle;
- Atbalsta un kontroles parauglaukumu vietu izvēle un ierīkošana;
- Attālās izpētes materiālu pasūtīšana (sagatavošana) projekta uzdevumiem;
- Pieaugušu audžu krājas un tās struktūras noteikšanai;
- izpildīto krājas kopšanas ciršu audžu krājas un tās struktūras noteikšanai – esošo izpildīto novērtēšana, kā arī nākamajā gadā paredzētajām kopšanas cirtēm;
- izpildīto jaunaudžu kopšanas ciršu koku sugu un skaita noteikšana – esošo izpildīto novērtēšana, kā arī nākamajā gadā paredzētajām kopšanas cirtēm;
- nocirsto meža platību monitoringam – esošo identificēšanai bez vēsturiskajiem izmaiņu attēlu atbalsta datiem un nākamajā gadā paredzēto noteikšanai pēc attēlu izmaiņas principiem.
- meža bojājumu skarto teritoriju identificēšana.
- Ekoloģisko koku monitoringam.
- Klasifikācija un rezultātu sagatavošana.

Pētījuma otrajā posmā tiek realizēts:

- Kontroles parauglaukumu datu kamerālā apstrāde;
- Attālās izpētes materiālu pasūtīšana (sagatavošana) projekta uzdevumiem;
- izpildīto krājas kopšanas ciršu audžu krājas un tās struktūras noteikšanai – izmaiņu klasificēšanas novērtēšanai;

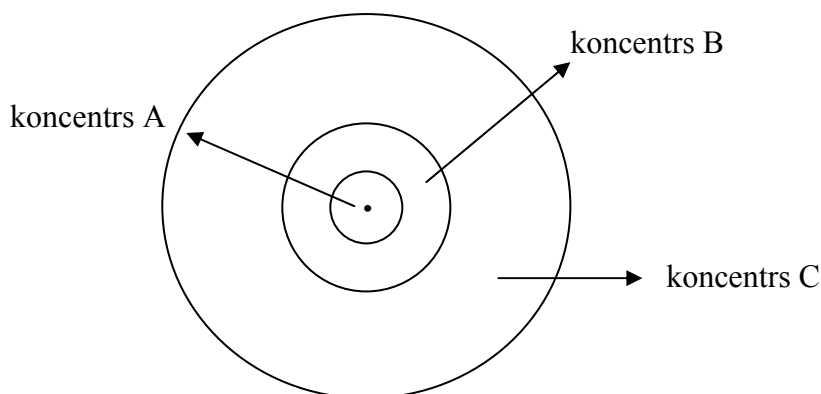
- izpildīto jaunaudžu kopšanas ciršu koku sugu un skaita noteikšanai – izmaiņu klasificēšanas novērtēšanai;
- nocirsto meža platību monitoringam – izmaiņu klasificēšanas novērtēšanai;
- Klasifikācija un rezultātu sagatavošana.
- Rezultātu statistiskā novērtēšana.

### 3.3.2. Klasifikācijas atbalsta un rezultātu kontroles parauglaukumu izveides nosacījumi

Lai izvēlētajos testa reģionos īstenoto attālās izpētes analīzes shēmu ērti varētu piemērot un pārbaudīt citos Latvijas reģionos, saistīt iegūtos rezultātus ar citām meža informācijas uzkrāšanas shēmām Latvijā, atvieglot klasifikācijas atbalsta parauglaukumu rezultātu uzkrāšanu un pētījuma rezultātu ieviešanu, par atbalsta un kontroles parauglaukumu informācijas iegūšanas sistēmu tiek izvēlēts nacionālās meža inventarizācijas parauglaukumu tīkla patstāvīgo punktu ierīkošanas metodikas pamatus.

Nacionālās meža inventarizācijas pastāvīgie parauglaukumi tiek ierīkoti kā trīs apļveida parauglaukumi – koncentri ar kopēju centru un rādiusiem, kuru teritorijās atšķirīga koku uzmērīšana, kas šādi organizēta darbietilpības samazināšanas nolūkos:

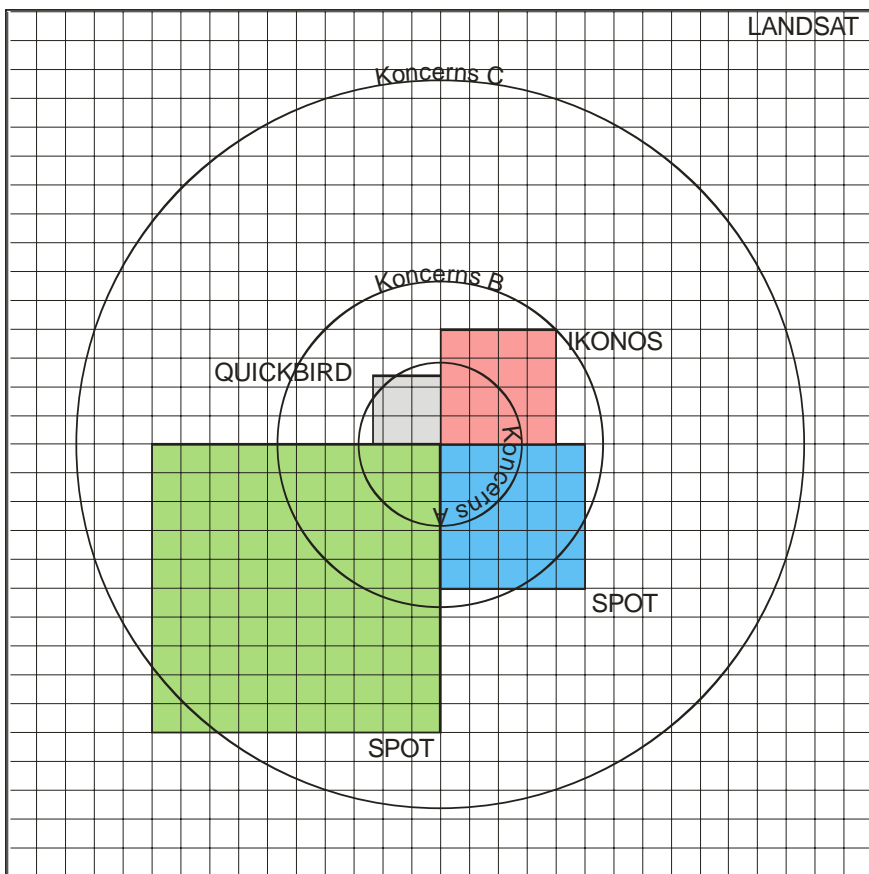
- koki ar diametru  $d > 14\text{cm}$  tiek uzmērīti  $500\text{ m}^2$  parauglaukumā ar rādiusu  $R = 12.62\text{ m}$  (koncentrs C);
- koki ar diametru  $6\text{cm} < d < 14\text{cm}$  tiek uzmērīti  $100\text{ m}^2$  parauglaukumā ar rādiusu  $R = 5.64\text{ m}$  (koncentrs B);
- koki ar diametru  $2\text{cm} < d < 14\text{cm}$ , kā arī paauga tiek uzmērīti  $25\text{ m}^2$  parauglaukumā ar rādiusu  $R = 2.82\text{ m}$  (koncentrs A).



3.4. att: Nacionālās mežierīcības parauglaukumu koncentri.

### Parauglaukuma struktūra

Parauglaukumu rezultāti samērojami ar praktiski visu attālās izpētes materiālu iegūšanas augstas un vidējas precizitātes satelītu rezultātiem, ko ilustrē zīmējums, kurā vienā mērogā samērojami parauglaukumu koncentri un multispektrālo attēlu pikseli.



### 3.5. Parauglaukumu salīdzinājums ar satelītattēlu pikseļu izmēru.

#### Attālās izpētes materiālu iegūšanas nosacījumi.

Attālās izpētes materiāli – satelītu uzņēmumi, ar aerofotogrāfēšanu iegūti materiāli, LIDAR materiāli, citi un no iepriekšējiem materiāliem kombinēti produkti.

Attālās izpētes materiāli projekta vajadzībām tiek sagatavoti (pasūtīti) ģeoreferencēti (ortorektificēti) atbilstoši apvidum un Latvijas koordinātu sistēmai LKS-92, kuru nosaka Transversālā merkatora projicēšanas likums ar šādiem sākumdatiem:

- ass meridiāns 24° austrumu garums;
- mēroga koeficients uz ass meridiāna 0,9996;
- abscisa vērsta ziemeļu virzienā;
- ordināta vērsta austrumu virzienā palielināta par 500 km.

Attālās izpētes attēlu materiāli, kas izmantoti projekta pētījumu veikšanai, iesniedzami oriģinālajā un ģeoreferencēta \*.tif formātā ar šāda rakstura informāciju: satelītu attēliem:

- ģeometriskā precizitāte (RMS);
- attēlu kvalitāte (mākoņainības procents);
- attēla uzņemšanas laiks (mozaīku, montēšanas gadījumos, visu izmantoto);
- attēla rezolūcija (izšķirtspēja);
- pielietoto attēlu koriģēšanas un atjaunošanas veidu informāciju;
- pielietoto attēlu uzlabošanas veidu informāciju;
- attēlu apstrādes programmatūras informācija;
- spektra joslu apraksts (skaits, diapazons nm);
- ortorektificēšanai izmantotie kontrolpunkti \*.shp punktu failu formātā LKS-92 koordinātu sistēmā;

- ortorektificēšanai izmantotais zemes virsmas augstuma modelis DTM formātā.

ar aerofotogrāfēšanu iegūtiem materiāliem:

- ģeometriskā precizitāte (RMS);
- attēla uzņemšanas laiks (mozaīku, montēšanas gadījumos, visu izmantoto);
- attēla rezolūcija (izšķirtspēja);
- attēlu apstrādes programmatūras informācija;
- ortorektificēšanai izmantotie kontrolpunkti \*.shp punktu failu formātā LKS-92 koordinātu sistēmā;
- ortorektificēšanai izmantotais zemes virsmas augstuma modelis DTM formātā.

Viena projekta uzdevuma dažādu attālās izpētes materiālu salīdzināšanas gadījumā izmantojami viena laika (iegūšanas diapazons +/- mēnesis vienā gadalaikā) uzņēmumi.

Attālās izpētes materiāli iegūstami visā teritorijā, kura izdalīta atbilstoši testa reģionu noteikšanas principiem:

- pieaugušu audžu krājas un tās struktūras noteikšanai;
- izpildīto krājas kopšanas ciršu audžu krājas un tās struktūras noteikšanai;
- meža bojājumu skarto teritoriju identificēšanai;
- ekoloģisko koku monitoringam;
- jaunaudžu kopšanas novērtēšanai;
- izcirsto platību monitoringam.

Attālās izpētes materiāli iesniedzot grupējami atbilstoši izmantošanai projekta uzdevumu veikšanā.

