

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOGRĀFIJAS NODAĻA

**MEŽSAIMNIECĪBĀ IZMANTOJAMO IEVALKU PLĀNOŠANAS
RISINĀJUMI
BAKALĀURA DARBS**

Autors: Roberts Gailis

Stud.apl. rg15014

Darba vadītājs: doc., Dr.geogr.

Māris Nartišs

RĪGA 2018

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā veikts pētījums par to, kā, izmantojot tālzipētes materiālus, galvenokārt LiDAR datus, plānot mežsaimniecībā izmantojamo ievalku ierīkošanas vietas. Pētījumam tika izmantotas skujkoku mežaudzes, kuras atrodas Kokneses, Pļaviņu un Skrīveru novados. Darba teorētiskajā daļā apskatīta un veikta literatūras analīze par mežu meliorāciju un nosusināšanu Latvijā un citur pasaulē, informācija par LiDAR datiem un to dažādajām apstrādes metodēm. Darba pamatā izmantoti Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” izsniegtie LiDAR dati un informācija par mežaudzēm, kuras pētītas darbā. Darbā iegūtie rezultāti tika apstrādāti – *QGIS*, *GRASS GIS*, *ArcMap* un *Microsoft Excel* vidē. Rezultātā salīdzinātas divas dažādas metodes ievalku ierīkošanas vietu noteikšanai un salīdzinātas to ierīkošanas izmaksas. Secināts, ka, izmantojot tālzipētes materiālus, sekmīgi var izplānot ievalku ierīkošanas vietas.

Atslēgvārdi: LiDAR, digitālais reljefa modelis, ĢIS, ievalka, mežsaimniecība, Zemes tālzipēte

ANNOTATION

This Bachelor paper deals with planning of open ditches for forestry by using remote-sensing materials, especially LiDAR data. For the research there was used information about forests, which are located in Koknese, Plavinas and Skriversi counties. The theoretical part of the paper covers forest melioration and drainage in Latvia and other countries in the world, *LiDAR* data and its various processing methods. The work was based on the *LiDAR* data provided by the Latvian State Forestry Institute “Silava” and also data about forest areas which are used in research. All data were processed in *QGIS*, *GRASS GIS*, *ArcMap* and *Microsoft Excel* softwares. As a result, two different methods have been compared for the determination of the location of the open ditches, their costs. Analysis proved suitability of remote-sensing data for successful planning of open ditch locations.

Keywords: LiDAR, digital terrain model, GIS, open ditches, forestry, remote-sensing

SATURS

ANOTĀCIJA	2
ANNOTATION	3
IEVADS	5
1. PĒTĪJUMA TEORĒTISKĀ NOSTĀDNE UN LITERATŪRAS APSKATS	7
1.1. Klimata mainības ietekme uz mežu.....	7
1.2. Mežu nosusināšanas ietekme uz meža ekosistēmu.....	8
1.3. LiDAR dati.....	11
1.4. DEM un interpolācijas metodes	13
2. MATERIĀLI UN METODES	15
2.1. Faktiskais materiāls.....	15
2.2. Pētāmās teritorijas atrašanās vieta un mežaudžu atlase	15
2.3. Kamerālie pētījumi	16
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	23
3.1. Manuāla ievalku izzīmēšana	23
3.2. Automātiska ievalku izzīmēšana.....	31
3.3. Metožu salīdzinājums un izmaksu piemērs	35
3.4. Rezultātu ticamība un salīdzinājums ar citām praksēm.....	36
SECINĀJUMI	38
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	39
PATEICĪBAS	44
PIELIKUMS	45

IEVADS

Meži sedz 50,3 % Latvijas teritorijas (Latvijas meža dienests bez dat.), kā arī koksne un tās izstrādājumi 2017. gadā veidoja 17,6 % no Latvijas eksporta (Centrālās statistikas pārvalde 2017). Mežsaimniecība jau no seniem laikiem ir bijusi ļoti nozīmīga, arī šobrīd tā veido 6% no Latvijas iekšzemes kopprodukta (Zemkopības ministrija 2014). Tādēļ ir svarīgi, ka mežsaimniecības nozarē tiek veikti pētījumi par ilgtspējīgu un efektīvu meža resursu izmantošanu. Aizvien aktuālāki kļūst pētījumi, kas saistīti ar mežsaimniecības resursu saglabāšanu un uzlabošanu. Dažāda veida risinājumus meža resursu uzlabošanai un prognozēšanai iespējams apskatīt ĢIS vidē, veicot modelēšanu, analīzes, aprēķinus un pētot tālīzpētes materiālus.

Viens no efektīviem veidiem produktivitātes palielināšanā Latvijā un citur pasaulē ir mežu nosusināšana. Tādējādi uz vienu hektāru produktivitāte palielinās vidēji par 100 – 180 kubikmetriem (Indriksons s.a.). Latvijas teritorijā ir aptuveni 1,5 miljoni hektāru pārmitru un pārpurvotu mežu, no kuriem pašlaik meliorēta ir gandrīz puse - apmēram 700 tūkstoši hektāri (Indriksons s.a.).

Pēdējā laikā Latvijā populāra kļūst no skandināvu valstīm aizgūtā ievalku jeb kivešu ierīkošana, nevis lielo meliorācijas grāvju rakšana un meliorācijas sistēmu izveide. Ievalkas ir vaļēji atvērti grāvji ar maksimālo dziļumu līdz 0,5 m, ar laiku tiek sekmīgi pazemināts gruntsūdens līmenis un uzlaboti mežaudzes apstākļi (Piirainen et al. 2017).

Ievalku rakšanas nepieciešamību vislabāk novērot dabā, fiziski apsekojot meža teritorijas un konstatējot to, vai mežā vērojami pārmitri apstākļi un stāvošs virszemes ūdens. Kur tieši un kā rakt ievalkas, var pētīt izmantojot plašo ĢIS rīku pieejamību un piedāvājumu. Pārmitro mežaudžu ievalku izveides modelēšanu un plānošanu veic digitālajā reljefa modelī (DEM). Pamatojoties uz dažādiem kritērijiem un apvienojot, un analizējot dažāda veida kartogrāfiskos materiālus un LiDAR datus, ir iespējams plānot ievalku ierīkošanas vietas un rakšanas darbus.

Bakalaura darba mērķis: izpētīt, kā plānot mežsaimniecībā izmantojamo ievalku ierīkošanas vietas skujkoku audzēs.

Darba uzdevumi:

1. Veikt publicētās un nepublicētās literatūras apkopojumu par meža hidroloģiju, LiDAR datiem, mežu meliorāciju un ievalku veidošanu, ĢIS analīzes rīkiem un metodēm;
2. Aprakstīt nosacījumus, kuri jāievēro plānojot ievalku rakšanu;
3. Veikt LiDAR datu analīzi un reljefa modeļu izveidi;

4. Izveidot mežaudžu mitro vietu kartes;
5. Veikt manuālu ievalku izzīmēšanu mitro vietu kartēs;
6. Veikt automatizētu ievalku ierīkošanas vietu noteikšanu;
7. Salīdzināt manuāli izvēlētās ievalku ierīkošanas vietas ar automātiski izvēlētajām vietām;
8. Veikt iegūto rezultātu apkopošanu un secinājumu izdarīšanu.

Darba apjoms ir 47 lpp., tajā ietverti 49 attēli un divi pielikumi. Darbs sastāv no anotācijas latviešu valodā un angļu valodā, ievada, 4 nodaļām, secinājumiem, izmantotās literatūras avotu saraksta, pateicībām un pielikuma. Darba izstrādāšanai izmantoti 49 publicētie literatūras avoti, 1 npublicētās literatūras avots un 14 interneta avoti.

1. PĒTĪJUMA TEORĒTISKĀ NOSTĀDNE UN LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Klimata mainības ietekme uz mežu

Meži ir plaši un sen izplatīti, kā arī apsaimniekoti. Tie ir jutīgi pret klimata izmaiņām, kas savukārt ietekmē dažādas nozares un ekonomikas (Keenan 2015). Mežs ir ekosistēma, līdzīgi kā citas, tas sastāv no biocenozes un vides, kas to veido. Biocenoze ir dzīvo organismu kopa, bet biosistēmu noteicošākais ietekmējošais faktors ir vides apstākļu kopums. Tie savstarpēji mijiedarbojas un pakāpeniski mainās (Liepa et al. 1991).

Mežu platību izmantošanā ir ieinteresētas un iesaistītas vairākas tautsaimniecības nozares: mežsaimniecība, medniecība, kokrūpniecība, tūrisms u.c. Lai meža resursi tiktu nodrošināti, to atjaunošanā visvairāk ir iesaistīta nozare – mežsaimniecība (Donis 2010).

Globālā sasilšana ir kļuvusi par neapstrīdamu faktu (IPCC 2007), un globālās un reģionālās klimata izmaiņas ir radījušas bažas par nokrišņu un temperatūras ietekmi uz sauszemes ekosistēmu ūdens budžetiem (Knapp et al. 2001, Weltzin et al. 2003).

Meža pieauguma tempi kopš 20. gadsimta vidus ir palielinājušies. Daļu no šī pieauguma ir veicinājusi lauksaimniecības zemju transformācija meža zemēs, kā arī palielinātais CO₂ līmenis, kas rada oglekļa mēslošanas efektu, kā rezultātā palielinās koku diametri. Lielākā ietekme ir saistīta ar siltākiem klimata apstākļiem un ilgāku augšanas periodu. Prognozēts, ka skujkoku mežos būs vērojamas vislielākās izmaiņas (Hendrick, Black 2009; Chmielewski, Rötzer 2001).

Vidējais gada nokrišņu daudzums Latvijā pēdējos 50 gados ir nedaudz palielinājies, galvenokārt pieaugot nokrišņu daudzumam ziemā. Pavasara un vasaras periodā (kad palielinās koku augstums un caurmērs) nokrišņu daudzuma izmaiņas nav būtiskas, bet rudenī vērojama to samazināšanās (Kļaviņš 2008). Prognozēts, ka līdzīga tendence turpināsies, proti, nokrišņu apjoms ziemā un agri pavasarī palielināsies par 12-15%, rudenī - par 5-8%, taču vasaras mēnešos - tikai 0-2% apmērā (Christensen, J.H., Christensen, O.B. 2007). Temperatūras un klimata maiņas arī tiešā veidā ietekmē veģetācijas periodu un koku augšanu.

Klimata izmaiņu rezultātā prognozēta ūdens līmeņa celšanās Baltijas jūrā. Ceļoties ūdenim Baltijas jūrā, paaugstināsies arī gruntsūdens līmenis. Tas sekmēs arī ūdens līmeņa celšanos upēs, pavasara palu laikā palielināsies caurplūdums lielajās upēs (Indriksons., bez dat.). Nokrišņu daudzuma pieaugums ietekmē arī evaporāciju, transpirāciju kā arī augsnes ūdens saturu, kas savukārt ietekmē kokaugu funkciju (Wullschleger, Hanson 2005).

Gruntsūdens līmeņa paaugstināšanās radītu risku lauksaimniecībā un mežsaimniecībā izmantojamajām teritorijām. Teritorijās, kurās paredzēta intensīva lauksaimnieciskā darbība,

klūtu mazāk ražīgas vai arī piedzīvotu pilnīgu degradāciju. Lai to novērstu, nākotnē būs ļoti aktuāli veikt esošo nosusināšanas tīklu atjaunošanu un kopšanu, kā arī jaunu grāvju un ievalku ierīkošanu saimnieciskajās meža platībās, kur tās ir pārmitras, vai vietās, kur notiek pārpurvošanās (Indriksons S.a.).

1.2. Mežu nosusināšanas ietekme uz meža ekosistēmu

Pēdējos 100 gados hidrotehniskā meliorācija ir bijusi efektīvākais veids meža ražības un koksnes produktivitātes paaugstināšanai. Lielākā daļa pasaules mežu un mežu teritoriju aptuveni 4030 miljonu hektāru platībā atrodas kalnainās vietās, paugurainās ainavās, kur nav nepieciešams uzlabot ūdens noteci (Skaggs et al. 2016). Tomēr ir miljoniem hektāru slikti nosusinātu mežu zemju, kur pārāk mitri augsnes apstākļi ierobežo koku augšanu un piekļuvi meža izstrādei un citām mežkopības darbībām. Būtiski ir uzlabot vai mākslīgi izveidot drenāžas sistēmas, tas uzlabo meža produktivitāti šādās zemēs (Skaggs et al. 2016).

Galvenie nosacījumi mežsaimniecības zemju drenāžai ir klimats un topogrāfija, kā arī labi attīstīta mežsaimniecības nozare, kas ir ieguvusi pietiekamus materiālos līdzekļus vai subsīdijas, ko ieguldītu mazāk produktīvās zemēs pēc produktīvāko mežu izstrādes (Remm 2015).

Nosusināšanas rezultātā, jo īpaši kūdras augsnēs, ir konstatēts, ka tas izraisa īstermiņa kopējā organiskā oglekļa koncentrācijas palielināšanos (Moore 1987). Pazeminoties gruntsūdens līmenim, kopējais organiskais ogleklis netiek tik daudz izskalots. Tiek samazināts arī neorganiskā oglekļa daudzums un izšķīdušais organiskais slāpekļis (Humborg et al. 2015). Mežu nosusināšana un meliorācija ir palielinājusi koku ražību dabīgajos mežos un, pielietojot to kā mežkopības praksi, sekmējusi meža platību atjaunošanu un meža plantāciju palielināšanu. Uzlabota drenāža ir vajadzīga reģionos, kur nokrišņi pārsniedz iztvaikošanu, un vietās, kur dabiskā drenāža nav pietiekami laba, lai novadītu liekos virszemes ūdeņus. Meliorācija ir nepieciešama arī vietās, kur bieži satek plūdu radītais ūdens (Kozłowski 2002). Šādi apstākļi bieži rodas vietās, kur iztvaikošana ir zema un augsnes dabiskā drenētība ir slikti attīstīta (Skaggs et al. 2016).