## **LIDAR**

- ģeometriskā precizitāte (RMS);
- attēla uzņemšanas laiks (mozaīku, montēšanas gadījumos, visu izmantoto);
- attēla rezolūcija (izšķirtspēja) u.c Lidar sistēmas tehniskie parametri;
- pielietoto attēlu koriģēšanas un atjaunošanas veidu informāciju;
- pielietoto attēlu uzlabošanas veidu informāciju;
- attēlu apstrādes programmatūras informācija;

### **3.4. Inventarizācijas informācijas atbalsta datu – karšu informācijas sagatavošana pētījuma rezultātu kontrolei**

Atbilstoši testa reģionu noteikšanas principiem izdalītajos pētījuma izpildes reģionos no meža inventarizācijas materiālu digitālajām kartēm pasūtītājs sagatavojama šādu informāciju ArcView \*.shp failu formā mērogā 1:10000, LKS-92 koordinātu sistēmā:

- Valsts mežu teritorijas pārklājuma poligoni attālās izpētes analīzes teritorijas ierobežošanai – meža maska, visu sešu pētījuma uzdevumu īstenošanai;
- Meža nogabalu poligoni ar pievienotu atribūtu informāciju ar pēdējās aktualizācijas laika informāciju pēc meža valsts reģistra struktūras;
- Atbilstoši apvidum ģeoreferencēts meža izcirtumu poligonu digitālās kartes slānis izvēlētajam testa reģionam nocirsto meža platību monitoringam.

### **3.4.1. Parauglaukumu uzmērīšanas izpildīšanas tehniskie nosacījumi**

#### *3.4.1.1. Koku augstuma mērījumi.*

Koku augstuma mērījumi izpildāmi ar elektroniskajiem ultraskaņas augstummēriem, kuru ražotājfirma un mērīšanas precizitātes □ iapasons minams pie iesniedzamajiem mērījumiem.

#### *3.4.1.2. Koku caurmēra mērījumi.*

Koku caurmēra mērījumi izpildāmi ar elektronisko vai kalibrētu mehānisko dastmēru.

#### *3.4.1.3. GPS mērījumi.*

GPS mērījumi audžu, izcirtumu teritoriju, punktveida objektu – ekoloģisko koku, audžu koku uzmērīšanai veicami ar 12 kanālu uztvērējiem, metra precizitāti un diferenciālo korekciju (tiešā laika vai pēcapstrādes). Mērījumu rezultāti eksportējami uz ArcView \*.shp failu formātu ar šādu informāciju:

Koordinātes x un y Latvijas koordinātu sistēmā LKS-92;

Reālā laika precizitāte katram punktveida objektam un poligonu stūriem;

Mērījumu izdarīšanas laiks.

### **3.4.2. Meža instrumentālās taksācijas metodes**

Veikt attālās zondēšanas rezultātu testēšanu teritorijā, ar mērķi iegūt ticamu informāciju par meža resursu stāvokli, par mežaudžu taksācijas rādītājiem 8 galvenajām koku sugām - priedei, eglei, bērzam, melnalksnim, apsei, baltalksnim, lai tos varētu salīdzināt ar attālā zondēšanā iegūtajiem datiem.

#### **Meža instrumentālās taksācijas objekts**

Meža instrumentālās taksācijas objekts ir objekts, kurā ir veikta datu ievākšana ar attālās zondēšanas metodēm. Šādām vajadzībām jāizvēlas teritorija 1500-2000 ha platībā, kur nelielā platībā atrodas mežaudzes ar atšķirīgiem mežaudžu taksācijas parametriem:

- Atšķirīgs sugu sastāvs (tīraudzes un mistraudzes);
- Dažāda vecuma audzes;
- Dažādi meža augšanas apstākļi (pārstāvētas visas edafiskās grupas);
- Dažādas biežības audzes;
- Dažādu elementu audzes.

#### **Meža inventarizācijas uzdevumi**

Ievākt iespējami precīzus meža taksācijas datus parauglaukumos:

Lauku darbu uzdevumi:

- Izvietot parauglaukumus nogabalos ar atšķirīgiem meža taksācijas rādītājiem;
- Identificēt atsevišķu koku;
- Noteikt atsevišķa koka atrašanās koordinātas;
- Uzmērīt katra koka augstumu;
- Uzmērīt katra koka caurmēru;
- Noteikt katra koku stumbra kvalitāti.

Kamerālo darbu uzdevumi:

- Iegūt koku izvietojuma karti parauglaukumos;
- Salīdzināt parauglaukumu kartes ar attālās zondēšanas kartēm;
- Aprēķināt koksnes krāju un salīdzināt to ar attālās zondēšanas rezultātā iegūto informāciju;



- Salīdzināt iegūtos rezultātus dažādos meža elementos.

### 3.5. Lauku darbu metodika, parauglaukumu parametri

#### 3.5.1. Parauglaukumu izvēles shēma, nogabalu atlase

Parauglaukumi tiek izvietoti neregulāri atlasīto nogabalu raksturīgākajās vietās. Parauglaukumu izvietojums atkarīgs no nogabala taksācijas pazīmēm. Parauglaukumi jāizvieto nogabalos ar sekojošām taksācijas pazīmēm:

- Atšķirīgs sugu sastāvs (tūraudzes un mistraudzes);
- Dažāda vecuma audzes (uzsvaru liekot uz galvenās cirtes vecumu sasniegušām audzēm);
- Dažādi meža augšanas apstākļi (pārstāvētas visas edafiskās grupas);
- Dažādas biežības audzes;
- Dažādu elementu audzes.

Par dabā apsekojamiem parauglaukumiem tiek sagatavotas:

- ortofoto karšu izdrukas M 1:10 000;
- mežaudžu **plāni** (kopijas) M 1:10 000;
- **inventarizācijas dati** no Meža valsts reģistra par mežaudzēm, kurās tiks ierīkoti parauglaukumi;

#### Parauglaukuma adrese un vispārīga raksturojums

Atbilstoši sagatavošanas darbos apkopotajai informācijai uzmērot parauglaukumu dabā tiek pārbaudīta un precizēta informācija par kvartāla un nogabala numuru.

Pirms parauglaukuma uzmērīšanas tiek noteikts:

- valdaudzes vecums (urbumus veicot kokiem, kas atrodas aiz parauglaukuma ārējās robežas);
- 2.stāva vecums;
- audzes izcelsme (mākslīgi, dabiski);
- augšņu raksturojums (morfoloģiskās īpašības);
- augšanas apstākļu tips,.

#### 3.5.2. Parauglaukumu kopskaits un rezultātu precizitāte

Nemot vērā nepieciešamību, iespējami nelielā teritorijā iegūt informāciju par iespējami plašākām taksācijas pazīmju variācijām, iegūstamo rezultātu precizitāti var noteikt pēc vispārzināmas statistikas formulas:

$$p = \sqrt{\frac{s\%^2 \cdot t^2}{N}},$$

kur (2)

p- rezultātu precizitātes procents;

s%- variācijas koeficients;

t- Stjudenta kritērijs, teorētiskā vērtība;

N- parauglaukumu kopskaits.

### 3.5.3. Parauglaukumu centru koordinātas

Parauglaukumu centru koordinātas tiek atrastas izmantojot GPS uztvērēju ar precizitāti  $\pm 0.1\text{m}$ . Koordinātas tiek ievadītas vienotā parauglaukumu reģistrā izmantojot Latvijas koordinātu sistēmu.

Latvijas koordinātu sistēma definēta ar šādiem parametriem:

Projekcija – Transversa Merkatora;

Centrālais meridiāns – 24;

Mēroga koeficients uz meridiāna – 0,9996;

Novirze pa X asi = 500000m;

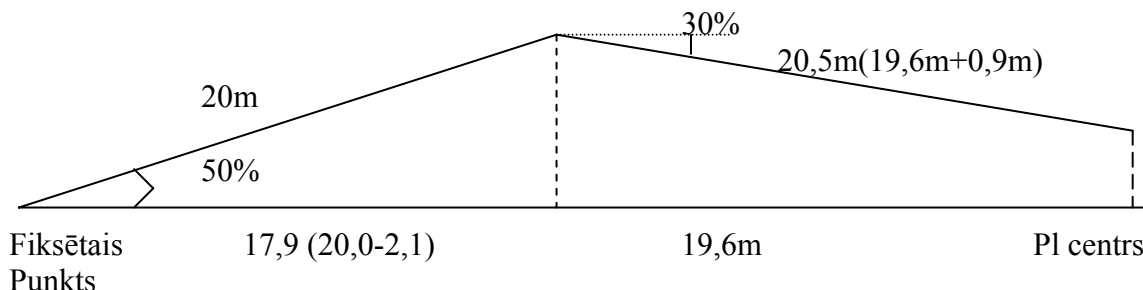
Novirze pa Y asi = 0m.

Parauglaukumu centra konkrētā atrašanās dabā tiek noteikta atbilstoši aprēķinātajām koordinātēm ar GPS (globālās pozicionēšanas stacijas) palīdzību. Parauglaukumu centrs tiek piesaistīts pie tuvākā dabā esošā lineāru objektu krustojuma (ceļi grāvji, stigas) vai īpašumu norobežojošas kupicas, izmērot attālumu un azimutu (izmantojot tālmēru).

Parauglaukumu centri tiek atrasti no trakta centra ar tālmēru palīdzību, centru precizējot ar GPS palīdzību, atbilstoši koordinātēm. Parauglaukuma centra koordinātes tiek noteiktas un atzīmētas parauglaukuma uzskaites kartītē, skatīt 1.pielikumu:

#### Līnijas nosprašana reljefa slīpumā:

Kartogrāfiskie materiāli norāda horizontālos attālumus starp punktiem. Tomēr bieži vien līnijas jānospraуз dažādos reljefa slīpumos, kas ietekmē mērījumu precizitāti. Tāpēc lai novērstu iespējamās kļūdas jārespektē reljefa slīpums, jāpārrēķina slīpumā mērītie attālumi uz horizontālo plakni. Tas jāveic sekojoši:



3.6.attēls Attāluma korekcija zemes virsmas slīpumā

### 3.5.4. Parauglaukumu numurēšana, izmēri un struktūra

Parauglaukumiem tiek piešķirts numurs. Tas ir 7 zīmju skaitlis, kuram pirmās 3 zīmes raksturo kvartāla numuru, otrās divas- nogabala numuru, trešās divas parauglaukuma numuru nogabalā.

Atkarībā no izvēlētā parauglaukuma radiusa parauglaukumā jāizmēra visi koki, kas tajā ietilpst. Mērot kokus jāievēro to dalījums stāvos, kvalitātes klasēs. Kokiem, kas atrodas parauglaukumu malās uz parauglaukuma radiusa līnijas, jāaprēķina stubra centra atrašanās vieta. To aprēķina sekojoši:

- Jāizmēra koka caurmērs;
- Jāizmēra attālums no parauglaukuma centra līdz kokam;
- Izmērītajam attālumam no parauglaukuma centra pieskaita  $\frac{1}{2}$  no koka caurmēra;

- Ja aprēķinātais attālums ir mazāks par parauglaukuma radiusu, koks tiek ieskaitīts parauglaukumā, savukārt, ja aprēķinātais attālums ir lielāks par parauglaukuma radiusu, koks parauglaukumā netiek ieskaitīts.