Mežu meliorācijas galvenie mērķi ir panākt labāku un lielāku koksnes ražību un uzlabot augšanas apstākļus, nodrošināt piekļuvi mežaudzēm un radīt tajās stādīšanai un mežizstrādei piemērotus apstākļus, novadīt virszemes lieko ūdeni. Īpaši liela uzmanība ir jāpievērš kūdras augsnēm, kurās ūdens atrodas ļoti tuvu virsai (0,1 m) (Peltomaa 2007). Ūdens līmeņa samazināšana augsnē ļauj augu un koku saknēm izmantot barības vielas, kuras atrodas dziļāk

augšnes slāņos. Labāka ūdens drenāža arī veicina ūdens sniega kušanas ūdeņu aizplūšanu. Tas savukārt ļauj ātrāk atsalt un pamosties augšnei (Peltomaa 2007).

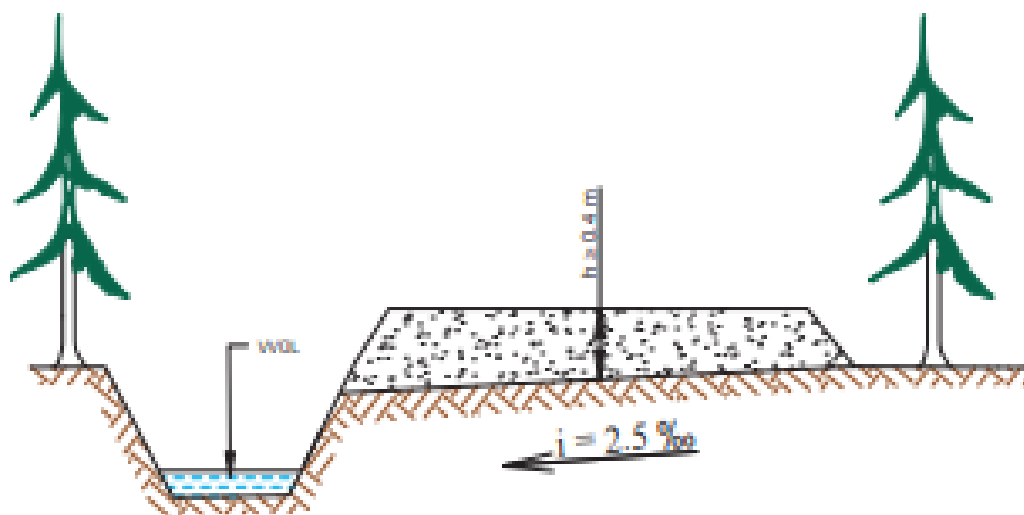
Līdzšinējo pētījumu laikā iegūtie rezultāti liecina, ka egļu mežā pēc nosusināšanas ražība vidēji palielinājusies četrkārt, priežu mežos – trīskārt, bērzu audzēs – divkārt, melnalkšņu mežos – pusotru reizi (Indriksons S.a.).

Hidroloģisko apstākļu izmaiņas noved arī pie dažādu mitrumu mīlošo augu sugu nomaiņas uz sugām, kurām nepieciešami sausāki augšanas apstākļi. No sporām ieaugās briofīti, vispirms kolonistu sugas un pēc tam meža zemsedzes sugas. Kad susinātā platība kļuvusi vēl sausāka, tad var sākt izplatīties arī sugas, kuras sējas no kauliņiem vai sēklām (Laine et al. 1995). Pēc nosusināšanas agrākās mitrās vietas kļūst apdzīvojamas dažādiem dzīvniekiem, piemēram, aļņiem un briežiem. Dzīvnieki ne tikai veicina jaunu sugu ienākšanu, bet arī bojā mazos kociņus, kurus tie izmanto par barību (Heikkilä, Hirkben 1993).

Koksnes krājas pieauguma palielināšanos pēc teritorijas nosusināšanas bieži saista ar augšanas laika pagarināšanos. Kā arī pēc meliorācijas tiek pagarināts laika posms, kurā var veikt meža izstrādi un veicināta dažādu darbu izpilde nebojājot augsni - neatstājot tajā dziļas rīsas (Skaggs et al. 2016). Tiek uzskatīts, ka pēc teritorijas nosusināšanas koku augšana pavasarī sākas agrāk, kā pārmitrās vietās. Šāds uzskats radies, salīdzinot pieauguma gaitu dažādās meža tipu grupās (Zālītis 2012). Piemēram, dumbrājā augstā mitruma dēļ ražība ir zema, neskatoties uz to, ka dumbrājā parasti ir potenciāli bagātas augsnes, bet, to nosusinot, izveidojas platlapju kūdrenis (Beķeris et al. 2013). Veidojas līdzīgi apstākļi kā damaksnī un mežaudzes ražība palielinās, jo tiek izmainīts mitruma režīms, un tas kļūst normāls. Piemēram, nosusinot audzi, dumbrājā, kurā aug bērzi, egles un melnalkšņi, ar krāju 100 m³ uz hektāra, tiek iegūta ražīga audze ar krāju 400 m³ uz hektāra (Indriksons S.a.).

Veicot grāvju ierīkošanu pirms 1950. gada, gandrīz visus rakšanas darbus veica ar rokām, netika izmantota traktortehnika (Paavilainen, Päivänen 1995). Pēc tam līdz sešdesmito gadu beigām tika izmantoti speciāli arkli, kurus velkot tika izveidoti grāvji. Vēlākos gados, tāpat kā mūsdienā, tika un tiek izmantoti dažāda lieluma hidrauliskie ekskavatori (Lohmus et al. 2015).

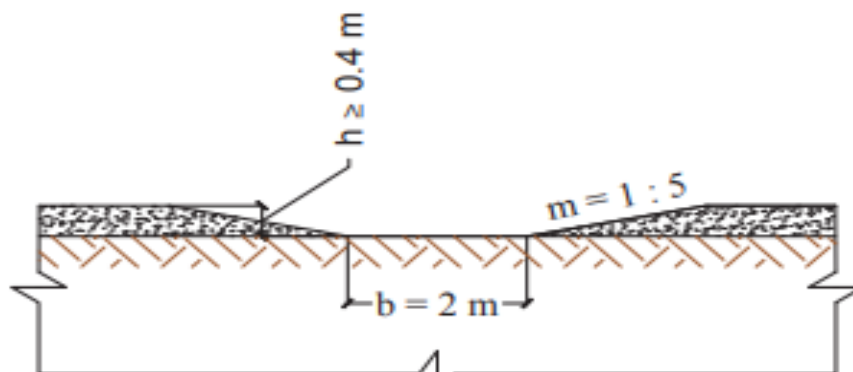
Atvērto grāvju rakšana ir bieži sastopama prakse. Tos veidot ir lētāk, nekā cauruļu drenāžas, taču atvērtajiem grāvjiem pastāv erozijas risks. Aizvien populārāka kļūst ievalku veidošana (skat. 1.1. attēlu), nevis lielo meliorācijas grāvju rakšana (Haapalehto 2011). Ievalku rakšana ir nelielu grāvīšu veidošana, lai pazeminātu gruntsūdens līmeni mežaudzēs (Piirainen et al. 2017). Tiek novadīts liekais virsūdens no mežaudzēm pirms vai pēc tam, kad tajās veikta mežizstrāde (Lohmus et al. 2015).



1.1 attēls. Virszemes noteces izbūves shēma ar ievalku (Latvijas valsts meži 2015)

Zviedrijā ievalkas tiek raktas kā vaļēji 0.3- 0.5 m dziļi grāvji (Piirainen et al. 2017). Latvijā, veidojot ievalkas, tiek lietota tāda pati metode. Valsts mežos dziļums nedrīkst pārsniegt 0,4 m (Latvijas valsts meži 2015). Ievalku platums var būt ļoti dažāds, līdz pat 2 m, malu nogāžu slīpuma koeficients 1:5 (skat. 1.2. attēlu). Somijā pēc ievalku izveides augsne, kura iegūta no ievalkām, dažreiz tiek izmantota pacilu veidošanai (Piirainen et al. 2017).

Pacilas ir mākslīgi veidoti mikropaaugstinājumi, apgāžot velēnu, vai arī veidojot uzbērumu. Tas ir arī viens no augsnes sagatavošanas veidiem, veicot meža atjaunošanu, uz tām tiek stādīti koki (Orlander et. al. 1998).



1.2. attēls Ievalkas šķērsgriezums paralēli grāvja asij (Latvijas valsts meži 2015)

Taču nepietiek vien ar ievalku vai grāvju izrakšanu, tie laika gaitā ir arī jāuztur un jāatjauno. Ņemot vērā, ka koku kultūra aug, gadu gaitā ūdens daudzums, kas tek pa ievalku, vai grāvi nelineārā veidā samazinās, jo pieaug transpirētā ūdens daudzums caur koku lapām. Pieaugot kokiem un samazinoties ūdens līmenim grāvjos un ievalkās, tie lēnām sāk aizaugt ar nezālēm un ūdens plūsmu bloķē laika gaitā gultnē uzkrātās koku lapas (Robinson et al. 2003).

1.3. LiDAR dati

LiDAR (*Light Detection And Ranging*) ir viena no daudzajām tālzipētes metodēm. Izmantojot LiDAR datus un, tos kombinējot ar citiem datiem, ir iespējams veidot precīzus, trīsdimensionālus zemes virsmas modeļus (Baltsavias 1999). Ar LiDAR tehnoloģijas palīdzību ir iespējams iegūt liela apjoma zemes virsmas topogrāfijas informāciju. (Kraus et al. 1998). Topogrāfiskās informācijas horizontālā un vertikālā koordinātu precizitāte aptuveni ir aptuveni 15 cm, bet tā var būt arī mazāka un lielāka no 1 m līdz 5 cm, atkarībā no skenētās teritorijas (Reutebuch et al. 2003).

LiDAR sistēma ir balstīta uz lāzera skenēšanu ar kuras palīdzību tiek mērīta distance, starp radara sensoru un mērķi uz, kuru tiek raidīts starojums. Distance tiek mērīta, pamatojoties uz pusi no pagājušā laika posma starp brīdi, kad tiek raidīts lāzera impulss un brīdi, kad tiek saņemts atstarojums no objekta (Baltsavias 1999).

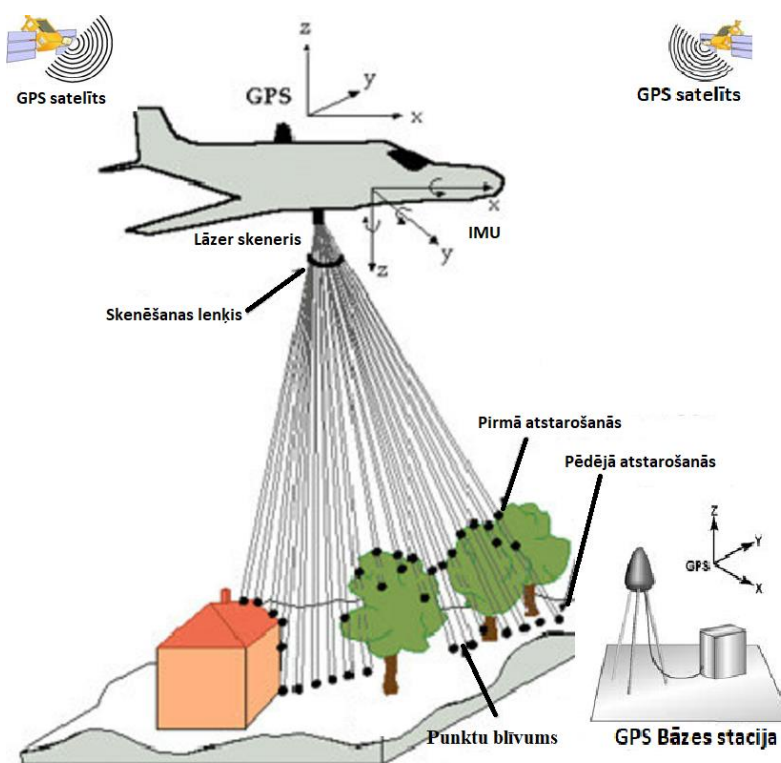
Katram punktam piemīt konkrētas telpiskās koordinātas X, Y, Z, kuras tiek aprēķinātas, izmantojot aviācijas GPS ievākto informāciju un inerciālās mērinstrumenta vienības (IMU) datus (Markots 2008).

LiDAR lāzera skenēšanas sistēmas instruments sastāv no lāzera, specializēta GPS uztvērēja un skenera (skat. 1.3. attēlu). LiDAR datu ievākšanu visbiežāk veic, izmantojot lidmašīnas un helikopterus, kuriem piestiprināts instruments. Pēdējos gados ļoti populāra ir kļuvusi bez pilotu lidaparātu, jeb dronu izmantošana meža monitoringā, kā arī lāzerskenēšanas datu iegūšanā (Tang, Shao 2015). LiDAR dati dalās divos veidos ir topogrāfiskie un batimetriskie dati (NOAA 2013).

Iegūstot topogrāfiskos LiDAR datus, tiek izmantota sistēma, kura izstaro tuvos infrasarkanos viļņus, to garumi svārstās robežās no 0,7 um līdz 1,4 um (John 2012). Iegūstot batimetriskos datus, tiek izmantota zaļā gaisma, kura iekļūst ūdenī, šādi tiek iegūti dati par jūras un upju gultņu augstumiem (NOAA 2013).

Izmantojot aerolāzerskenēšanu kā apsekojuma instrumentu un metodi, ir spēja vienlaikus detalizēti un ar augstu precizitāti novērtēt gan vertikālo, gan horizontālo veģētācijas struktūru un reljefa morfoloģiju (Wulder et al. 2012).

LiDAR datu pieejamības un kvalitātes uzlabošanās ir sekmējusi to, ka arvien vairāk ĢIS lietojumprogrammu izmanto LiDAR datus, parasti digitālos virsmas modeļus (DSM) vai saistītas lietojumprogrammas, piemēram, vides parādību monitoringa jomā (Thomas et al. 2000).



1.3. attēls Lidar datu ievākšanas princips (Nayegandhi, Klipp 2007; Dowman 2004 ar autora papildinājumiem)

Lai no LiDAR datiem iegūtu pārskatāmu un precīzu informāciju, ir jāveic iegūto datu ģeneralizācija un apstrāde, kā arī datu vizualizācija. Dati parasti tiek apstrādāti ĢIS (Arcview, Arcmap, QGIS, GRASS GIS) un citās programmās. Tiek izmantotas arī CAD programmas, piemēram, Microstation. Tiek izmantota arī programma Surfer, kura līdzīgi kā Microstation, spēj apstrādāt teksta formāta datus, vektora un rastra datus, kā arī tos vizualizēt (Wulder et al. 2012).

LiDAR dati parasti glabājas LAS formātā un, tos apstrādājot, pastāv iespēja ieviesties dažādām kļūdām. To iemesli varbūt ļoti dažādi. Biežākie kļūdu veidi: horizontālās un vertikālās precizitātes kļūdas, punkta atpazīšanas, reljefa slīpuma izraisītās kļūdas, aparatūras izraisītās, punktu biežuma nepietiekamības, interpolācijas un citas kļūdas (Gardina, 2008).

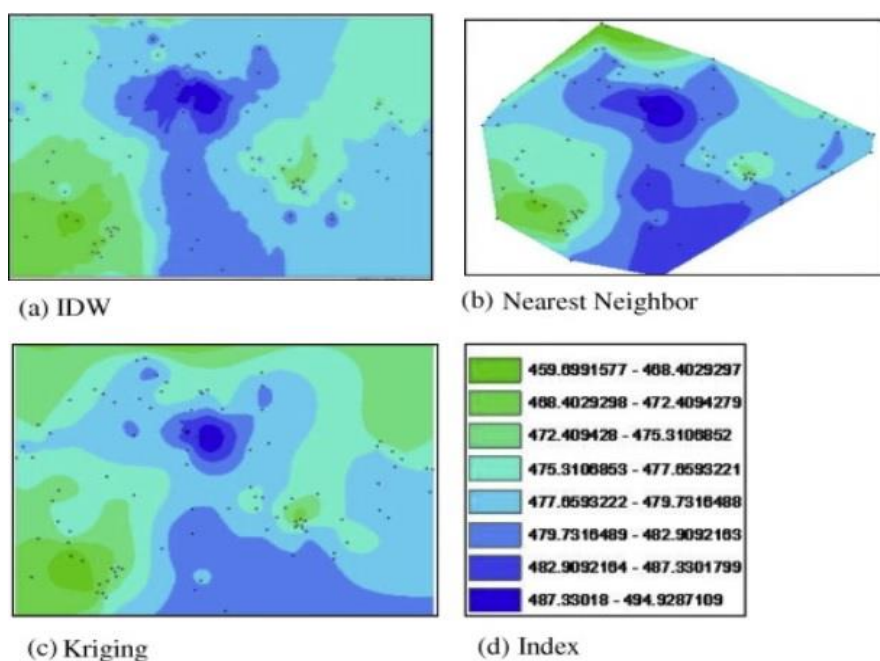
Aerofotogrammetrijas un lāzera skenēšanas datu produktiem, piemēram, digitālajiem reljefa modeļiem (DTM) un ortofoto attēliem, parasti tiek prasīts, lai tie būtu valsts koordinātu sistēmā. Jāņem vērā valsts ģeodēziskais atbalsta punktu tīkls un atbilstošā karšu projekcija (Legat 2006).

1.4. DEM un interpolācijas metodes

Digitālā reljefa modelis jeb DEM (*Digital elevation model*) ir taisnstūra šūnu masīvs jeb pikseļu masīvs, katram pikselim ir piesaistīta augstuma vērtība (Arun 2013). Tas reprezentē Zemes virsmas trīsdimensionālo informāciju. DEM var pārstāvēt arī citas formas, piemēram, triangulētu neregulāru tīklu (TIN) un kontūru kartes (Ma 2005). Veidojot digitālos virsmas modeļus, visbiežāk tiek izmantoti dažāda veida dati, piemēram, fotogrammetrijas dati, lauka dati, LiDAR dati, kontūrlīniju dati un citi (Taud, Parrot 1999).

Veidojot digitālo reljefa modeli, tiek veikta datu interpolācija no atsevišķiem mērījumiem, jo datu pārklājums nekad pilnībā nenosedz pētāmo teritoriju. Lai iegūtu datus par visu teritoriju, tiek izmantotas dažādas interpolācijas metodes, kuras pielietojot, ir iespējams iegūt dažādus rezultātus no vienādiem izejas datiem, tādēļ ir jāizvērtē, kura no metodēm ir vispiemērotākā (Arun 2013).

Interpolācijas paņēmieni ir balstīti uz telpiskās autokorelācijas principa, kas pieļauj, ka tuvāk punkti ir vairāk savstarpēji līdzīgāki salīdzinājumā ar tālākiem punktiem (Tobler, Kennedy 1985). Pastāv daudz interpolācijas metožu, kas parasti tiek klasificētas kā vietējās jeb lokālās un globālās pieejas. Vietējās metodes prognozē nezināma punkta vērtību, pamatojoties uz blakus mērījumu vērtībām. Populārākas vietējās metodes: inversā attālumu izvērtēšana (IDW), vietējais polinoms, tuvākais kaimiņš (NN) un radiālā pamatfunkcijas (RBF). Globālās interpolācijas metodes, piemēram, polinomu interpolācijas funkcijas, izmanto visus pieejamos izlases punktus, lai ģenerētu prognozes konkrētam punktam (Burrough, McDonnell 1998).



1.4.attēls. Interpolācijas metožu salīdzinājums (Arun 2013)

1.4. attēlā redzams triju interpolācijas metožu salīdzinājums – IDW, NN jeb tuvākā kaimiņa un *Kriging*. Redzams, ka vizuālās atšķirības ir lielas. Katrā no metodēm tomēr vērojamas kopējas pazīmes un katra no tām atspoguļo svarīgāko informāciju, proti, reljefa pacēlumu (a, b un c) attēla vidusdaļā.

Kriging ir ģeostatiskas interpolācijas metode, kurā tiek izmantota variogramma, kas ir atkarīga no datu telpiskā sadalījuma, nevis no faktiskajām vērtībām. Kriginga metode apskata datu telpiskā sadalījuma nozīmīgumu un interpolē pārējās vērtības, balstoties uz citu vērtību nozīmīgumu. Vislabāko interpolāciju nodrošina, ja ir pieejami labi variogrammas modeļi (Burrough, McDonnell 1998).

IDW pieeja ir vietēja determinējošā interpolācijas metode, kura aprēķina vērtību kā attāluma vidējo starp noteiktiem, savstarpēji tuviem punktiem (Burrough, McDonnell 1998). Interpolācijas algoritms uzskata, ka punktiem, kas atrodas tuvāk vaicājuma atrašanās vietai, būs lielāka ietekme nekā tālāk esošajiem (Arun 2013)

Tuvākās kaimiņu interpolācija atrod vistuvākos punktus vaicājuma punktam un nosaka to nozīmīgumu (Sibson 1981). Tā ir vietēja determinējošā metode, tiek garantēts, ka interpolētās augstuma vērtības būs izmantoto datu diapazonā. Tas nerada pīķus, bedrītes, grēdas vai ielejas, nerodas maldinoša datu reprezentācija. Interpolācija tiek pielāgota ievades datiem. Tas neprasa lietotāja ievadi un strādā tikpat labi gan regulāri, gan neregulāri sadalītiem datiem (Watson 1992).

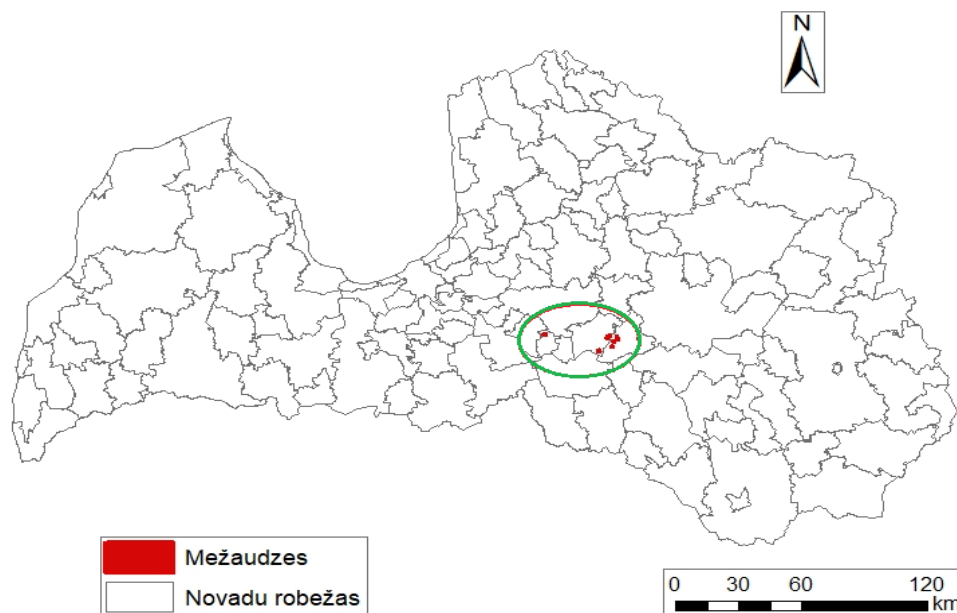
2. MATERIĀLI UN METODEDES

2.1. Faktiskais materiāls

Izstrādājot bakalaura darbu, tika apskatīti daudzi publicētie, zinātniskās literatūras avoti kā arī npublicētie un interneta avoti. Darbā izmantotā publicētā literatūra, kas apskata darba teorētiskās nostādnes, tika meklēta Latvijas Universitātes Dabas Zinātņu akadēmiskā centra bibliotēkā kā arī Latvijas Universitātes abonētajās datu bāzēs. Tika izmantoti arī ĢZZF WMS servera piedāvātās ortofotokartes (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013). LiDAR dati, kas tika izmantoti digitālā zemes virsmas modeļa izstrādē, tika iegūti no Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” (LVMI “Silava”). No LVMI “Silava” tika iegūti arī meža taksācijas dati un ESRI shapefile dati par pētījumā izmantotajām mežaudzēm. Telpiskie dati par Latvijas teritoriju, piemēram, ceļu konfigurācija, novadu un pagastu robežas tika iegūtas no GIS Latvija 10.2 datu bāzes, kas pieejama SIA Envirotech mājaslapā (Envirotech 2013).

2.2. Pētāmās teritorijas atrašanās vieta un mežaudžu atlase

Pētāmo audžu atlasē tika izmantots, LVMI “Silava” darbinieku iepriekš sagatavots vektordatu fails. Failā poligonu veidā glabājas informācija par 52 meža audzēm. Redzama informācija par audzes numuru, platību, dominējošajām sugām, meža tipu, krājas daudzumu, koku caurmēru un augstumu (skat. pielikumu nr. 1).



2.1 attēls. Audžu atrašanās vietas (izstrādājis autors izmantojot GIS Latvija 10.2. datus)

Tā kā pētījums ir fokusēts uz skujkoku audzēm, svarīgākais kritērijs atlasē bija tieši dominējošās koku sugas. No sākotnējām 51 audzēm tika atlasītas 35 audzes kurās dominē

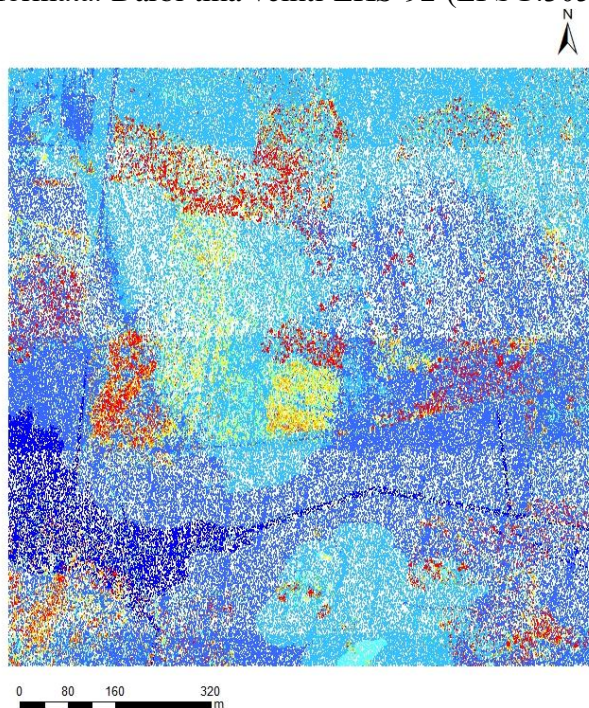
skujkoki. Divas no audzēm atrodas Skrīveru novadā, 9 audzes Kokneses novadā un 24 audzes Pļaviņu novadā (skat. 2.1. attēlu). Tālākā audžu atlase notika veidojot mitro vietu kartes un konstatējot mitrās vietas tajās.

2.3. Kamerālie pētījumi

Kamerālo pētījumu laikā tika izveidotas vairākas digitālās reljefa virsmas modeļu kartes teritorijām, kurās ietilpst mežaudzes. Kopumā tika izveidotas 10 pamata reljefa modeļu kartes (DEM), ar kurām tālāk tika veiktas dažāda veida apstrādes variācijas un analīzes. LiDAR datu apstrādei, DEM modeļu izveidei, mitro vietu karšu izveidei, datu vizualizācijai un analizēšanai tika izmantota ESRI ArcGIS ArcMap 10.4 datorprogramma (ESRI 2016). Pētījumā tika izmantota arī brīvpiekļuves datorprogramma GRASS GIS 7.4.0 (GRASS Development Team 2018), kurā tika veikta ūdens dabīgās plūsmas analīze, izmantojot MFD metodi. Iegūtās ūdens plūsmu kartes tika apstrādātas datorprogrammā QGIS 2.18.16 (QGIS Development Team 2016), tika veikta ievalku koriģēšana un karšu noformēšana.