Lai parauglaukumu mērījumu rezultātus būtu iespējams attiecināt uz visu audzi, nepieciešams noteikt nepieciešamo parauglaukumu platību. Nepieciešamo parauglaukumu skaits atkarīgs no audzes viendabības. Jo nevienmērīgāka audze, jo parauglaukumu skaits jāpalielina. Nepieciešamā parauglaukuma platība atkarībā no precizitātes un nosakāmās orientējošās krājas parādīta 5.1.tabulā:

3.2.tabula

**Nepieciešamā parauglaukuma platība atkarībā no precizitātes un nosakāmās orientējošās krājas**

Krāja m <sup>3</sup> /ha	Parauglaukumu platība pa precizitātes prioritātēm, ha, ietverot datu iespējamo novirzi (+-)%			
	10%	20%	30%	40%
550	0.16			
500	0.16			
450	0.16			
400	0.32	0.16		
350	0.60	0.20		
300	0.60	0.20	0.08	
250	0.80	0.30	0.08	
200	0.80	0.30	0.08	
150	1.0	0.40	0.24	
100		0.72	0.35	0.12
50			1.00	0.40

Parauglaukuma platība atkarīga no maksimālā koka caurmēra parauglaukumā. Jo lielāks caurmērs, jo lielākam jābūt parauglaukumu radiusam un platībai. Parauglaukumu parametri parādīti 3.3.tabulā:

3.3.tabula

Vidējais caurmērs, cm	Parauglaukuma rādiuss, m	Parauglaukuma platība, ha
20	9,77	0,03
24	12,62	0,05
28	13,82	0,06
32	15,96	0,08
36	17,84	0,1
40	20,34	0,13
44	21,85	0,15
48	23,94	0,18
52	25,23	0,2
56	28,21	0,25
60	29,85	0,28

Uzmērāmie rādītāji parauglaukumā:

Katrā parauglaukumā nepieciešams noteikt sekojošus taksācijas rādītājus:

Atsevišķam kokam:

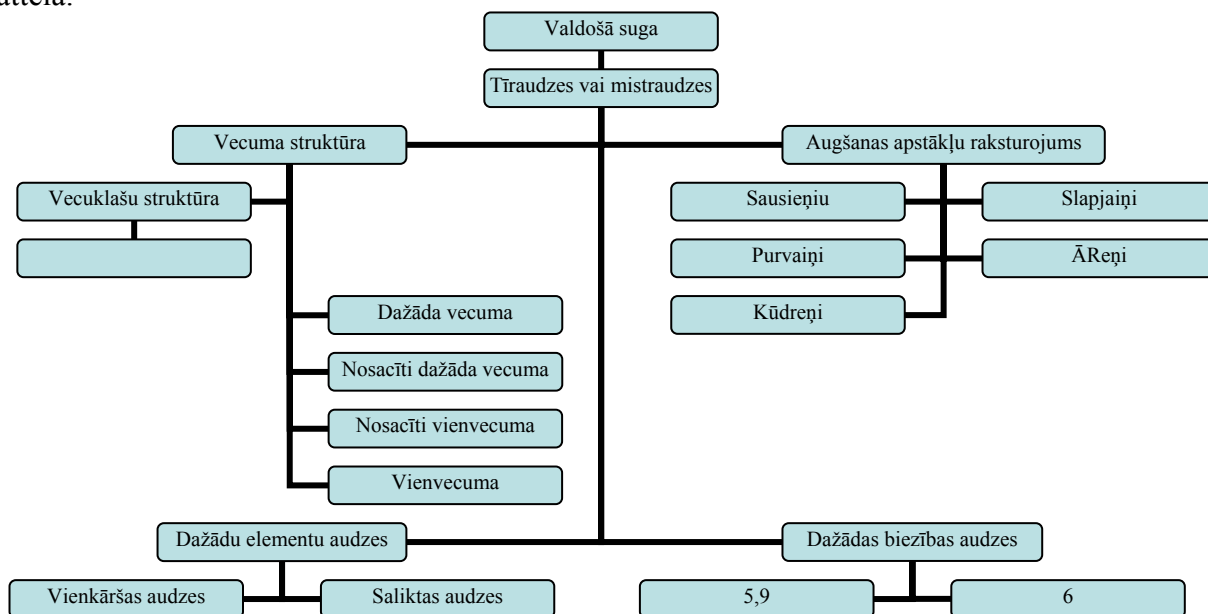
Koka attālums līdz parauglaukuma centram ( $\pm 1$  cm);

Koka azimuts ( $\pm 1^\circ$ );

Koka caurmērs ( $\pm 1$  mm);  
 Koka augstums ( $\pm 0.5$  m);  
 Pirmais zaļais, pirmais sausais zars ( $\pm 0.5$  m);  
 Krafta klase;  
 Stāvs;  
 Koku suga;  
 Kvalitāte ( bojājuma veids, bojātās daļas garums, augstums, koka  
 augtspēja zudusi jā/nē).

Paauga:  
 Suga;  
 Skaitis (pielikumā noteikšanas metodika un precizitāte);  
 Augstums ( $\pm 0.5$  m).  
 Pamežs:  
 Suga;  
 Skaitis;  
 Augstums ( $\pm 0.5$  m).

Parauglaukumu analīzes shēma atkarībā no sugu sastāva un augšanas apstākļu tipa parādītā 3.7. attēlā.



3.6. att. Atsevišķā parauglaukumā nosakāmie parametri atkarībā no sugu sastāva un augšanas apstākļa tipa

### 3.6. Attālās zondēšanas jēlmateriālu iegūšanas tehnoloģiju testēšana, izmantojot pilotējamos un bezpilota lidaparātus

Iespējamo metožu sarakstā, lai īstenotu pētījumu, ir visi attālās izpētes materiālu apstrādes programmu klasifikācijas veidi, dažādi modificēti, pielietoti analizējot dažādu satelītu sensoru attēlus, dažādas spektra joslas un to kombinācijas, jo nav atbilstoši mēroga, meža mērījumu precizitātes un detalizācijas pētījumu.

Lai izprastu attēlu klasifikāciju, jāsāk ar attēlu apstrādes pamatiem. Digitālā apstrāde ietver sevī digitālo attēlu interpretēšanu un manipulēšanu ar tiem, izmantojot datoru. Attēlu digitālā apstrāde ir ļoti plašs jautājums, un sevī bieži vien ietver matemātiski sarežģītas operācijas.

### 3.6.1. Attēlu korekcija un atjaunošana

Šīs darbības mērķis ir izlabot kropļojumus, lai izveidotu precīzāku patiesās ainas reprezentāciju. Šeit parasti tiek iekļauta neapstrādāto datu sākotnējā apstrāde, lai novērstu ģeometriskās neprecizitātes, kalibrētu tos radiometriski un novērstu nepilnības, kas radušās ārējo traucējumu ietekmē. Tādā veidā attēlu atjaunošanas procesa norise ir atkarīga no attēlu iegūšanai izmantotā sensora īpašībām. Attēlu izlabošanas un atjaunošanas procesu bieži sauc par pirmapstrādi, jo tas ievada turpmākās darbības un attēlu analīzi, ko izmanto, lai iegūtu specifisku informāciju.

Šīs procedūras tiek pielietotas, lai efektīvāk attēlotu datus sekojošajai vizuālajai interpretācijai. Parasti attēla uzlabošana iekļauj vizuālo atšķirību pastiprināšanu starp dažādiem objektiem. Mērķis ir izveidot "jaunus" attēlus, lai palielinātu informācijas, kas vēlāk var tikt vizuāli interpretēta, apjomu.

Attēlu klasifikācijas mērķis ir aizvietot attēla vizuālo analīzi ar skaitliskām tehnikām. Tā parasti ietver multispektrālo datu analīzi un uz statistiku balstītu lēmumu pieņemšanu zemes virsmas identitātes noteikšanai katram attēla pikselim. Klasifikācijas procesa nolūks ir kategorizēt visus digitālā attēla pikselus vienā no vairākām Zemes virsmas klasēm. Šie kategorijās sadalītie dati tad var tikt izmantoti, lai veidotu tematiskās kartes, kā arī veidotu kopējo statistiku par attēlotajiem laukumiem.

Neapstrādāti digitālie attēli parasti satur ģeometriskus kropļojumus, tādēļ nevar tikt izmantoti kā kartes. Kropļojumu avoti var būt dažādi. Tas atkarīgs gan no tādiem faktoriem kā sensora platformas augstums, stāvoklis gaisā un ātrums, gan Zemes virsmas liekums, atmosfēras refrakcija u.c. Ģeometriskās korekcijas mērķis ir kompensēt kropļojumus, ko radījuši šie faktori tā, lai izlabotajam attēlam būtu integritāte ar karti.

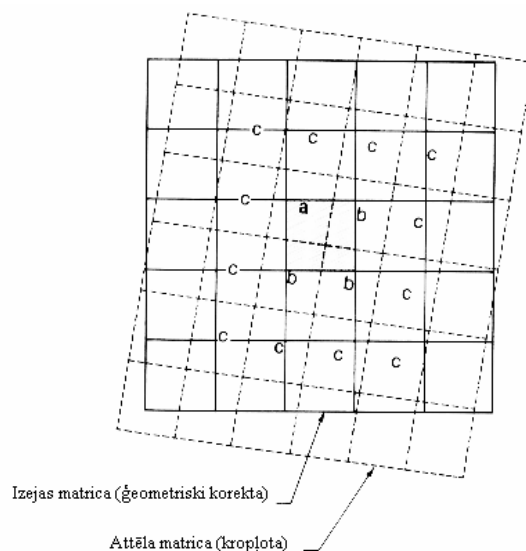
Ģeometriskās korekcijas process parasti tiek izpildīts kā divu soļu procedūra. Pirmkārt, tiek aplūkoti tie kropļojumi, kas ir sistemātiski vai iepriekš nosakāmi un tikai tad tie, kas būtībā ir nejauši un nav iepriekš paredzami. Sistemātiskie kropļojumi ir labi saprotami un viegli novēršami, pielietojot formulas, kuras iegūtas, matemātiski modelējot kropļojumu avotus. Šāda veida kropļojums, piemēram, ir Zemes rotācija zem satelīta. Korekcijas procesā katra līnija tiek nedaudz nobīdīta pretējā virzienā. Nezināmie sistemātiskie kropļojumi tiek koriģēti, analizējot labi zināmus punktus, piemēram, autoceļu krustpunktus vai skaidri izteiktas krasta līnijas. Korekcijas procesā vairāki šie punkti tiek raksturoti gan ar koordinātēm (kolonnas un rindas numurs) kropļotajā attēlā, gan ar Zemes koordinātēm. Šīs vērtības tad tiek ievietotas vienādojumos, lai noteiktu koeficientus, kurus izmantot, lai savstarpēji saistītu ģeometriski pareizās (karte) ar nepareizajām (attēls) koordinātēm. Kad koeficienti noteikti, kropļotā attēla koordinātes jebkurai kartes vietai var tikt noteiktas precīzi:

$$\begin{aligned}x &= f_1(X, Y) \\ y &= f_2(X, Y),\end{aligned}\tag{3.}$$

kur  $(x, y)$  – kropļotā attēla koordinātes (kolonna, rindiņa)  
 $(X, Y)$  – pareizās (kartes) koordinātes  
 $f_1, f_2$  – transformācijas funkcijas.

Vienādojumi norāda, kā noteikt kropļotā attēla pozīcijas atbilstoši pareizajām, nekropļotajām kartes pozīcijām.