Digitālo reljefa modeļu karšu izveide

DEM kartes tika veidotas, izmantojot ESRI ArcGIS ArcMap 10.4 datorprogrammu. Lai sāktu karšu izveidi, tika ieimportēti LVMI “Silava” sniegtie LiDAR dati, kuri glabājās .las formātā. Darbi tika veikti LKS-92 (EPSG:3059) koordinātu sistēmā. Izmantoto datu vertikālā



2.2. attēls. .lasd formāta faila attēlojums

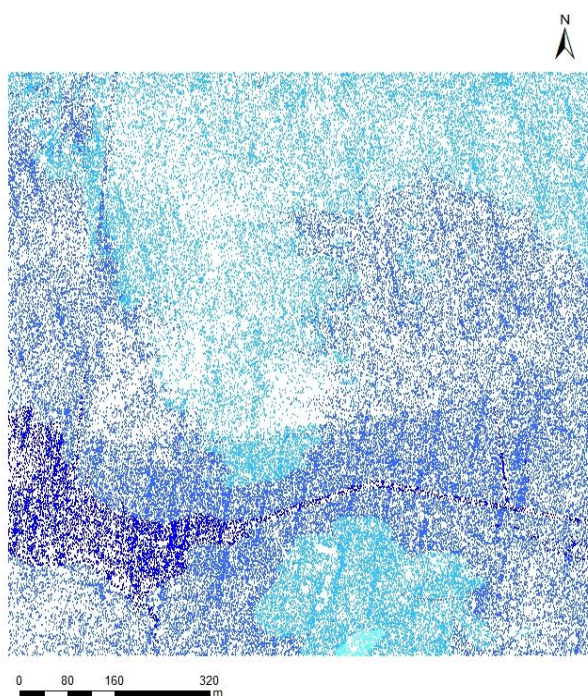
precizitāte ne sliktāka kā 12cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni) un horizontālā precizitāte ne sliktāka kā 36cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni). Pirms datu importēšanas ĢIS vidē tika izveidots .lasd formāta fails, kurā var ieimportēt .las failus. Lāzerskenēšanas dati tika importēti .lasd formāta failā, lai varētu redzēt informāciju par tiem, piemēram, punktu daudzumu un, lai ar tiem tālāk varētu strādāt.

Katram .lasd formāta failam ir redzams punktu skaita daudzums. Tie ir klasificēti, noteiktai punktu grupai, piešķirot skaitlisku vērtību, pēc kuras tos atšifrēt.

Kopumā ir septiņas klases: 0 – neklasificētie punkti, 2 – reljefa raksturojošie, 3 - zemā veģetācija līdz 30 cm, 4 – vidēji augstā veģetācija 30 – 180 cm, 5 – augstā veģetācija virs 180 cm, 6 – apbūve un 7 – traucējuma punkti (Yastikli, Cetin 2016). Pie traucējuma punktiem pieder, piemēram, ja aerolāzerskenēšanas laikā skenera raidītais stars trāpa putnam vai kādam citam lidojošam objektam.

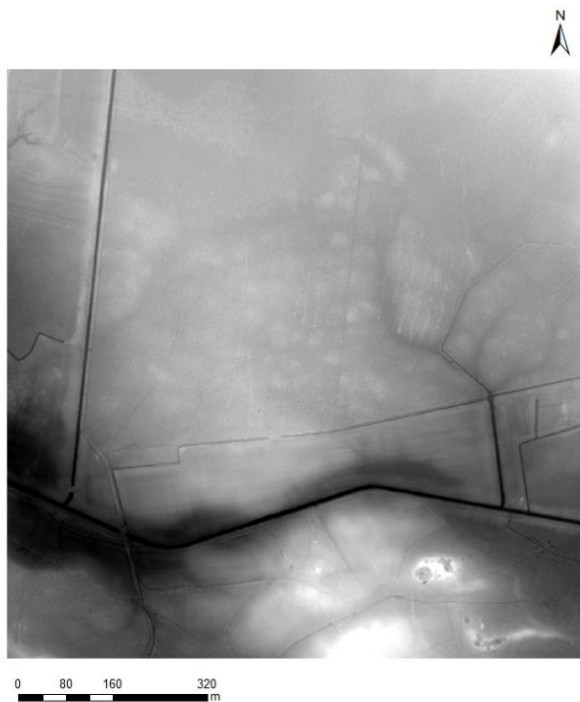
2.2. Attēlā redzams .lasd formāta faila vizuālais attēlojums. Redzamos krāsu toņus nosaka punktu augstums. Zemākie reljefa punkti attēlojas zilajos toņos, pieaugot punktu augstumam notiek krāsu maiņa uz sarkanajiem toņiem. Jo koši sarkanāka krāsa, jo punkts atrodas augstāk virs zemes, ar krāsām iespējams variēt daudzus un dažādus veidos, taču šis variants autoram šķita visuzskatāmākais.

Lai tiktu iegūts rastra fails no .lasd formāta faila, vispirms tiek izmantota “Make LAS Dataset

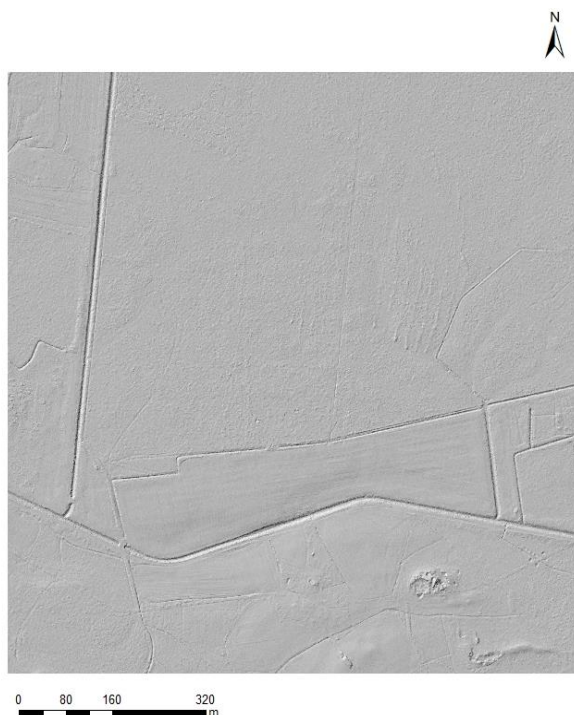


2.3. attēls. Atlasītie 2 klases punkti

Layer” funkcija, ar kuras palīdzību tiek atlasīti nepieciešamie LiDAR datu punkti. Funkcija atrodama ArcToolbox> DataManagement Tools> Layers and Table Views> Make LAS Dataset Layer. Tiek izvēlēts punktu kods -2, zem šī koda glabājās zemes virsas reljefa punkti, tādējādi netiek ņemti vērā citu kategoriju punkti (skat. 2.3. attēlu). Ja rastra failu izveidei tiktu izmantoti citi punkti, tad iegūtais nebūtu reljefa modelis, bet gan virsmas modelis, kurā būtu redzami arī koki un citi ar reljefu nesaistīti objekti. No faila, kur veikta punktu atlase, tālāk var veidot rastra failu.



2.4. attēls. Rastra karte IDW interpolācijas



2.5. attēls. Rastra karte pēc Hillshade funkcijas izpildes

nolasīt reljefu. Apskatot šo pašu vietu 2.5. attēlā pēc *Hillshade*, tad redzams, ka tie ir nelieli pauguri. Ar funkcijas palīdzību tiek mainīta relatīvā saules pozīcija, leņķis kādā krīt gaisma. 2.4. attēlā reljefa pazeminājumos redzama melna krāsa, kas neļauj pilnībā redzēt reljefu, bet pēc *Hillshade* funkcijas izpildes datus iespējams aplūkot un izvērtēt labāk, jo tie ir kļuvuši uztveramāki.

Rastra fails tiek veidots, izmantojot “LAS Dataset to Raster” funkciju, tā atrodama – ArcToolbox>Conversion Tools>To Raster>LAS Dataset to Raster. Tiek izmantots iepriekš izveidotais datu slānis, kurā atlasīti reljefa augstuma punkti. Veidojot rastra failu, tas tiek glabāts .GeoTIFF formātā. 2.3. attēlā redzams, ka reljefa punkti nenosedz visu teritoriju, ir redzami balti tukšumi. Lai novērstu nekorektu datu attēlojumu, tiek pielietota IDW interpolācijas metode. Interpolācijas metodi izvēlas zem “LAS Dataset to Raster” opcijas “*Binning*” un pie “*Sampling value*” opcijas tiek izvēlēta rastra izvades izšķirtspēja, ievadot attiecīgo skaitli, piemēram, 10, iegūtā izšķirtspēja būs 10x10 m. Veidojot kartes, tika izmantota 1x1 m liela izšķirtspēja. Jo mazāks skaitlis, jo lielāka izšķirtspēja, ilgāks datu apstrādes laiks un jauniegūtie rastra faili ir apjomīgāki. Darbā apstrādājot vienu LiDAR datu lapu ar izšķirtspēju 1x1 m, vidējais faila izmērs ir 65 megabaiti.

Lai rastra kartē attēlotais reljefs būtu pārskatāmāks un labāk vizuāli uztverams un saprotams, tiek pielietota nogāžu ēnojuma funkcija (“*Hillshade*”), kas atrodams – ArcToolbox>3D Analyst Tools>Raster Surface>Hillshade. 2.4. attēla labajā apakšējā stūrī redzama balta krāsa, kas īsti neļauj

Mitro vietu karšu izveide



2.6. attēls. Mitro vietu karte

lauksaimniecības zemju teritorijās. Jo sarkanāka krāsa, jo lielāks ir reljefa pacēlums un mazticamāks, ka šajā vietā ir pārmitri apstākļi.

Kritēriji ievalku izzīmēšanai

Ievalku plānošanas laikā tika ievēroti zemāk minētie kritēriji:

- Ievalkas jāplāno tā, lai tās tiktu novadītas uz tuvāko iespējamo novadgrāvi, tās nevar beigties patvaļīgi un tās nedrīkst rakt pāri ceļiem.
- Ar ievalkām savstarpēji drīkst savienot vienu vai vairākas noteiktās mitrās vietas. Piemēram, ja reljefa vai grāvju neesamības dēļ katru mitro vietu nevar tieši savienot ar novadgrāvi. Savstarpēji savienotās mitrās vietas arī ir jānovada uz novadgrāvi.
- Plānojot ievalkas, tās jāplāno tādās vietās, kur ir dabīgā notece, nedrīkst būt negatīvs vai 0 grādu slīpums. Tās nedrīkst rakt pret lieliem reljefa pacēlumiem, lai netiktu pārsniegts maksimālais atļautais dziļums kas ir 0,4 m;
- Ievalkas jāplāno tādās vietās, kur tās iespēju robežās var izveidot taisnas, lai nebūtu liela līkumainība. Tās jācenšas veidot tā, lai to garums būtu pēc iespējas mazāks, taču netiktu zaudēta to efektivitāte.
- Ievalku skaits, kurš nepieciešams mitrajai vietai, lai to nosusinātu ir atkarīgs no tā, kādā reljefā tā atrodas un cik liela tā ir. Aptuvenais skaits 0,5 ha lielai mitrajai vietai ir divas ievalkas.

Veidojot mitro vietu karti, par pamatu tiek lietots pēc *Hillshade* funkcijas izpildes iegūtais rastra fails. Veidojot mitro vietu karti, izmantota tika “*Fill*” funkcija – Arc Toolbox> Spatial Analyst Tools> Hydrology>Fill.

Pēc funkcijas izpildes tiek iegūta karte, kurā redzamas nosacītās mitrās vietas. 2.6. attēlā izmantota krāsu gradiācija – zilās krāsas toņi norāda mitrās vietas. Kā redzams, tad vistumšākais, zilās krāsas tonis ir vietās, kur ir novadgrāvji vai grāvji gar ceļiem. Gaiši zilos toņos attēlojas nedaudz mitras vietas gan meža, gan

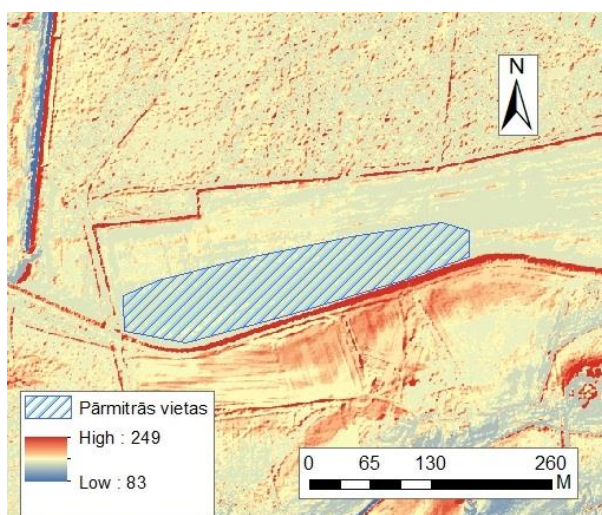
- Plānojot ievalkas pēc straumju plūsmu analīzes rezultātiem, izvēlētas tiek vietas, kurās ir lielākā dabiskā ūdens plūsma, bet, piemēram, ja labākas noteces vietai garums ir daudz lielāks, kā nedaudz sliktākas noteces ceļam, tad tiek izvēlēts īsākais ceļš.
- Ievalku skaits var mainīties atkarībā no tā, vai no mitrās vietas iziet viens vai vairāki ūdens akumulācijas kanāli, kurus izmantot kā ierīkošanas vietu.