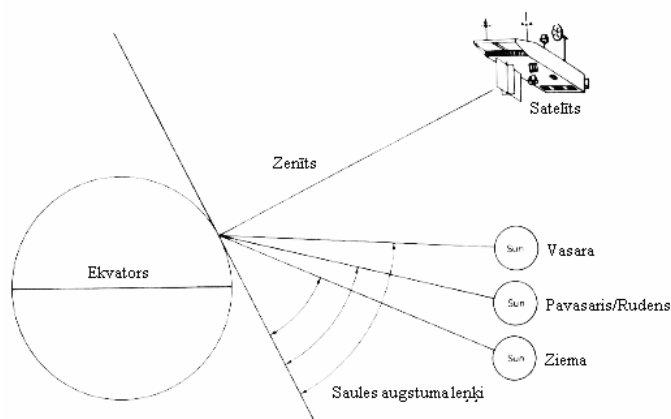
Vispirms tiek definēta nekropļotā izejas matrica ar "tukšām" kartes šūnām, tad katra šūna tiek aizpildīta ar atbilstošā pikseļa pelēko līmeni kropļotajā attēlā.



3.7. att. Attēlu ģeometriskā koriģēšana

Ģeometriski korektā izejas matrica tiek uzlikta virsū oriģinālajai, kropļotajai matricai. Pēc transformācijas funkciju veikšanas tiek veikta pārlase, lai noteiktu pikseļu vērtības, ko no oriģinālā attēla matricas iepildīt izejas matricā. Šis process tiek veikts, transformējot katra nekropļotās izejas matricas elementa koordinātes, lai noteiktu to atbilstošo atrašanās vietu oriģinālajā (kropļotais attēls) matricā. Tā kā izejas matricas šūna tieši nepārklāj pikseli ieejas matricā, digitālais skaitlis, kas galu galā tiek piešķirts šūnai izejas matricā, tiek noteikts, pamatojoties uz pikseļa vērtībām, kas ieskauj tā transformēto pozīciju oriģinālajā ieejas matricā.

Objekta spožumu vienmēr ietekmē tādi faktori kā atmosfēras apstākļi, apgaismojums, skatu leņķis u.c. Bieži ir noderīgi izveidot salikumus no attēliem, kas uzņemti dažādos laikos, lai pētītu atstarošanas izmaiņas atkarībā no laika. Šādos lietojumos parasti ir nepieciešams piemērot Saules augstuma un Zemes - Saules attāluma korekciju.



3.8. att. Saules attāluma un krišanas leņķa korekcija

Saules augstuma korekcijas procesā dati, kas iegūti pie dažādiem Saules apgaismojuma leņķiem, tiek normalizēti, aprēķinot pikseļa gaišuma vērtības, iedomājoties, ka Saule nepārtraukti ir bijusi zenītā. Korekcija parasti tiek veikta, dalot katra pikseļa vērtību ar sinusu no Saules augstuma leņķa konkrētā laikā un vietā. Korekciju var veikt arī ar Saules zenītdistanci, kas ir  $90^\circ$  mīnus Saules augstuma leņķis. Šajā gadījumā katra pikseļa vērtība tiek dalīta ar cos no šī leņķa, iegūstot identisku korekciju. Abos variantos tiek ignorēti topogrāfiskie un atmosfēriskie efekti.

Zemes - Saules attāluma korekcija tiek pielietota, lai izslēgtu sezonālās izmaiņas Saules attālumam no Zemes. Zemes - Saules attālums parasti tiek izteikts astronomiskās vienībās (astronomiskā vienība ir ekvivalenta vidējam attālumam starp Sauli un Zemi, kas ir aptuveni 149,6

\*  $10^6$  km) Apstarojums no Saules samazinās apgriezti proporcionāli Zemes - Saules attāluma kvadrātam.

Ignorējot atmosfēriskos efektus, kopējā Saules zenītdistances un Zemes - Saules attāluma ietekme var tikt izteikta formā:

$$E = \frac{E_0 \cos \theta_0}{d^2} \quad (4.)$$

kur  $E$  – normalizētais Saules starojums  
 $E_0$  – Saules starojums vidējā Zemes – Saules attālumā  
 $\theta_0$  – Saules zenītdistance  
 $d$  – Zemes - Saules attālums astronomiskās vienībās

Saules apgaismojuma variācijas ietekmē arī atmosfēriskie efekti. Atmosfēra iespaido spožumu jebkurā punktā divos veidos: samazina enerģiju, ko izstaro objekts un pati darbojas kā atstarotājs, pievienojot izkliedētu, citas izcelsmes spožumu signālam, ko uztver sensors.

Troksnis ir nevēlams traucējums attēla datos, kas radies attālās izpētes ierobežojumu, signāla digitalizēšanas vai datu ierakstīšanas procesā. Trokšņu avoti var būt dažādi: detektora nepareiza darbība, elektroniska mijiedarbība starp sensora sastāvdaļām u.c. Trokšņi var samazināt vai pilnīgi nosegt digitālā attēla patieso informācijas saturu. Tādā veidā traucējumu noņemšana parasti notiek pirms attēla datu pastiprināšanas vai klasifikācijas. Traucējumu noņemšanas mērķis ir atjaunot attēlu tik tuvu oriģinālajam, cik vien iespējams.

Tāpat kā ar ģeometriskās atjaunošanas procedūrām, trokšņu korekcija katrā situācijā atšķiras no tā, vai troksnis ir sistemātisks (periodisks), gadījuma, vai abu tipu kombinācija.

Uz līnijām orientēta trokšņu problēma, kas dažreiz parādās digitālajos datos, ir izlaista līnija. Šajā situācijā vairāki blakus esoši pikseļi uz līnijas (vai visa līnija) var saturēt neīstus DS. Šī problēma parasti tiek risināta, aizvietojojot bojātos DS ar pikseļu vidējo vērtību no līnijām, kas ir tieši virs vai tieši zem bojātās. Var arī vienkārši ievietot DS no blakus esošas līnijas.

Gadījuma trokšņu problēmas digitālajos datos tiek aplūkotas atšķirīgi. Šis trokšņu tips tiek raksturots ar nesistemātiskām variācijām, sauktām par bitu kļūdām. Šāds troksnis bieži tiek dēvēts par nepakļāvīgas dabas troksni un izraisa attēlos “sāls un piparu” vai “sniega” efektu.

Bitu kļūdas tiek novērotas, zinot, ka trokšņu vērtības parasti mainās daudz pēkšņāk nekā patiesās attēla vērtības. Tādā veidā trokšņi var tikt identificēti, salīdzinot katru pikseli attēlā ar blakus pikseļiem. Ja atšķirība starp doto pikseļa vērtību un apkārtējām vērtībām pārsniedz analītiķu noteikto sliekšni, var pieņemt, ka pikselis satur troksni. Nepareizā pikseļa vērtība tad tiek aizvietota ar vidējo no blakus vērtībām. Parasti tiek izmantoti 3x3 vai 5x5 pikseļu laukumi, kas tiek pārvietoti pa visu attēlu.

### 3.6.2. Attēlu uzlabošana

Pelēko gradāciju sliekšņu metode tiek izmantota, lai segmentētu attēlu divās klasēs – vienu tiem pikseļiem, kuru vērtības ir zem analītiķa definētā pelēkā līmeņa un otru tiem, kuri ir virs šīs vērtības.

Līmeņu veidošana ir uzlabošanas tehnika, kur DS, kas izkārtojas pa attēla histogrammas x asi, tiek sadalīti sērijās analītiķa nedefinētos intervālos. Visi DS, kas ir dotajā intervālā ieejas attēlā, tiks parādīti kā viens DS izejas attēlā. Sekojoši, ja tiek nedefinēti 6 dažādi intervāli, izejas attēlā būs tikai 6 atšķirīgi pelēkā toņi. Katrs līmenis var tikt attēlots arī kā atsevišķa krāsa. Līmeņu veidošana bieži tiek izmantota termālajiem infrasarkanajiem attēliem, lai noteiktu atsevišķus temperatūras diapazonus, kodētus ar pelēkajiem līmeņiem vai krāsām.

Kontrastu izstiepšanas nolūks ir paplašināt ierobežoto gaišuma vērtību diapazonu, kas nozīmē, kas nozīmē gadījumos, kad attēlu vērtības no pieejamā diapazona 0 – 255, izmanto tikai daļu (piemēram 60 – 150). Vērtību diapazons tiek vienveidīgi paplašināts, lai aizpildītu visu diapazonu. Šo vienveidīgo paplašināšanu sauc par lineāro izstiepšanu. Smalkas ieejas attēla datu

vērtību variācijas tagad var tikt izšķirtas vieglāk. Gaišie laukumi izskatīsies vēl gaišāki, bet tumšie – vēl tumšāki.

### 3.6.3. Telpiskās manipulācijas

Pretstatā spektrālajiem filtriem, kas kalpo, lai bloķētu vai laistu enerģiju caur dažādiem spektrālajiem diapazoniem, telpiskie filtri akcentē, vai gluži pretēji – deakcentē dažādu telpisko frekvenču attēla datus. Telpiskā frekvence attiecas uz attēla toņu variāciju biežumu. Attēla laukumi ar augstu telpisko frekvenci ir tonāli nelīdzīgi. Tas nozīmē, pelēkā gradācijas šajos laukos mainās pēkšņi relatīvi nelielā pikseļu skaitā (krustojumi vai robežas). Nogludinātie attēla lauki ir ar zemu telpisko frekvenci, kur pelēkā līmeņi variējas pakāpeniski pār relatīvi lielu skaitu pikseļu (ūdens krātuves). Zemas caurlaidības filtri domāti, lai akcentētu zemas frekvences objektus un deakcentētu augstas frekvences attēlu komponentes. Augstas caurlaidības filtri veic pretējas darbības. Tie akcentē detalizētās augstas frekvences attēla sastāvdaļas un deakcentē vispārējo zemas frekvences informāciju.

Telpiskā filtrēšana ir “lokāla” operācija, kurā oriģinālā attēla pikseļu vērtības tiek pārveidotas, pamatojoties uz blakus esošo pikseļu pelēkajām vērtībām. Vienkārša zemas caurlaidības filtra pielietojums - virzot kustīgu logu pāri oriģinālajam attēlam, izveidot otru attēlu, kura DS katrā pikselī atbilst kustīgā loga vidējai vērtībai. Pieņemot, ka tiek izmantots 3x3 pikseļu logs, vidējā pikseļa DS jaunajā (filtrētajā) attēlā būs vidējā vērtība no 9 pikseļiem oriģinālajā attēlā. Šis process ir ļoti līdzīgs trokšņu noņemšanas procesam. Patiesībā zemas caurlaidības filtri ir ļoti noderīgi samazinot gadījuma trokšņus.

Vienkārša augstas caurlaidības filtra pielietojums - atņemt zemas caurlaidības filtrēto attēlu (pikseli pa pikselim) no oriģinālā, neapstrādātā attēla, līdz ar to rezultāta kontrasts ir daudz lielāks.

Attēla konvolūcija ir modificēta telpiskās filtrēšanas tehnika. Sākotnēji tiek noteikts kustīgais logs, kas satur masīvu ar koeficientiem jeb svēršanas faktoriem. Šādi masīvi tiek saukti par kodoliem un parasti tie ir nepāra skaits pikseļu izmērā 3x3, 5x5 vai 7x7 pikseļi. Kodols tiek virzīts viscaur pāri oriģinālajam attēlam, un DS kodola centrā izejas attēlā tiek iegūts, pareizinot katru kodola koeficientu ar atbilstošo oriģinālā attēla DS un izdalot ar elementu skaitu kodolā, lai iegūtu vidējo vērtību. Šī operācija tiek pielietota katram pikselim oriģinālajā attēlā.