Ievalku manuāla izzīmēšana

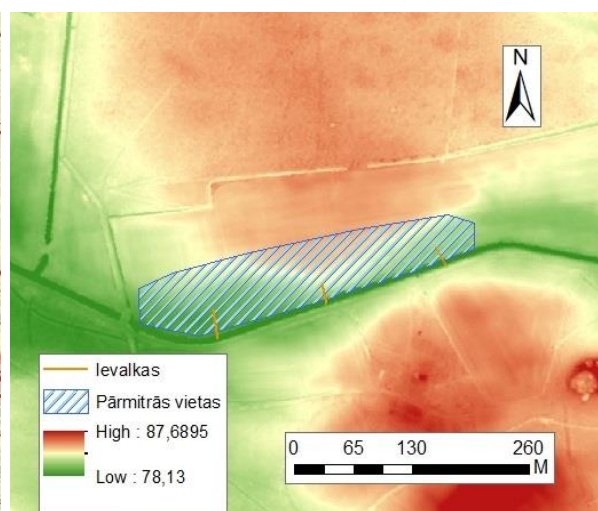
Manuāla ievalku izzīmēšana tika veikta ArcMap 10.4 programmā. Tika izveidoti jauni ESRI Shapefile formāta faili, LKS-92 koordinātu sistēmā, kuros saglabājās jaunizveidotā informācija par mitro vietu robežām un ievalku konfigurāciju.

Iepriekš sagatavotās mitro vietu kartēs (piemēram skat. 2.6. attēlu), kuras izveidotas visām 16 atlasītajām mežaudzēm, tiek veikta mitro vietu noteikšana un izzīmēšana. 2.7. attēla piemērā redzamas noteiktas un izzīmētas lielākās mitro vietu robežas.

Izmantojot reljefa karti, kura iegūta no LiDAR datiem un apvienojot to ar mitro vietu robežu karti, tiek analizēts reljefs un iespējamās ievalku ierīkošanas vietas. 2.7. attēlā redzama viena teorētiskā mitrā vieta. 2.8. attēlā redzams, ka reljefs vietā, kur izzīmēta mitrā vieta ir neizteikts, mitrās vietas Z daļā vērojama ļoti lēzenā nogāzē, kura vērsta D virzienā.



2.7. attēls. Mitro vietu karte



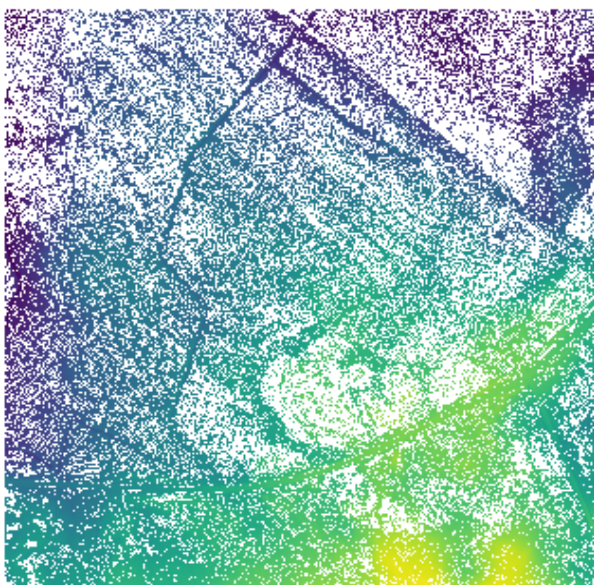
2.8. attēls. Reljefa un ievalku ierīkošana vietu karte

Straumju akumulācijas analīze un ievalku vietu automatizētā noteikšanas

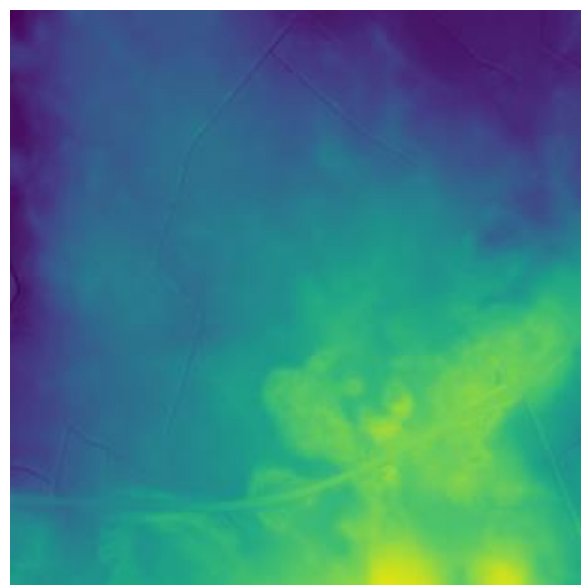
Veicot straumju akumulācijas analīzi, netika izmantoti iepriekš sagatavotie mežaudžu DEM modeļi, jo radās problēmas ar datu importēšanu GRASS GIS vidē. Tie tika veidoti no

jauna GRASS GIS vidē, izmantojot rīku *r.lin.lidar*. Visas kartes tika veidotas LKS-92 koordinātu sistēmā.

Importējot LiDAR datus, tika izmantoti 2. klases punkti un izšķirtspēja 1X1 m. Rezultātā tika iegūtas reljefa kartes, kurām bija vairākas vietas ar tukšumiem (*NULL šūnas*), jo veicot importēšanu, netika interpolēti dati un aizpildītas tukšās vietas, kur attiecīgās klases LiDAR punktu nav. Lai aizpildītu tukšumus, tika lietots rastra caurumu aizpildīšanas rīks *r.fillnulls* ar elastīgās virsmas splainu interpolācijas metodi (Mitasova, Mitas 1993), kas ir piemērota Latvijas reljefa modeļu caurumu aizpildīšanai (Nartišs 2013).



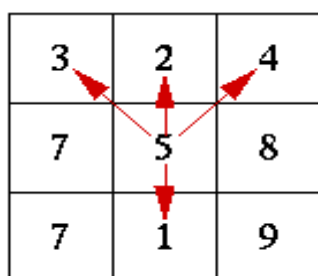
2.9. attēls. Lidar dati ar nulles pikseļu vērtībām



2.10. attēls. Dati pēc nulles pikseļu vērtību aizpildīšanas

Izveidotajam DEM modelim tika veikta straumju akumulācijas analīze ar *r.terraflow* (Matisova 2002) rīku. Ar analīzes palīdzību programma aprēķina un parāda dabiskās noteces kanālus un virzienus. Pēc šiem datiem var izvērtēt to, vai rakt ievalku vietā, kur ir dabiska notece vai daļēja notece.

Veicot analīzi, tika izmantota MFD (*multi flow direction*) metode. Izmantojot MFD



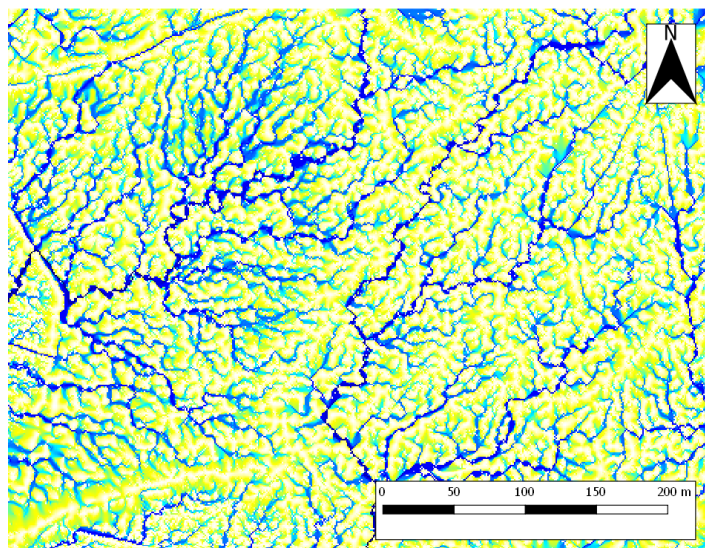
2.11. attēls. MFD darbības princips (Arge 2003)

metodi, programma katrai šūnai 3x3 lielā laukumā aprēķina un novada ūdens straumi uz šūnām ar mazāku vērtību (skat. 2.11. attēlu). Funkcija nespēj aprēķināt plūšanas virzienu, ja visām šūnām 3x3 laukumā ir vienādas vērtības (Arge 2003).

2.12. attēlā redzams rezultāts pēc analīzes veikšanas. Zilās krāsas intensitāte parāda to, cik caur rastra šūnu iespējams izplūst ūdens daudzumam. Jo tumšāks ir krāsas

tonis, jo caur šūnu ir iespējams izplūst lielākam ūdens daudzumam (Arge 2003). Apvienojot straumju dabisko plūsmu kartes ar iepriekš izveidotajiem mitro vietu robežu datumiem, tika veikta ievalku ierīkošanas vietu korekcija, par galvenajām ierīkošanas vietām izmantojot dabiskos ūdens noteces kanālus.

Izveidotās noteces kartes tika eksportētas un saglabātas GeoTIFF formātā ar izšķirtspēju 100 dpi (*Dots per inch*). Šāda vieda formāts glabā informāciju ne tikai par kartes vizuālo attēlojumu, bet arī par rastra kartes projekciju, koordinātu sistēmu, elipsoīdu, datumu un citu ģeogrāfisko informāciju (Ritter, Ruth 1997).



2.12. attēls. Dabiskās ūdens plūšanas straumes

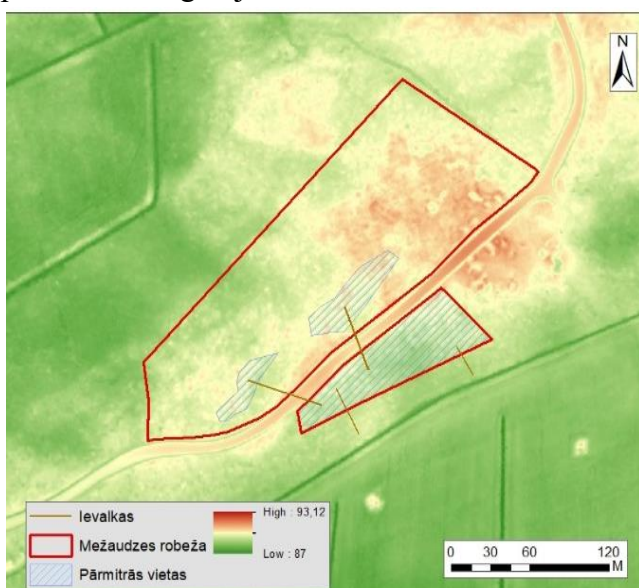
Tālāk GeoTIFF faili tika importēti QGIS 2.18.16. vidē un noformēti, tika pievienota kartes leģenda, mērogs, ziemeļu bulta. QGIS vidē tika veikta arī ievalku korekcija, kas tika balstīta uz ūdens straumju analīzes rezultātiem. Jaunās ievalku vietas tika izvēlētas vietās, kur no mitro vietu poligona izplūst dabiskā notece vai noteces kanāls.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Manuāla ievalku izzīmēšana

No 24 skujkoku audzēm, veicot datu apstrādi, pārmitras vietas tika konstatētas 15 audzēs.

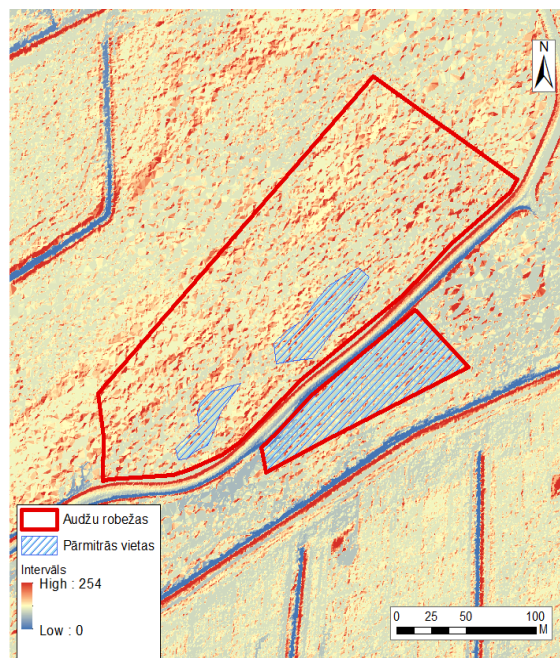
3.1. attēlā redzamas mitro vietu robežas audzēs ar numuriem – 503-331-18 un 503-331-16. Pēc meža taksācijas datiem audzēs aug 25 gadus vecas priedes ar vidējo augstumu 10 m un vidējo caurmēru 12 cm. Audžu kopējā platība 3,8 ha. Veidojot mitro vietu karti, tika izmantots LiDAR datu fails ar 7,43 miljoniem punktu, no kuriem 1,2 miljoni jeb 16% bija klasificēti kā reljefa punkti. Mitro vietu kopējā platība sastāda 0,79 ha. Abām audzēm pa vidu cauri iet ceļš, kuram abās pusēs atrodas grāvji uz kuriem novadīt ūdeni.



3.2. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzēm 503-331-18 un 503-331-16

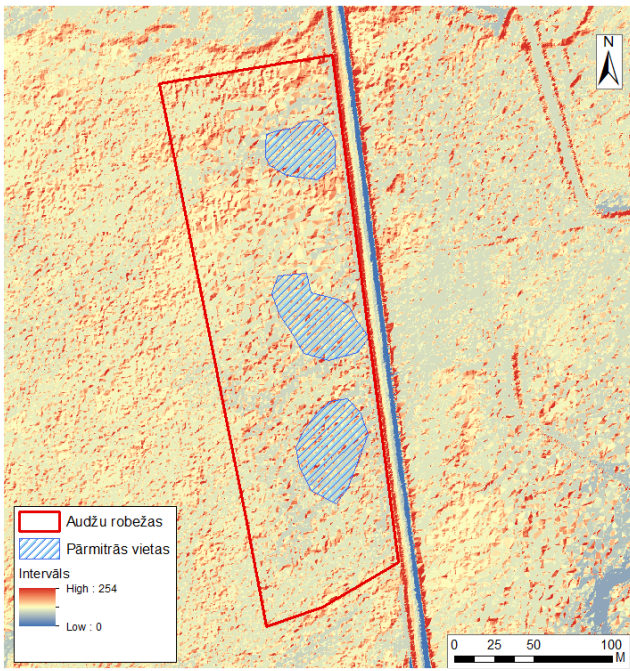
izzīmētais ievalku garums ir 174 m. Divas mazākās mitrās vietas novadītas tiktu uz ceļmalas grāvi, kas atrodas starp abām mežaudzēm.