Augstas telpiskās frekvences attēli akcentē telpiskās detaļas digitālajos attēlos. Šie attēli pārspīlē lokālo kontrastu un ir labāki lineāro iezīmju portretēšanai nekā neuzlaboti oriģinālie attēli, taču nenodrošina zemās frekvences spilgtuma informāciju, ko satur oriģinālais attēls. Kontūru pastiprināti attēli mēģina saglabāt gan lokālo kontrastu, gan zemas frekvences spilgtuma informāciju. Tie tiek veidoti, pieliekot visas vai daļu no oriģinālā attēla pelēkajām vērtībām augstas frekvences attēlam tajā pašā vietā.

### 3.6.4. Vairāku attēlu manipulācijas

Šādu rezultātu iegūst, dalot DS vērtības vienā spektrālajā joslā ar atbilstošajām vērtībām citā joslā. Galvenā priekšrocība samērotajiem attēliem ir tā, ka tie pārnes attēla spektrālas iezīmes par spīti ainas novērošanas mainīgajiem apstākļiem. Piemēram DS vienai koku sugai ir zemākas ēnas pusē. Tomēr, samērotās vērtības ir gandrīz identiskas neatkarīgi no novērošanas stāvokļa, tādējādi samērotais attēls efektīvi kompensē spilgtuma variācijas, kuras izraisa dažādā topogrāfija.

Samērotie attēli bieži ir noderīgi, lai izšķirtu smalkas spektrālās variācijas. Šie izšķirtspējas uzlabojumi rodas tādēļ, ka samērotie attēli skaidri attēlo spektrālās atstarošanas līkņu slīpumu dažādību starp divām joslām, neskatoties uz absolūtajām atstarošanās vērtībām šajās joslās. Piemēram, tuvā IS un sarkanā attiecība veselai audzei normāli ir ļoti augsta. Bojātai veģetācijai parasti tā ir zemāka (tuvā IS atstarošanās samazinās, bet sarkanā pieaug). Tādējādi šādi samērojumi var būt ļoti noderīgi, lai izdalītu laukus ar bojātām un nebojātām audzēm.

Plaša starpjoslū korelācija ir problēma, ar kuru bieži jāstopas multispektrālo attēlu datu analīzē. Tas nozīmē, attēli, kas veidojušies no dažādām viļņu garumu joslām, bieži šķiet līdzīgi un būtībā dod to pašu informāciju. Principālo un kanonisko komponentu transformācijas ir divas tehnikas, kas izveidotas, lai noņemtu vai samazinātu šādu dublēšanos. Šīs transformācijas var tikt



pielietotas gan kā pastiprināšanas operācija datu vizuālajai interpretācijai, gan kā pirmapstrādes procedūra datu automātiskai klasifikācijai. Otrajā gadījumā transformācijas palielina skaitļošanas efektivitāti klasifikācijas procesā, jo gan principālo, gan kanonisko komponentu analīze rezultējas oriģinālās datu kopas dimensionalitātes samazināšanā. Šo procedūru mērķis ir saspīest visu informāciju, ko satur oriģinālā n-kanālu datu kopa, mazāk par n jaunos kanālos jeb komponentēs, kuras tad tiek izmantotas oriģinālo datu vietā.

Tāpat kā principālo komponentu dati, arī kanonisko komponentu dati var tikt izmantoti attēlu klasifikācijā. Kanoniskās komponentes ne tikai palielina klasifikācijas efektivitāti, bet arī precizitāti dažādu objektu identificēšanai, pateicoties palielinātajai klašu spektrālajai nodalīšanai.

Digitālie attēli tipiski tiek attēloti kā krāsu kompozīcijas, izmantojot trīs primārās krāsas: sarkanu, zaļu un zilu (RGB).

Alternatīva metode krāsu aprakstīšanai ar RGB komponentēm ir intensitātes-toņa piesātinājuma (IHS) sistēma. "Intensitāte" attiecas uz krāsas kopējo spilgtumu. "Tonis" attiecas uz dominējošo jeb vidējo gaismas viļņu garumu, radot krāsu. "Piesātinājums" norāda krāsas relatīvo tīrību attiecībā pret pelēko. Piemēram, pasteltoņiem ir zems piesātinājums salīdzinot ar tumši sarkanu krāsu. Transformējot RGB komponentes IHS komponentēs pirms apstrādes, var nodrošināt lielāku kontroli pār krāsu pastiprinājumu.

Dekorelācijas izstiepšana ir vairākattēlu manipulāciju forma, kas ir īpaši noderīga, kad tiek attēloti multispektrālie dati, kas savstarpēji ir ļoti saistīti. Šajā kategorijā ietilpst dati no NASA termālā infrasarkanā multispektrālā skenera un citi hiperspektrālie dati, kas iegūti vienā un tajā pašā spektra reģionā. Tradicionālajā kontrastu izstiepšanā augstu korelējošiem datiem tiek paplašināts tikai intensitātes diapazons. Tas tikai nedaudz paplašina attēlojamo krāsu diapazonu un izstieptais attēls joprojām satur tikai pasteltoņus. Reti sastopama situācija, kad lauks satur augstas DS vērtības sarkanajā displeja kanālā, bet zemas zaļajā un zilajā (kas veido attēlu skaidri sarkanu). Biežāk sarkanākie lauki ir vienīgi iesarkani. Lai apietu šo problēmu, dekodešanas izstiepšana iekļauj primāri vismazāk korelējošās informācijas attēlā pārspīlēšanu piesātinājuma ziņā ar minimālām izmaiņām intensitātē un tonī.

### 3.6.5. Attēlu klasifikācija

Attēlu klasifikācijas procedūru vispārējs mērķis ir automātiski kategorizēt visus attēla pikselus atbilstošās klasēs jeb tēmās. Parasti klasifikācijai tiek izmantoti multispektrālie dati un par šīs klasifikācijas skaitlisko bāzi tiek izmantoti spektrālie tipi - dažādi objektu tipi parāda dažādas DS kombinācijas, kas balstītas uz tiem raksturīgajām spektrālās atstarošanas un izstarošanas īpašībām. Šajā skatījumā spektrālais tips attiecas uz starojuma mērījumiem, kas iegūti katram pikselim dažādās viļņu garuma joslās.

Tāpat kā ar attēlu atjaunošanas un uzlabošanas tehnikām, arī klasifikatori var tikt izmantoti dažādās kombinācijās. Arī šeit nav vienas pareizās metodes, kuru no metodēm pielietot konkrētas problēmas risināšanā. Dažādas pieejas var tikt izmantotas atkarībā no datiem, kas tiek analizēti, pieejamajiem skaitļošanas resursiem un klasificēto datu paredzētā pielietojuma.

Galvenā atšķirība starp vadīto un nevadīto klasifikāciju ir tā, ka vadītā klasifikācija iekļauj apmācības posmu, kuram seko klasifikācijas posms. Nevadītajā pieejā attēla dati vispirms tiek klasificēti, sakopojot tos dabiskās spektrālajās grupās jeb klasteros, un tikai pēc tam analītiķis nosaka identitāti šīm spektrālajām grupām, salīdzinot klasificētos attēla datus ar Zemes atsaucē datiem.

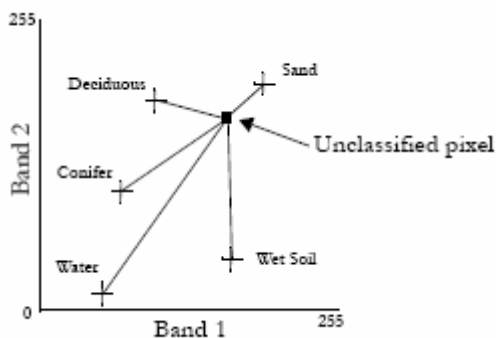
#### *Vadītā klasifikācija (Supervised Classification).*

Vadītās klasifikācijas pamatprincips ir meklēt līdzīgus pikselus atbilstoši tuvākajam pēc vērtības apmācības posmā sagatavotajiem zemes virsmas klašu (kategoriju) sagatavotajam spektrālajam atribūtu skaitliskajam aprakstam. Ja pikselis nav pietiekami līdzīgs nevienai apmācības datu kopai, tas parasti tiek klasificēts kā nezināms. Kategorijas apzīmējums tiek

ierakstīts atbilstošajā šūnā izejas – rezultējošā datu kopā, kuras digitālos rezultātus iespējams sagatavot gan rastra tematisko karšu, gan vektoru informācijas veidā tālākai integrēšanai ĢIS sistēmās.

*Minimālā attāluma līdz vidējām vērtībām klasifikators (Minimum Distance Classification).*

Šajā klasifikācijas veidā vidējā spektrālā vērtība katrai joslai katrā kategorijā ir noteikta. Šīs vērtības sastāda vidējo vektoru katrai kategorijai. Pikselis ar nezināmu identitāti var tikt klasificēts, aprēķinot attālumu starp nezināmā pikseļa vērtību un katras kategorijas vidējo vērtību. Pēc attālumu aprēķināšanas nezināmais pikselis tiek ielikts tuvākajā klasē. Ja pikselis no jebkuras kategorijas atrodas tālāk nekā analītiķa definētais attālums, tas tiks klasificēts kā nezināms.



3.9. att. Pikseļa analīze izmantojot minimālā attāluma līdz vidējām vērtībām klasifikāciju

Minimālā attāluma līdz vidējai vērtībai stratēģija ir matemātiski vienkārša un efektīva, bet tai ir zināmi ierobežojumi gadījumos, ja spektrālās klases atrodas ļoti tuvu viena otrai, kas var novest pie nelogiskas pieskaitīšanas citai spektra klasei.

Klasifikators pētījumos devis precizitāti 0,2 līdz 0,4 Kappa koeficienta robežās, vai vispārējo precizitāti 65 – 70 % robežās. (Classification of Soil Moisture on Digitized False Color Aerial Photography for Artificial Scots Pine Regeneration Suitability Assessment Siira, M., Sutinen, R., Franklin S.E. Hyvönen, E.)

*Mahalanobis attāluma klasifikators ([Mahalanobis Distance Classification](#))*

Mahalanobis attāluma klasifikators ir attāluma klasifikators, kurš līdzīgs minimālā attāluma līdz vidējām vērtībām klasifikatoram, bet pieņem, ka visu klašu attālumu vērtību diapazoni ir līdzīgi. Tas šo metodi padara ātrāku līdz brīdim, kad tiek nodefinēts attāluma sliekšnis, kas var atstāt neklasificētus atsevišķus pikselus.

*Spektrālā starojuma leņķa klasifikators ([Spectral Angle Mapper Classification](#)).*

Spektrālā starojuma leņķa klasifikators nosaka spektrālo līdzību starp divām definētām spektra klasēm, rēķinot starp tām vektoru leņķus, kuru skaits ir vienāds ar spektra joslu skaitu. Šis klasifikators ir relatīvi neietekmējošs no apgaismojuma pakāpes un albedo efekta. Klasifikācijas atbalsta informācija var tikt ņemta no ASCII datiem, spektrālajām bibliotēkām, kuru vērtības šis klasifikators salīdzina ar katra pikseļa vērtībām. Mazāki šo vērtību vektoru savstarpējie leņķi nozīmē tuvāku spektra saderību. Iespējams nodefinēt maksimālo pieļaujamo leņķisko vērtību, lai pikselis tiktu klasificēts.