Attēlā 3.3. redzama mežaudze ar numuru 503-317-7. taksācijas datus redzams, ka mežaudzi lielākoties veido 18 gadus vecas egles, kuras mistrojas ar 15 gadus veciem bērziem. Mežaudze ir 3,4 ha liela, koku vidējais augstums 6 m un caurmērs 7 cm. Mežaudzes mitro vietu

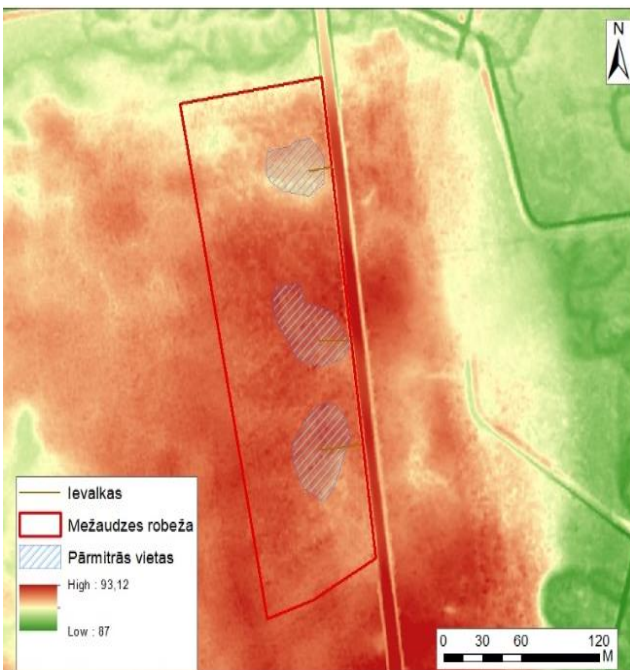


3.1. attēls Mitro vietu karte mežaudzēm 503-331-18 un 503-331-16

3.2. attēlā redzama karte, kurā attēlots reljefs un ievalku rakšanas vietas. Redzams, ka mitrās vietas atrodas nedaudz mainīgā reljefā, bez krasām augstuma atšķirībām tajā. Lai nosusinātu mitrās vietas, ir izvēlētas četras ievalku rakšanas vietas. Liekais virszemes ūdens tiktu novadīts uz ceļmalas grāvjiem. Kopējais



3.3. attēls Mitro vietu karte mežaudzei 503-317-7



3.4. attēls Ievalku ierīkošanas vieta mežaudzei 503-317-7

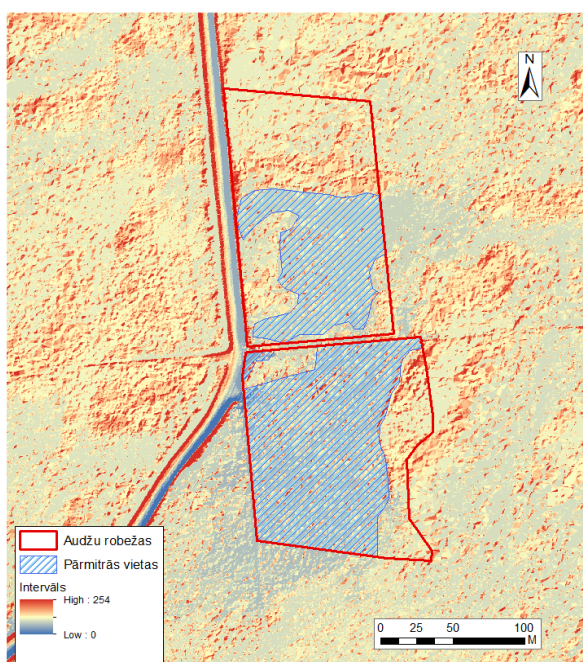
miljoni punkti jeb 26% no kopējā skaita. Apskatot otru audzi ar numuru 503-322-1 ar platību 1,7 ha, pēc taksācijas datiem tajā dominējošā koku suga ir 16 gadus vecas egles ar nelielu ošu

karte veidota no 1,5 miljoniem reljefa punktu, jeb 28,8 % no LiDAR datu kopas punktiem. Izzīmēto mitro vietu kopējā platība ir 0,56 ha jeb 16,5 % no visas mežaudzes teritorijas.

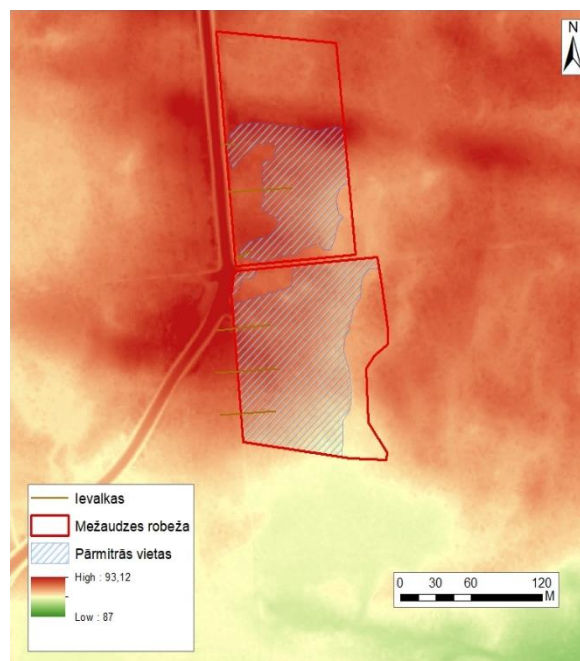
Sīkāk apskatot reljefu 3.4. attēlā, redzams, ka audze atrodas reljefa paaugstinājumā salīdzinot ar apkārtni. Izzīmētas trīs ievalkas, kuras novadītas uz ceļmalas grāvi, kas atrodas audzes malā. Garākā no tām atrodas D daļā un ir 32,5 m gara, īsākā savukārt ir Z daļā un ir 18,3 m gara, kopējais ievalku garums 75,6 m.

3.5. attēlā redzama mitro vietu karte divām mežaudzēm. Audzes numurs, kura atrodas vairāk uz ziemeļiem, ir 503-311-23. Šajā audzē aug 19 gadus vecas egles ar vidējo augstumu 6 metri un vidējo caurmēru 7 cm. Spriežot pēc mazajiem koku apmēriem un to vecumu, var secināt, ka mežaudzē ir nelabvēlīgi apstākļi. Tas arī atspoguļojas mitro vietu kartē, kur redzams, ka no audzes kopējās platības 1,8 ha, mitrā vieta aizņem 0,71 ha kas ir gandrīz 40 %. Karte veidota no LiDAR datu kopas, kura sastāv no divām LiDAR datu slokšņu daļām. Kopējais punktu skaits ir 10,43 miljoni, no kuriem kartes izveidē tika izmantoti 2,7

piemistrojumu. Vidējais koku augstums ir 3 m un caurmērs 5 cm. Izzīmējot mitrās vietas, tās aizņem gandrīz visu mežaudzi – 1,29 ha jeb nepilnus 76%.

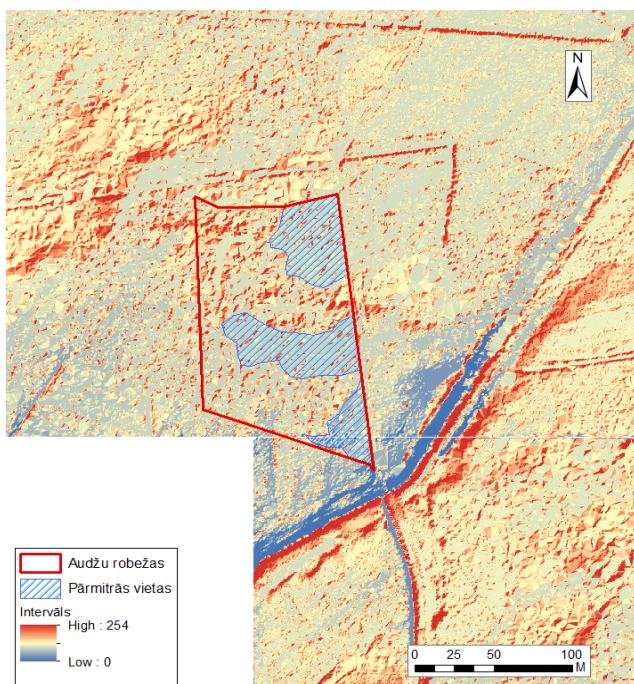


3.5. attēls Mitro vietu karte mežaudzēm 503-311-23 un 503-322-1



3.6. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzēm 503-311-23 un 503-322-1

3.6. attēlā redzams, ka audze 503-311-23 atrodas neizteiktā reljefā, ar nelielu pacēlumu audzes vidusdaļā. Otrai audze reljefs ir daudz izteiktāks, D daļā ir vērojams kritums, kā arī neliels pacēlums A daļā, gar kuru iet mitrās vietas robeža. Kopā izzīmētas sešas ievalkas, kuras



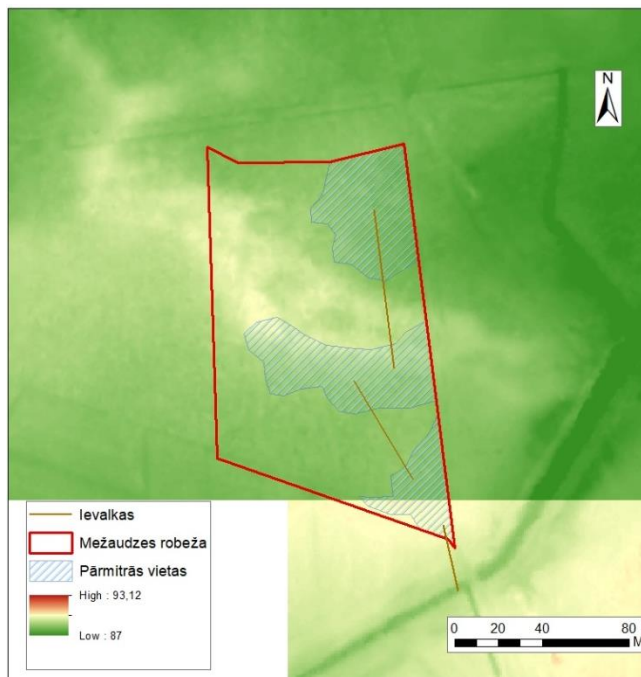
3.7. attēls Mitro vietu karte mežaudzei 503-364-17

savienotas ar grāvi, kas atrodas ceļa malā. Ne ceļš ne grāvis nav ļoti izteikts, bet aplūkojot LiDAR datus tuvāk, to var izšķirt, kā arī apskatot 5. cikla ortofotokarti (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013), ir redzams, ka tur atrodas gan ceļš, gan grāvis. Ievalku kopējais garums 208 m, īsākā no tām 11 m un garākā 55,3 m.

3.7. attēlā redzama audzes 503-364-17 mitro vietu karte – 1,5 ha. Karte veidota no trīs dažādām LiDAR datu kopām ar kopējo punktu skaitu 12,59 miljoni no kuriem 29 % jeb 3,62 miljoni punktu ir klasificēti kā reljefa punkti. Audzē aug 24 gadus vecas priedes ar vidējo augstumu 10 m un vidējo

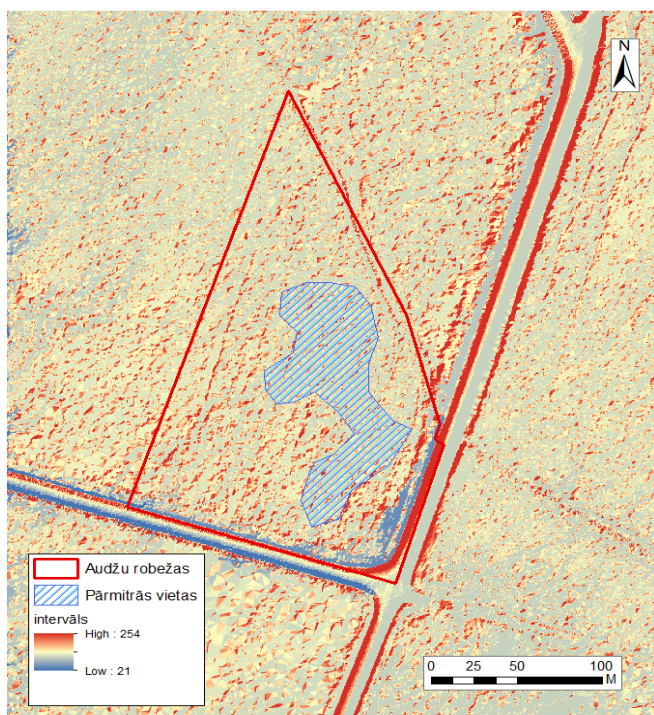
caurmēru 10 cm. Kopumā izzīmētas trīs mitrās vietas, kopējā platība 0,55 ha kas sastāda gandrīz vienu trešo daļu no mežaudzes kopējās platības.

3.8. attēlā redzama mežaudzes reljefa karte un izvēlētās ievalku vietas. Reljefs audzes D daļā ir



3.8. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 503-364-17

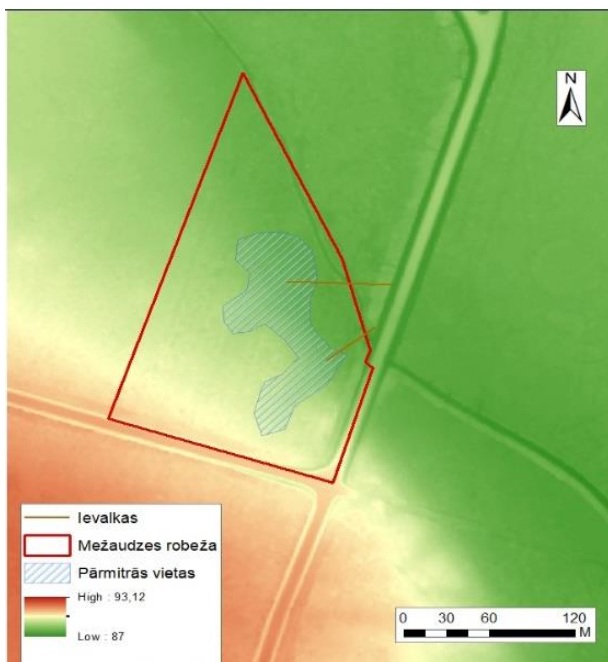
neizteikts, gandrīz līdzens, ar nelieliem paaugstinājumiem un pazeminājumiem. Audzes D galā vērojams straujš reljefa pazeminājums. Z daļā vērojami reljefa paaugstinājumi, starp kuriem izveidojusies viena mitrā vieta. Ievalkas ierīkot šajā vietā būtu samērā vienkārši, jo reljefa dabiskais kritums ir vērsts meliorācijas grāvja virzienā. Mitrās vietas savstarpēji savieno divas ievalkas ar garumiem 74 m un 53 m. Trešā un pēdējā ievalka tiek novadīta uz grāvi, ievalkas nepieciešamais garums 31 m. Kopējais ievalku garums ir 158,6 m.



3.9. attēls Mitro vietu karte mežaudzei 502-426-10

3.9. attēlā redzama slapjās gāršas audze ar numuru 502-426-10 un kopējo platību 2,9 ha. Mežaudzē dominē 32 gadus vecas egles un nedaudz tāda paša vecuma oši. Vidējais koku caurmērs 16 cm un augstums 15 m. Mitro vietu karte veidota no divām LiDAR datu kopām, kopā 9,61 miljons punkti, no tiem 2,93 miljoni jeb 30,5% ir 2. klases punkti. Mitrās vietas platība ir 0,64 ha.

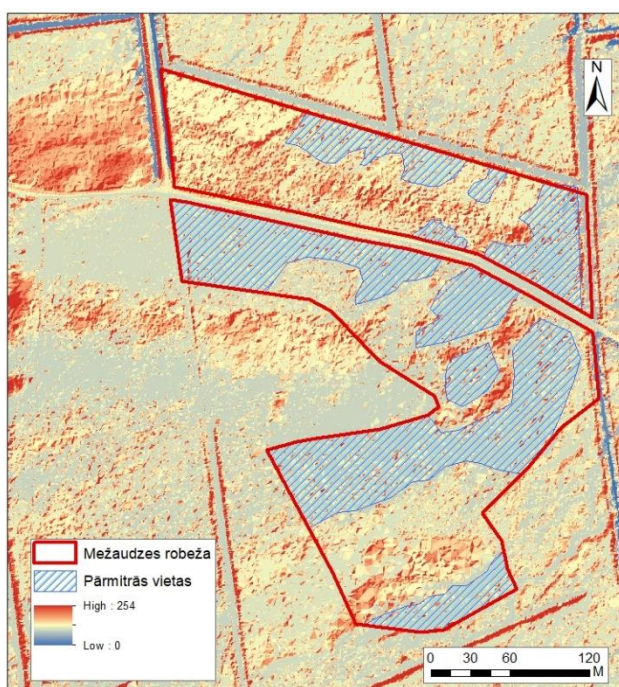
3.10. attēlā redzams, ka reljefs nav ļoti izteikts, bet tik un tā audzei ir pārmitri meža apstākļi.



3.10. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 502-426-10

Audzes centrālajā daļā redzams pazeminājums, D daļā nelielā attālumā no ceļa redzams pacēlums. Aplūkojot 5. cikla ortofotokarti (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013), redzams, ka koki audzē ir nedaudz gaiši zaļā krāsā, vietām nedaudz iebrūni, kas arī liecina par paaugstinātu mitruma līmeni audzē. Lai veiktu pārmitrās vietas nosusināšanu, izvēlētas divas ievalku rakšanas vietas. Tā kā reljefā ir dabisks kritums, tad liekā ūdens novadīšana ir salīdzinoši vienkārša. Ievalku kopējais garums ir 118,3 m, tās savienotas ar ceļmalas grāvi.

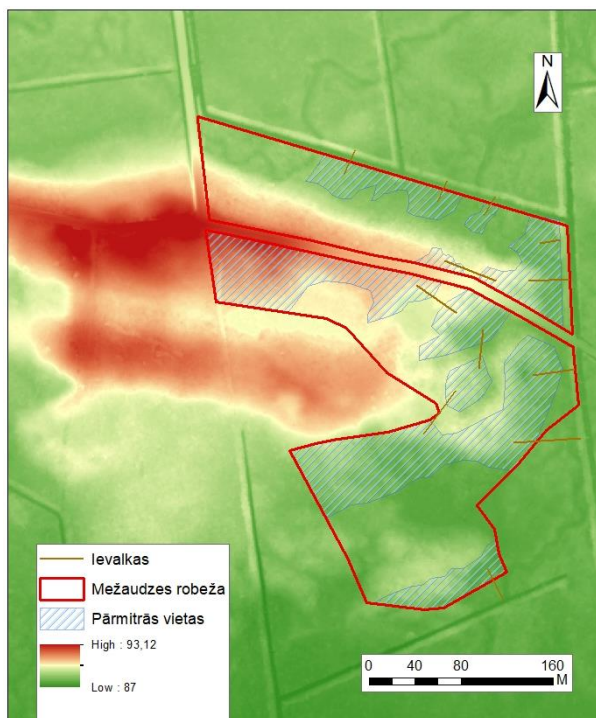
3.11. attēlā redzamas divas audzes, lielākās audzes platība 4,9 ha, numurs 503-329-1. Mežaudzi



3.11. attēls Mitro vietu karte mežaudzēm 503-318-30 un 503-329-1

veido 90% 25 gadus vecas egles un 10% tāda paša vecuma priedes. Vidējais koku augstums audzē ir 7 m un caurmērs 8 cm. Mitro vietu karte veidota no 1,3 miljoniem punktu, jeb 25% no kopējā punktu skaita – 5,15 miljoni. Izzīmēti pieci mitro vietu areāli – 0,13; 0,24; 0,27; 0,77 un 1,25 ha lielumā, veidojot kopējo platību 2,66 ha. Otrās audzes numurs 503-318-30, audze ir 2,5 ha liela. Mežaudzi veido 25 gadus vecas egles ar vidējo augstumu 7 m un vidējo caurmēru 8 cm. Šajā audzē izzīmētas četras mitrās vietas ar kopplatību 0,83 ha, kas sastāda 33,2 % no kopējas platības.

3.12. attēlā redzams, ka 503-318-30 audzes R daļu un lielāko daļu dienvidos veido izteikts

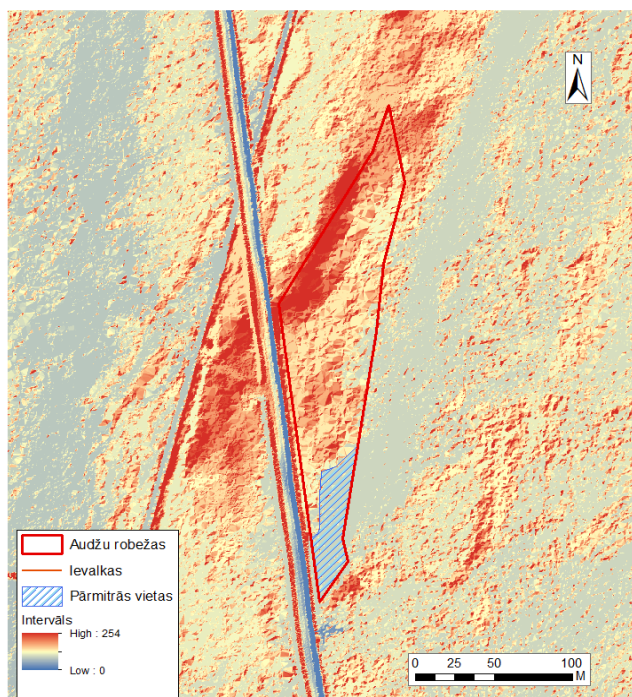


reljefa pacēlums, kurš iestiepjas arī otrajā audzē. Nogāžu lejas daļās, kur reljefs kļūst līdzenāks, ir izzīmētas mitrās vietas. Kopumā izzīmētas 12 ievalku rakšanas vietas. Mazākās mežaudzes mitro vietu nosusināšana ir vienkārša, jo gar audzes malām ir novadgrāvji un nepieciešamais ievalku garums nav liels. To garumi mainās no 17,7 m līdz 47,8 m, kopējais garums 165,5 m. Lielākajā audzē izzīmētas sešas ievalkas, trīs no tām savstarpēji savieno mitrās vietas, jo tās atsevišķi novadīt uz novadgrāvi ir sarežģīti. Tās ir veidotas reljefa krišanas virzienā, lai būtu dabisks krišanas leņķis un tās varētu rakt pēc iespējas seklākas. To vidējais garums ir 35

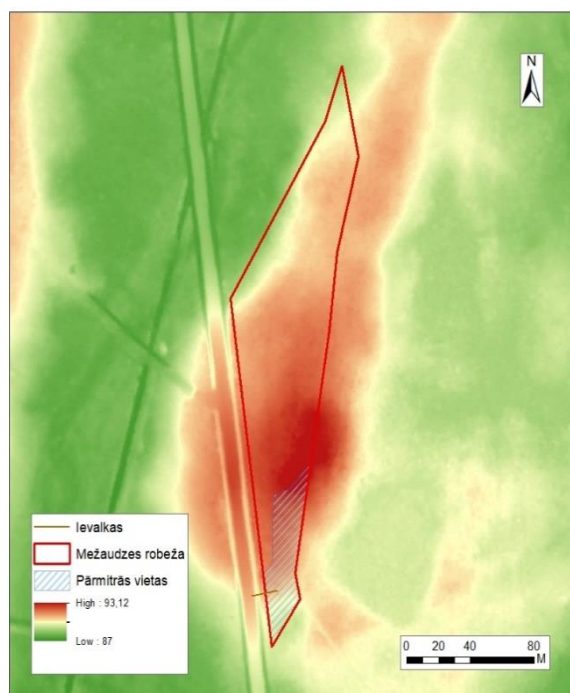
3.12. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 503-329-1 un 503-318-30

m, garākā no tām ir 58,3 m un īsākā 31,1 m, kopējais ievalku garums ir 251,5 m.

3.13. attēlā redzama mežaudze ar numuru 503-318 -17, audzē aug 19 gadus vecas priedes ar vidējo augstumu 6m un vidējo caurmēru 7 cm. Karte veidota no 1,35 miljoniem punktu, jeb 24,5 % no kopējā punktu skaita kas ir 5,5 miljoni. No audzes kopējās platības – 1,2 ha, mitrās

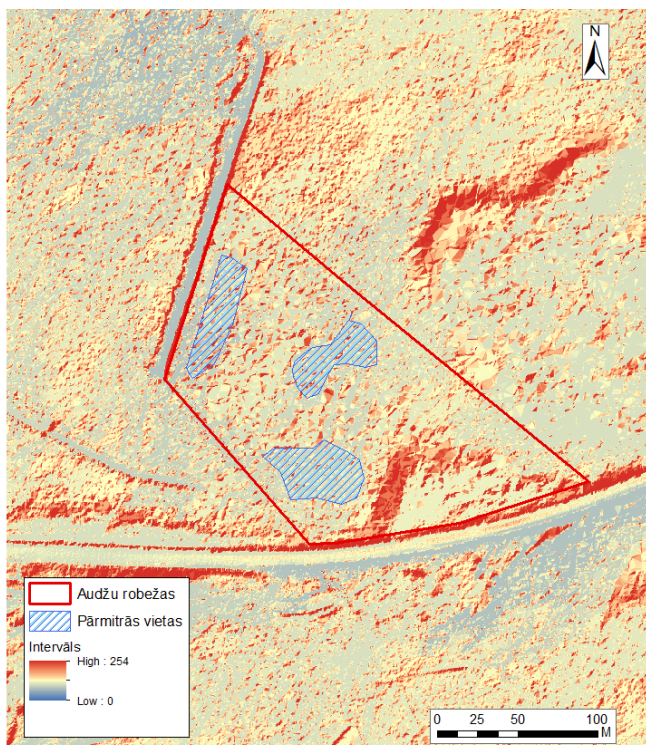


3.13. attēls Mitro vietu karte mežaudzei 503-318-17



3.14. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 503-318-17

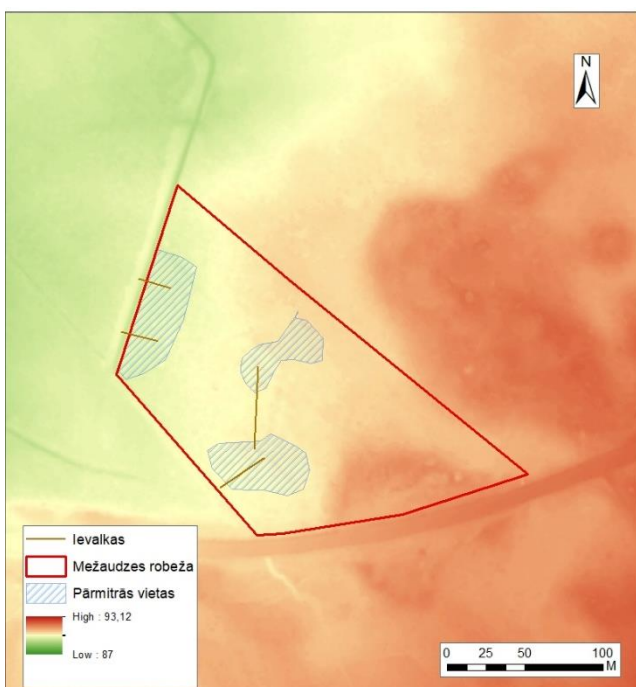
vietas poligons aizņem mazu daļu audzes D daļā, 0,16 ha. 3.14. attēlā redzams, ka audzes mitrā



3.15. attēls Mitro vietu karte mežaudzei 503-379-27

daļa ir nelielā reljefa pazeminājumā, salīdzinot ar pārējo audzes reljefu, kas Z daļā un vidusdaļā ir ļoti izteikts. Izzīmēta tikai viena ievalka ar garumu 21,06 m, tā novadīta uz ceļmalas grāvi.