Izmantots veģetācijas stresa klasificēšanai. (I. Reusen, L. Bertels, W. Debruyne, B. Deronde, D. Fransaeer, S. Sterckx Species Identification and Stress Detection of Heavy-Metal Contaminated Trees)

Precizitāte atsevišķos pētījumos uz skujkoku tīraudzēm – ap 90% pēc kļūdu matricas novērtējuma principiem. (Å. Persson a, J. Holmgren b, U. Söderman a, and H. Olsson b TREE SPECIES CLASSIFICATION OF INDIVIDUAL TREES IN SWEDEN BY COMBINING HIGH RESOLUTION LASER DATA WITH HIGH RESOLUTION NEARINFRARED DIGITAL IMAGES)

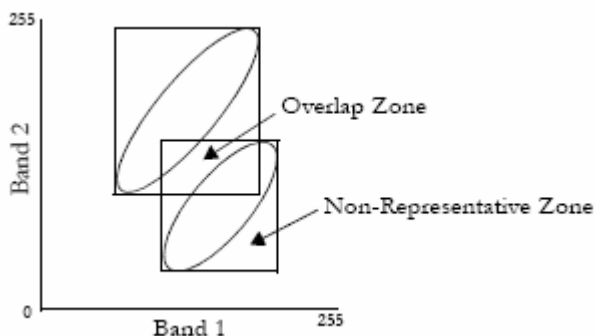
*Binārās kodēšanas klasifikators ([Binary Encoding Classification](#)).*

Binārās kodēšanas klasifikators sadala klasificējamo attēlu atbilstoši nepieciešamajam spektra pierakstam (spektra bibliotēkai) ar vērtībām 0 un 1, atbilstoši tam vai spektra pieraksts attēlā katra atsevišķā spektra joslā ir zem vai virs vidējās nepieciešamās spektra vērtības. Pikseli ar vislielāko sakrišanas gadījumu skaitu visās joslās, tiek klasificēti atbilstoši nepieciešamajam spektra pierakstam. Šeit ir iespējama arī vērtību sliekšņa definīcija, kas var atstāt daļu pikseļu neklasificētus.

*Paralēlskaldņa klasifikators ([Parallelepiped Classification](#)).*

Katras kategorijas apmācības kopas vērtību diapazons var tikt definēts ar lielākajām un mazākajām vērtībām katrā joslā un diagrammā parādās kā četrstūra laukums. Nezināms pikselis tiek klasificēts, balstoties uz kategorijas diapazonu, kurā tas atrodas, vai arī kā nezināms, ja tas atrodas ārpus visiem reģioniem.

Paralēlskaldņa klasifikators tiek realizēts ar mazāka laukuma piemērošanu tiem pikseliem, kuru vērtības ir līdzīgākas, bet lielāku - kategorijām, kas ir dažādas. Tomēr grūtības rodas, kad kategoriju diapazoni daļēji sakrīt. Nezināma pikseļa pazīmes laukos, kas pārklājas, var tikt klasificētas kā nezināmas vai arī ievietots vienā (vai abās) klasēs, kuras pārklājas. Daļēja sakrišana vērojama diezgan bieži, jo kategoriju sadalījums pie stipras korelācijas nevar tikt aprakstīts ar taisnstūrainiem lēmumu reģioniem. Korelācija ir spektrālo vērtību tendence variēties līdzīgi divās joslās, kas rezultējas iegarenās, slīpās novērojumu kopās, kas parādās diagrammā.

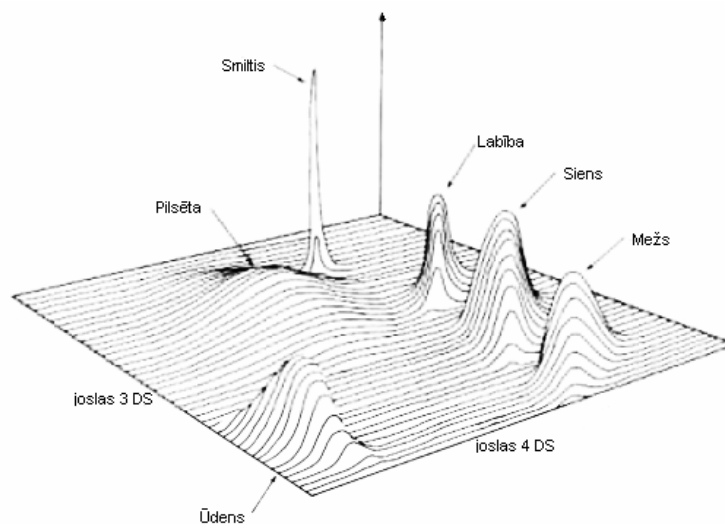


3.10. att. Paralelskaldņa klasifikācijas shēma

Korelācijas izraisītās problēmas var tikt risinātas, atsevišķus taisnstūrus modificējot. Jaunās kontūras apraksta iegarēno izplatību daudz precīzāk.

*Gausa maksimuma varbūtības klasifikators ([Maximum Likelihood Classification](#)).*

Tiek pieņemts, ka kopa, kas veido kategoriju, ir sadalīta atbilstoši normālam Gausa sadalījumam. Saskaņā ar šo pieņēmumu sadalījums var tikt pilnīgi aprakstīts ar vidējo vektoru un korelācijas matricu. Ja šie parametri ir doti, mēs varam aprēķināt statistisko varbūtību, ka dotā pikseļa vērtība pieder konkrētai klasei, kas iezīmētas trīsdimensionālā grafikā.



3.11. att. Gausa maksimumu varbūtību klasifikācija

Vertikālā ass ir saistīta ar varbūtību, ka pikseļa vērtība atrodas kādā no šīm klasēm. Virsmas tiek sauktas par varbūtības blīvuma funkcijām, un katrai spektrālajai kategorijai ir viena šāda funkcija. Varbūtības blīvuma funkcijas tiek izmantotas, lai klasificētu neidentificētu pikseli, aprēķinot katra pikseļa vērtības varbūtību piederēt katrai kategorijai. Pēc varbūtības noteikšanas pikselis tiks ievietots vispiemērotākajā klasē (vislielākā varbūtības vērtība) vai arī kā nezināms, ja varbūtību vērtības ir zem sliekšņa, ko noteicis analītiķis.

Beiesa klasifikators, kas ir Gausa maksimālās varbūtības klasifikatora paveids, varbūtības aprēķināšanai izmanto divus svāra faktorus. Sākumā analītiķis definē katras klases sagaidāmo varbūtību dotajā ainā. Pēc tam katrai klasei tiek piemērots svāra koeficients, kas saistīts ar nepareizu klasifikāciju. Kopā šie faktori minimizē nepareizas klasifikācijas iespējamību, radot teorētiski optimālu klasifikāciju. Praksē pārsvarā maksimuma varbūtības klasifikācija tiek veikta, pieņemot vienādu sastopamības un nepareizas klasifikācijas vērtību visām klasēm. Ja eksistē piemēroti dati šo faktoru noteikšanai, Beiesa metodes pielietošana ir optimālāka.

Galvenais trūkums maksimālās varbūtības klasifikācijai ir liels aprēķinu skaits, kas nepieciešams, lai klasificētu katru pikseli. Tas ir sevišķi liels gadījumos, kad ir liels daudzums spektrālo kanālu vai klašu, kas jāizdala. Šādos gadījumos maksimālās varbūtības klasifikators ir daudz lēnāks skaitļošanā nekā iepriekšējās tehnikas.

Pētījumu, attiecībā uz koku sugām, precizitātes korelācija zema – ap 0,20.

(Markus Törmää, Juho Lummea, Ulla Pyysaloa, Niina Patrikainenb, Kari Luojusb *TREE SPECIES CLASSIFICATION USING ERS SAR AND MODIS NDVI IMAGES*)

*Lēmumu koka klasifikatori.*

Lai vienkāršotu klasifikācijas aprēķinus un saglabātu klasifikācijas precizitāti, tiek izmantoti arī lēmumu koka klasifikatori. Šie klasifikatori tiek pielietoti, katrā solī atdalot vienkāršāk nodalāmo klasi. Citām klasēm kategorizēšanai var būt nepieciešamas tikai divas vai trīs joslas un piemērots tikai viens, piemēram, paralēlskalda klasifikators. Vairāku joslu izmantošana un, piemēram, maksimālās varbūtības klasifikators būs nepieciešams sarežģītām kategorijām.

*Nevadītā klasifikācija.*

Nevadītie klasifikatori apmācības datus par pamatu klasifikācijai neizmanto. Šo klasifikatoru kopa iekļauj algoritmus, kas pārbauda nezināmos pikselus un sakopo tos vairākās klasēs, balstoties uz dabiskām grupām jeb klasteriem.

Klases, kas izveidojas no nevadītās klasifikācijas, ir spektrālās klases. Tās ir balstītas vienīgi uz attēla vērtību dabisku grupēšanu, tādēļ spektrālās klases identitāte sākotnēji nebūs zināma. Lai

noteiktu spektrālo klašu identitāti un informatīvo vērtību, analītiķim jāsalīdzina klasificētie dati ar kādiem atsauces datiem, piemēram, parauglaukumu vai digitālās vektoru kartes vērtībām. Sekojoši, vadītajā pieejā vispirms tiek definētas informācijas kategorijas un tad pārbaudīta to spektrālā nodalāmība. Nevadītajā pieejā tiek noteiktas spektrāli atdalāmas klases un tad definēts to informatīvais noderīgums.

Ir vairāki algoritmi, kas var tikt izmantoti, lai noteiktu dabiskos spektrālos grupējumus. Viens no tiem patvaļīgi izvēlas klasteru centrus un izvieto tos mērījumu telpā. Katrs pikselis attēlā tad tiek piešķirts klasterim, kura patvaļīgais vidējais vektors ir tuvākais. Kad visi pikseļi šādā veidā ir klasificēti, katram klasterim tiek aprēķināti izlabotie vidējie vektori. Izlabotās vidējās vērtības tad tiek izmantotas par pamatu attēla datu pārklasificēšanai. Procedūra tiek turpināta, kamēr vairs nav nozīmīgu izmaiņu starp klašu vidējo vektoru atrašanās vietām. Kad šis rezultāts ir sasniegts, analītiķis nosaka zemes virsmas tipa identitāti katrai spektrālajai klasei.

Vēl viena pieeja nevadītajai klasifikācijai ir tādu algoritmu izmantošana, kas sevī ietver jūtīgumu uz attēla tekstūru jeb nelīdzenumu. Tekstūra parasti tiek definēta ar neatbilstību, kas novērota kustīgajā logā, kas tiek bīdīts pāri attēlam (piemēram, 3x3 pikseļi). Analītiķis nosaka neatbilstības sliekšni, zem kura logs tiek uzskatīts par viendabīgu un virs - par nevienmērīgu. Pirmā viendabīgā loga centrs kļūst par pirmā klastera centru, otrā – par otro, utt. Tiklīdz ir sasniegts analītiķa definētais maksimālais klasteru skaits (piemēram, 50), klasifikators nosaka attālumus starp viesiem iepriekš definētajiem klasteru centriem un divus tuvākos klasterus apvieno. Šādā veidā tiek turpināts, līdz viss attēls ir izanalizēts. Pēc tam klasteru centri tiek analizēti, lai, balstoties uz analītiķa noteiktu statistisko attālumu, noteiktu to atdalāmību. Tos klasterus, kuri atrodas tuvāk par šo attālumu, apvieno. Atlikušie tiek izmantoti, lai klasificētu attēlu ar kādu no klasifikācijas metodēm.

### *Isodata klasifikācija.*

Isodata nevadītā klasifikācija rēķina spektra klases vidējās vērtības sekojoši interaktīvi puduro atlikušo pikseļu vērtības, lietojot minimālās distances tehniku. Katra klasifikācijas atkārtošana pārrēķina vidējo vērtību un pārējos pikseļus atbilstoši jaunajai vidējai vērtībai. Iegūto klašu dzēšana, apvienošana, sadalīšana iespējama pielietojot klasifikācijas sliekšņu vērtības. Klasifikācija turpinās, līdz pikseļu skaits klasē mainās minimāli vai sasniegts definēts atkārtojumu skaits.

Metodes novērtējums spektra klašu izdalīšanā ap 50 – 80% pēc kļūdu matricas vispārējā novērtējuma principa.

(S. Bartalev, F. Achard, D. Erchov, V. Gond *The potential contribution of SPOT 4/VEGETATION data for mapping Siberian forest cover at continental scale*)

### *K-vidējā klasifikācija.*

Praktiski identiska Isodata nevadītajai klasifikācijai ar atšķirību klašu skaita precīzā definēšanā, kas nozīmē mazāku klašu izklādes iespēju.

### *Klasifikācijas precizitātes novērtēšana*

Nepieciešama pētījumos par attālās izpētes materiālu klasificēšanu, klasifikācijas veidu precizitātes novērtēšanu, izmantojot zemes virsmas atbalsta mērījumus.

### *Klasifikācijas kļūdu matrica*

Viena no plašāk pielietotajām metodēm, kā izteikt klasifikācijas precizitāti, ir klasifikācijas kļūdu matricas aprēķināšana. Kļūdu matricas uz kategoriju bāzes salīdzina attiecības starp zināmajiem atsauces datiem un atbilstošajiem automatiskās klasifikācijas rezultātiem. Šādas matricas ir kvadrāti, kur rindiņu un kolonnu skaits ir vienāds ar kategoriju skaitu, kurām jānosaka klasifikācijas precizitāte.

Klasifikācijas kļūdu matrica tiek veidota kā tabula, kurā pa vidus diagonāli tiek izvietoti tie pikseļi, kuri klasificēti pareizi.

Visi tabulas nediognālie elementi reprezentē izlaišanas un iekļaušanas kļūdas. Izlaišanas kļūdas atbilst nediognālajiem kolonnu elementiem. Iekļaušanas kļūdas atbilst nediognālo rindiņu elementiem.

Kopējā precizitāte tiek aprēķināta, izdalot kopējo pareizi klasificēto pikseļu skaitu ar kopējo skaitu atsauces pikseļu. Tāpat var tikt aprēķināta individuālu kategoriju precizitāte, izdalot pareizi klasificēto pikseļu skaitu katrā kategorijā ar kopējo skaitu atbilstošajā rindā vai kolonnā.

### *Kļūdu matricas novērtējums*

Bez jau pieminētās procentu novērtējuma, kļūdu matricas novērtēšanai izmanto tā saukto Kappa koeficientu.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (5)$$

kur  $r$  – rindiņu skaits kļūdu matricā

$x_{ii}$  – novērojumi rindiņā  $i$  un kolonnā  $i$  (uz galvenās diagonāles)

$x_{i+}$  – novērojumi rindiņā  $i$

$x_{+i}$  – novērojumi kolonnā  $i$

$N$  – kopējais novērojumu skaits matricā

### **Nevienlaicīgi iegūtu datu apvienošana**

Izmantojama viena vai vairāku sensoru dažādu laiku (sezonu) attālās izpētes ģeometriski salāgojamu materiālu vai atsevišķu to spektra joslu apvienošana, tā iegūstot precīzākas klasifikācijas iespējas uz iespējamās viena zemes pārklājuma klases (sugas) spektrālā starojuma atšķirību dažādos veģetācijas attīstības posmos.

### **Izmaiņu noteikšanas procedūras (Change detection)**

Viens no veidiem, kā noteikt izmaiņas starp diviem attēla iegūšanas datumiem, ir pielietot pēcklasifikācijas salīdzināšanu – pielieto noteiktu algoritmu, lai noteiktu tos pikseļus, kas ir izmainījušies.

Vēl viena pielietota metode izmaiņu noteikšanā ir starpības aprēķināšana – pikseļa vērtība no viena datuma tiek atņemta no pikseļa vērtības otrajā datumā. Starpība laukos bez izmaiņām būs ļoti maza, bet ar izmaiņām – liela (pozitīva vai negatīva).

## Multisensoru attēlu apvienošana

Tiek pielietota vairāku sensoru un vairāku satelītu attālās izpētes ģeometriski salāgojamu materiālu dažādu spektra joslu, visu attēlu apvienošanai vienā, tā iegūstot augstākas un precīzākas klasifikācijas iespējas.

## kNN tuvālā kaimiņa analīzes metode(k nearest neighbors)

Vadītās klasifikācijas veids, kas lieto minimālā attāluma vadīšanas klasifikatoru, lai sadalītu pikselus pēc piederības informācijas klasēs. Līdz ar pikseļa iedalījumu pie vidējās tuvākās spektra klases vērtības, klasifikators iedala pikseli pēc visvairāk atbilstošā spektra iedalījuma apmācības pikseļa ( $k$ ) vērtības nozīmes. Sakarā ar vienu no vienkāršākajiem klasifikācijas principiem, kNN tiek izmantots vairākās nacionālās meža inventarizācijas projektos (Somija, ASV) attālās izpētes materiālu klasificēšanā atbilstoši lauku mērījumu apmācības teritorijām.

## Veģētācijas indeksi

Viens no visplašāk izmantotajiem klasifikācijas veidiem attiecībā uz zeme virsmas apaugumu, jo reprezentē vērtību atšķirības spektra sarkanajā (RED) un tuvu infrasarkanajā joslā (NIR), kas atspoguļo apauguma biomasas daudzumu. Izmantots meža bojājumu fakta identificēšanai.

Veģētācijas indeksus (VI) iedala slīpuma un attāluma bāzētos.

Slīpuma bāzētie VI ir kombinācija starp redzamo sarkano un tuvu sarkanajam spektra joslām. Vērtība tiek plaši pielietota biomasas statusa un daudzuma izteikšanai.

Atsevišķi šo VI piemēri:

### *RATIO (Ratio Vegetation Index)*

$$RATIO = \frac{NIR}{RED} \quad (6)$$

### *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (7)$$

### *RVI (vienkāršais Ratio Vegetation Index)*

$$RATIO = \frac{RED}{NIR} \quad (8.)$$

### *NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index)*

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} \quad (9.)$$

### *TVI (Transformed Vegetation Index)*

$$TVI = \sqrt{\frac{NIR - RED}{NIR + RED}} + 0,5 \quad (10.)$$

### *CTVI (koriģēts Transformed Vegetation Index)*

$$TVI = \frac{NDVI + 0,5}{ABS(NDVI + 0,5)} * \sqrt{ABS(NDVI + 0,5)} \quad (11.)$$

**TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index)**

$$TTVI = \sqrt{ABS(NDVI + 0,5)} \quad (12.)$$

Attāluma bāzētie veģetācijas indeksi ir izveidoti, lai izslēgtu augsnes fonu un pasvītrotu tikai veģetācijas objektus.

Atsevišķi šo veģetācijas indeksu piemēri.

**DVI (Difference Vegetation Index)**

$$DVI = g * MSS7 - MSS5 \quad (13.)$$

kur

g – augsnes līnijas slīpums

MSS7 un MSS5 – attiecīgās LANDSAT MS joslas.

**AVI (The Ashburn Vegetation Index)**

$$AVI = 2,0 * MSS7 - MSS5 \quad (14.)$$

Lielākā problēma ir veģetācijas indeksu dažādā vērtība atkarībā attēla uzņemšanas laika, veģetācijas attīstības fāzes.

### Secinājumi.

Satelītu uzņēmumu izmantošana mežsaimniecībā veģetācijas, izmaiņu analīzei tiek izmantota galvenokārt informācijas par liela pārklājuma teritorijām iegūšanai. Pārsvārā datu analīzē tiek izmantota attālās izpētes materiālu vadītās un nevadītās klasifikācijas principi.

Kā galvenais ieguvums, izmantojot attālo izpēti no satelītiem, jāmin liela pārklājuma datu iegūšanas iespējas, kas gan ekonomiski attaisnojas, izmantojot vidējas precizitātes 10 – 30 m izšķirtspējas satelītu attēlus.

Pagaidām pētījumi koku sugu pārklājumu teritoriju identificēšanā ir sekmīgi attiecībā uz atsevišķu sugu, galvenokārt skuju koku – priežu un egļu, tīraudzēm. Sarežģīta Latvijas likumdošanā noteikto visu koku sugu atšifrēšana, kas objektīvi pamatotu maksimāli astoņu pēc pārstāvētās krājas lielāko koku sugu un šo sugu jauktu audžu noteikšanas iespēju testēšanu.

Lai arī satelīti dod liela pārklājuma attēlu informāciju, lielākā problēma ir datu iegūšanas operativitāte, kas nozīmē attēlu pasūtījumu, satelītu pārprogrammēšanu, konkrētas teritorijas atkārtotas pārlidošanas biežumu, laika apstākļu ietekmes varbūtību, kas nepozicionē attālo izpēti izmantojot satelītu informāciju kā operatīvu, bet kā vispārējas novērtēšanas instrumentu meža apsaimniekošanai. Lai sniegtu ticamu satelītu pielietojuma operativitātes vērtējumu, pētījumā iekļaujama meteoroloģisko apstākļu un satelītu pārlidojumu sakritības novērtēšana.

Pētījuma uzdevuma veikšanai izmantojami tikai augstākās precizitātes dati, ko limitē pētījuma uzdevuma rezultātu mēroga 1:10000 uzstādījums, kas nozīmē arī pagaidām augstas attālās izpētes materiālu izmaksas.

Satelītu attēlu izmantošana, samazinot iegūstamā rezultāta mēroga prasības, līdz ar to paverot iespēju izmantot vidējas precizitātes satelītu uzņēmumus, ir labākā metode izmantoto meža teritoriju - izcirtumu apsekošanai.

Izmantojamā programmatūra

Nodaļa pētījumā iekļauta, lai sniegtu vispārēju ieskatu attālās izpētes programmatūrā, tās pielietojuma iespējām attiecībā uz dažādu attēlu apstrādi, funkcionalitāti, ko varētu izmantot pasūtītājs, īstenojot pētījuma rezultātus – metodiku uzdevumu veikšanai.



## 4. SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

Pētot aerofoto datus, kas iegūta ar mazgabarīta lidaparātiem tika secināts:

- Attēlam jābūt kvalitatīvam – kontrastainam, tas nozīmē, ka atpazīstamo objektu atšķirībai no fona ir jābūt kvantitatīvi nozīmīgai. Tas nosaka papildus prasības digitālajām kamerām;
- Attēlam nepieciešams atskaites punkts, kas raksturotu tā atrašanos GIS koordinātēs. Šāda problēma īpaši aktuāla mazgabarīta lidaparātu gadījumā, kur attēla nosegtā teritorija ir salīdzinoši neliela un attēlu pārklājumu konstruēšanai jānodrošina augsta precizitāte;
- Atsevišķa koka atrašanās vietas skaita noteikšanas algoritmu var uzlabot iekļaujot precīzāku koku kolīzijas noteikšanas noteikumus.
- Krāsu norādīšana (uz koku galotnēm) ļauj atsevišķa koka atrašanās vietas noteikšanas algoritmam būt neatkarīgam no apgaismojuma, gadalaika un attēlā esošajiem traucējumiem;
- Attīstot koku identificēšanas metodiku, algoritmus var papildināt ar koku sugas noteikšanu iespējām atkarībā no vainaga formas un krāsas, kā risinājumu izmantojot mākslīgos neironu tīklus;
- Attēli jāuzņem ar pietiekami lielu intensitāti (attēlu pārklājumu), jo koku identificēšanai derīga ir tikai perpendikulāri fotografēto koku daļa. Attēla malās esošā informācija ir leņķiski nobīdīta pa X un Y asīm, tāpēc fotografēšanas atkārtojumu intensitātei jābūt saistītai ar lidojuma augstuma un ātruma sakarību. Turpmākos pētījumos jāizstrādā bezpilota lidaparātu fotogrammetrijas tehnoloģija.

Pētot LiDAR datus un to lietošanas variantus pēc šī projekta realizācijas ir šādi:

- Projektā izmantoti LIDAR dati, kur punktu skaits uz  $m^2$  ir nepietiekams, vidēji 0.5 punkti/ $m^2$  ļ, jo starp skanera datu masīviem ir ievērojami pārtraukumi. Nepieciešams iegūt datus ar daudz lielāku „blīvumu”, kas pilnībā pārklāj pētāmo teritoriju. To iespējams panākt ar zemāku lidojuma augstumu un datu ievākšanu no vairākiem virzieniem;
- Nepieciešams ieviest vienotu koordināšu pieraskrtīšanas metodiku gan aerofoto, gan LIDAR datiem;
- Jānovērtē LIDAR datus esošās kļūdas un „mirāžas” rašanās varbūtība, kad staras atstrojotas no viena objekta uz nākamo un tikai tad nonāk uztvērēj ierīcē;
- Rezultātu novērtēšanai nepieciešama ticama un precīza GIS informācija un precīzi taksācijas dati.
- Nepieciešami turpmāki pētījumi par vainaga formas un koku augstuma sakarībām dažādām sugām;
- Datu aproksimēšanai var tikt lietotas dažādas matemātiskās metodes – spainu interpolācija, furje transformācija un spektrālā analīze.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. [Elektroniskais resurss] : [Electromagnetic radiation and its interaction with matter]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.es.ucsc.edu/~hyperwww/chevron/whatisrs2.html>. – Resurss aprakstīts 22.02.2007.
2. Fizikas praktikums / L. Jansons, A. Zambrāns, A. Badūns u.c.; Red. A. Līcis. – Rīga: Izdevniecība „Zvaigzne”, 1971. – 480 lpp.
3. [Elektroniskais resurss] : [TECHNICAL AND HISTORICAL PERSPECTIVES OF REMOTE SENSING]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2/1.html#I-1>. – Resurss aprakstīts 22.02.2007.
4. [Elektroniskais resurss] : [Remote Sensing and Lasers]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Remote\\_Sensing.html](http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Remote_Sensing.html). – Resurss aprakstīts 22.02.2007.
5. [Elektroniskais resurss] : [Remote Sensing]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing). – Resurss aprakstīts 22.02.2007.
6. Campbell J. Introduction to Remote Sensing. - New York: The Guilford press, 1987. – 311 lpp.
7. [Elektroniskais resurss] : [Globālās satelītu navigācijas sistēmas un tālīzpētes tehnoloģijas]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.gis.lv/pdf/lekcija\\_08\\_gps\\_un\\_satelitatteli.pdf](http://www.gis.lv/pdf/lekcija_08_gps_un_satelitatteli.pdf). – Resurss aprakstīts 26.02.2007.
8. [Elektroniskais resurss] : [Active vs Pasive remote sensing]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://landsat.usgs.gov/resources/remote\\_sensing/images/Passive\\_Active\\_RS.jpg](http://landsat.usgs.gov/resources/remote_sensing/images/Passive_Active_RS.jpg). – Resurss aprakstīts 26.02.2007.
9. [Elektroniskais resurss] : [Google Earth]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://earth.google.com>. – Resurss aprakstīts 26.02.2007.
10. [Elektroniskais resurss] : [Landsat]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/teacherkit/images/landsat7sat.gif>. – Resurss aprakstīts 02.03.2007.
11. [Elektroniskais resurss] : [Landsat 7: Science Data Users Handbook]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_toc.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html). – Resurss aprakstīts 03.03.2007.
12. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR Tutorial]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle\\_tutorial.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle_tutorial.html). – Resurss aprakstīts 03.03.2007.
13. [Elektroniskais resurss] : [Quickbird]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.era.ie/New%20Images/quickbird4\\_full.jpg](http://www.era.ie/New%20Images/quickbird4_full.jpg). – Resurss aprakstīts 04.03.2007.
14. [Elektroniskais resurss] : [Airbone reconnaissance sub – domain annex for the C4ISR domain]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.fas.org/irp/doddir/dod/ara.htm#Heading2>. – Resurss aprakstīts 07.03.2007.
15. [Elektroniskais resurss] : [SENSOR PLATFORM INTERFACE]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.fas.org/irp/agency/daro/jtaannex/anxch2.html>. – Resurss aprakstīts 07.03.2007.
16. [Elektroniskais resurss] : [Principles of RADAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote\\_sensing/radar.gif](http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar.gif). – Resurss aprakstīts 09.03.2007.
17. [Elektroniskais resurss] : [Polarizēta gaisma]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.fizika.lv/3.4>. – Resurss aprakstīts 11.03.2007.
18. [Elektroniskais resurss] : [More on LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle\\_tutorial\\_morelidar.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle_tutorial_morelidar.html). – Resurss aprakstīts 11.03.2007.
19. [Elektroniskais resurss] : [What is Coherent Lidar]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle\\_tutorial\\_clr.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle_tutorial_clr.html). – Resurss aprakstīts 11.03.2007.

20. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/LIDAR>. Resurss aprakstīts 12.03.2007.
21. [Elektroniskais resurss] : [What is LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.lidar.com>. – Resurss aprakstīts 12.03.2007.
22. [Elektroniskais resurss] : [LASER]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>. Resurss aprakstīts 16.03.2007.
23. Burtch R. LIDAR principles and applications // Ferris State University; Surveying Engineering Department – 2002. – 16 lpp.
24. [Elektroniskais resurss] : [How LIDAR Works]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.woolpert.com/asp/articles/LIDARandPhotogram\\_metric.asp](http://www.woolpert.com/asp/articles/LIDARandPhotogram_metric.asp). – Resurss aprakstīts 12.03.2007.
25. [Elektroniskais resurss] : [How Does LIDAR work]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar\\_technology.htm](http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_technology.htm). – Resurss aprakstīts 14.03.2007.
26. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.aerometric.com/lidar.htm>. – Resurss aprakstīts 14.03.2007.
27. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR theory]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.raymetrics.gr/lidarSystemsTheo.htm>. Resurss aprakstīts 14.03.2007.
28. [Elektroniskais resurss] : [Differential Absorption Lidar (DIAL) concept]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://asd-www.larc.nasa.gov/lidar/concept.html>. Resurss aprakstīts 15.03.2007.
29. [Elektroniskais resurss] : [Frequently Asked Questions]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.michiganaero.com/business\\_units/lidar/lidar\\_shtml](http://www.michiganaero.com/business_units/lidar/lidar_shtml). – Resurss aprakstīts 19.03.2007.
30. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR - Light Detecting and Ranging]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.coherent.com/Applications/index.cfm?fuseaction=Forms.Page&PageID=104>. Resurss aprakstīts 19.03.2007.
31. [Elektroniskais resurss] : [How to interpret the Doppler lidar]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.etl.noaa.gov/et2/projects/vtmx/vtmx\\_interp.html](http://www.etl.noaa.gov/et2/projects/vtmx/vtmx_interp.html). – Resurss aprakstīts 19.03.2007.
32. [Elektroniskais resurss] : [Laser Radar Finding More Uses]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.livescience.com/technology/lidar\\_imaging\\_041112.html](http://www.livescience.com/technology/lidar_imaging_041112.html). Resurss aprakstīts 24.03.2007.
33. [Elektroniskais resurss] : [AeroMap Technology Systems]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.aeromapss.com/lidar.htm>. Resurss aprakstīts 24.03.2007.
34. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR Overview]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar\\_technology.htm](http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_technology.htm). – Resurss aprakstīts 24.03.2007.
35. [Elektroniskais resurss] : [Three-Dimensional Analysis of Forest Structure and Terrain Using LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://larsees.geog.queensu.ca/lidar/html/project/desc.html>. Resurss aprakstīts 24.03.2007.
36. H.E. Andersen., The use of high resolution remotely sensed data in estimating crown fire behavior variables. – Alaska: Anchorage press, 2006. – 117 lpp.
37. [Elektroniskais resurss] : [LIDAR]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.ceosr.gmu.edu/research/Lidar.htm>. – Resurss aprakstīts 28.03.2007.
38. [Elektroniskais resurss] : [Estimating forest area by type delineating stand characteristics with a new generation of high resolution aerial sensors]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [www.cfr.msstate.edu/forestry/SITL/lidar/lidar3.htm](http://www.cfr.msstate.edu/forestry/SITL/lidar/lidar3.htm). – Resurss aprakstīts 28.03.2007.
39. B. Lippke. A better forest inventory approach for assessing forest structure, supply and uses. – Washington: Washington forestry cooperative, 2006. – 22 lpp.
40. I. Fujisaki. LIDAR based forest visualization: Modeling forest stands and user studies // Mississippi State University. – 2005. – 3 lpp.
41. Fizika 12. klasei. V. Branka, J. Krūmiņš, P. Putniņš u.c.; Red. M. Ozoliņa. – Rīga: Izdevniecība „Zvaigzne”, 1993. – 349 lpp.

42. R. O. Dubayah. LIDAR remote sensing for forestry applications // University of Maryland. – 2003. – 9 lpp.
43. [Elektroniskais resurss] : [Tools and technology a whole new view]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.vmanswers.com/magazines.aspx?pid=879>. – Resurss aprakstīts 15.04.2007.
44. [Elektroniskais resurss] : [High resolution evolution data]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.nysgis.state.ny.us/coordinationprogram/workgroups/wg\\_7/related/elev\\_data\\_col.swf](http://www.nysgis.state.ny.us/coordinationprogram/workgroups/wg_7/related/elev_data_col.swf). – Resurss aprakstīts 15.04.2007.
45. [Elektroniskais resurss] : [Lidar based forest visualization: Modeling forest stands and user studies]. – Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: [http://www.cfr.msstate.edu/forestry/sitl/sitl\\_ikuko/vis\\_ikuko.htm](http://www.cfr.msstate.edu/forestry/sitl/sitl_ikuko/vis_ikuko.htm)– Resurss aprakstīts 15.04.2007.