3.15. attēlā redzama mitro vietu karte audzei ar numuru 503-379-27. Audzes platība 2,8 ha, kokus stāvu veido 22 gadus vecas egles un tāda paša vecuma, nelielu daļu veido bērzi. Vidējais koku augstums ir 7 m un vidējais caurmērs 8 cm. Karte veidota no LiDAR datu kopas, kura kopumā sastāv no 4,15 miljoniem punktu un no tiem 30% ir reljefa klasifikācijas punkti. Kopumā audzē atrodamas trīs pārmitrās vietas ar nelielām platībām – 0,13; 0,12 un 0,17 ha.



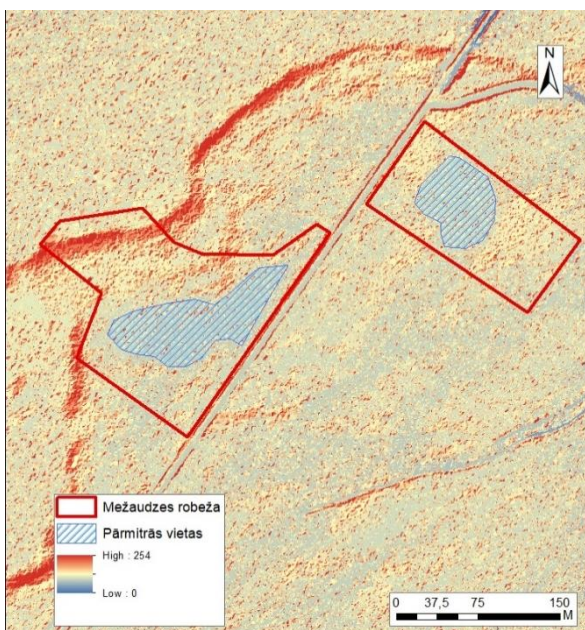
3.16. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 503-379-27

3.16. attēlā redzamajā reljefa kartē reljefs ir nedaudz mainīgs, ar pacēlumu DR daļā. Redzams, ka mitrās vietas ir izvietojušās vietās, kur reljefs nedaudz izlīdzinās. Kopumā atzīmētas četras ievalku vietas, to garums 100,4 m. Ievalkas novadītas uz tuvējo meliorācijas grāvi.

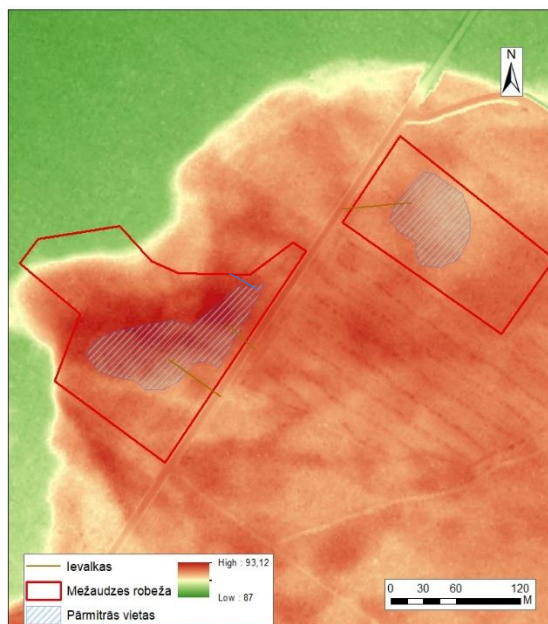
3.17. attēlā redzama mitro vietu karte divām audzēm. Mazākās audzes numurs – 503-459-3, ar platību 1,6 ha. Mežaudzē dominē 25 gadus vecas priedes, kā arī 10%, tāda paša vecuma egļu piemistrojums. Vidējais koku caurmērs ir 11 cm un augstums 10 m. Mitro vietu karte veidota

no LiDAR datu kopas, kuru kopā veido 10,35 miljoni punktu, no kuriem reljefa punkti ir tikai 1,05 miljoni jeb 10%. Izzīmēta tikai viena mitrā vieta, kuras platība ir 0,42 ha, gandrīz viena trešā daļa no kopējās platības. Lielākās mežaudzes numurs ir 503-458-29, audzes pirmo stāvu

veido 30 gadus vecas priedes – 80% un egles – 20%. Koku vidējais augstums audzē ir 11 m un caurmērs 11 cm, audzes platība 2,7 ha. Mitro vietu karte veidota no tiem pašiem datiem kā otras audzes karte. Izzīmēta viena mitrā vieta ar platību 0,64 ha. Izzīmētas trīs ievalkas (skat. 18. attēlu), kuras novadītas uz ceļmalas grāvi. Ievalku kopējais garums 156,21 m.

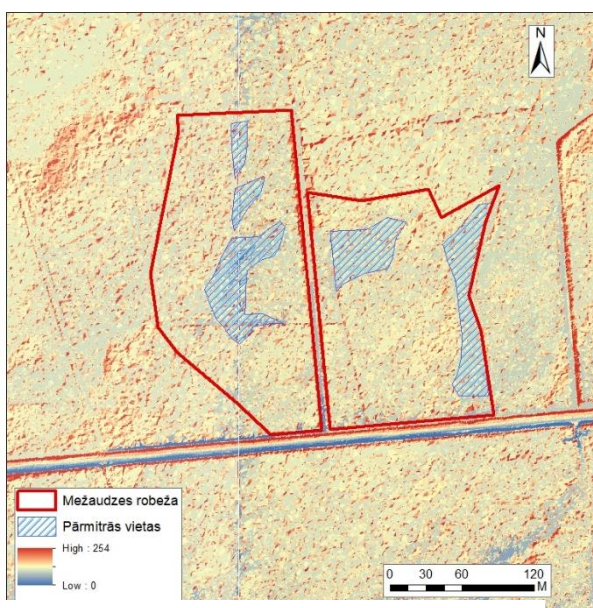


3.17. attēls Mitro vietu karte mežaudzēm 503-459-3 un 503-458-29

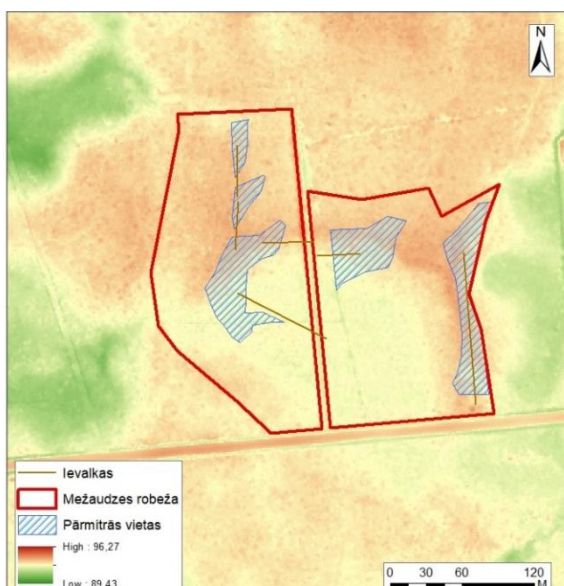


3.18. attēls Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzēm 503-459-3 un 503-458-29

3.19. attēlā redzama mežaudze ar numuru 503-300-12 ar kopējo platību 5,4 ha. Audze sastāv no divām daļām, kuras savstarpēji atdala ceļš. Mežaudzē aug 40 gadus vecas egles ar vidējo caurmēru 15 cm un augstumu 15 m. Mitro vietu skaits audzē ir 5, kuru kopējā platība ir 1,57 ha. Karte veidota no divām LiDAR lapām ar kopējo punktu skaitu 11 miljoni, no kuriem 22,5 % ir reljefa klases punkti. 3.20. attēlā izzīmētas 6 ievalkas ar kopgarumu 375,5 m.



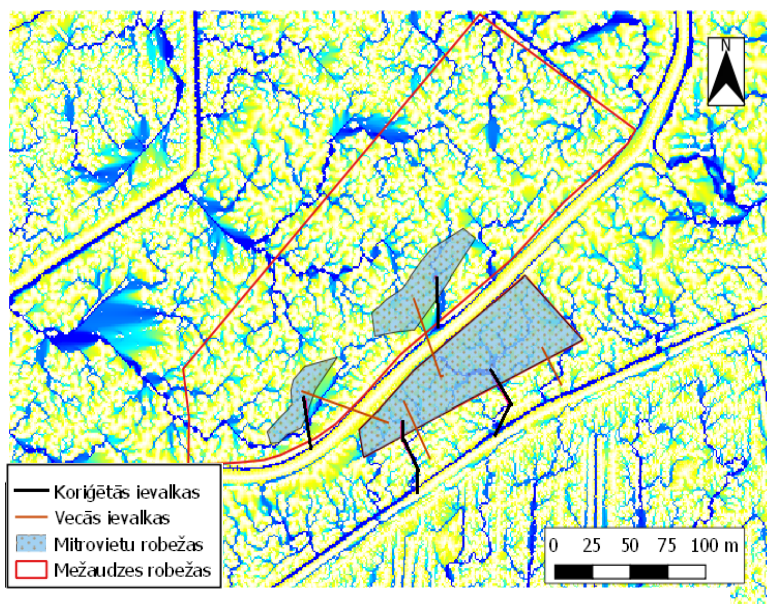
3.19. attēls. Mitro vietu karte mežaudzei 503-300-12



3.20. attēls. Ievalku ierīkošanas vietas mežaudzei 503-300-12

3.2. Automātiska ievalku izzīmēšana

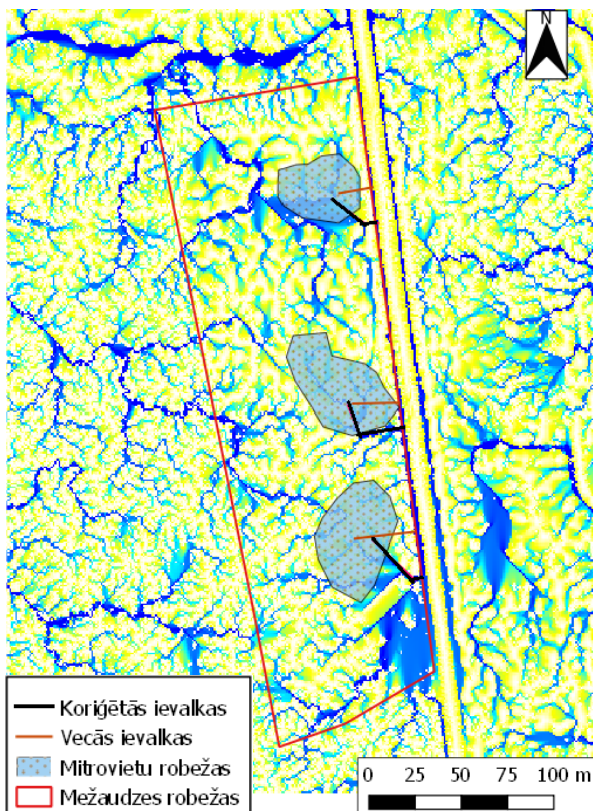
Automātiskai ievalku ierīkošanas vietu noteikšanai izmantota dabisko straumju plūšanas analīze. Apvienojot mitro vietu poligonu datus ar iepriekš izzīmētajām ievalkām, tika izvēlētas



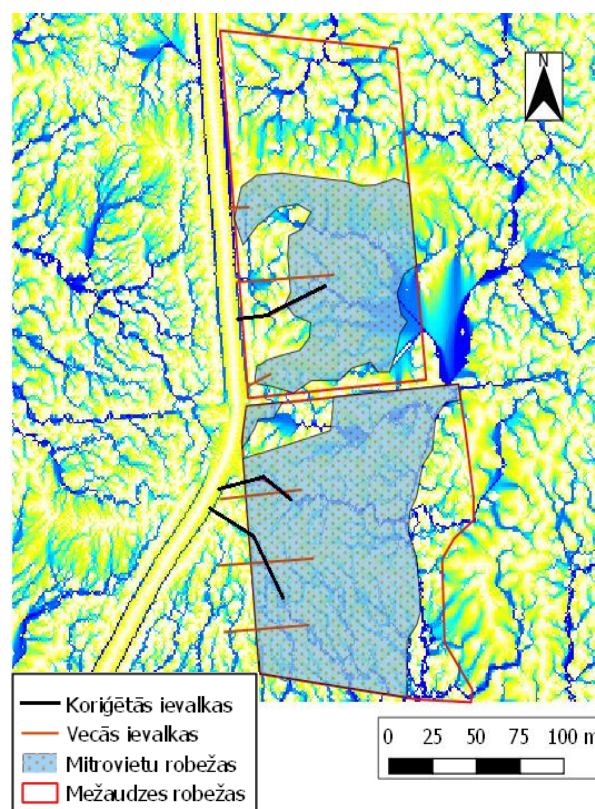
jaunās ievalku ierīkošanas vietas. 3.21. attēlā redzamas koriģētās ievalkas. Salīdzinot ar vecajām ievalkām, tās ir nedaudz likumainākas. Mazākajai mežaudzei vērojama laba dabiskā straumju plūsma, kura vērsta notekgrāvja virzienā. Kopējais garums pirms tam – 173,9 m, bet pēc korekcijas kopējais garums ir – 140,9 m.

3.21. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzēm 503-331-18 un 503-331-16

Kopējā atšķirība ir diezgan liela gan ievalku novietojumā, gan to garumā. Garumu starpība ir 33 m.



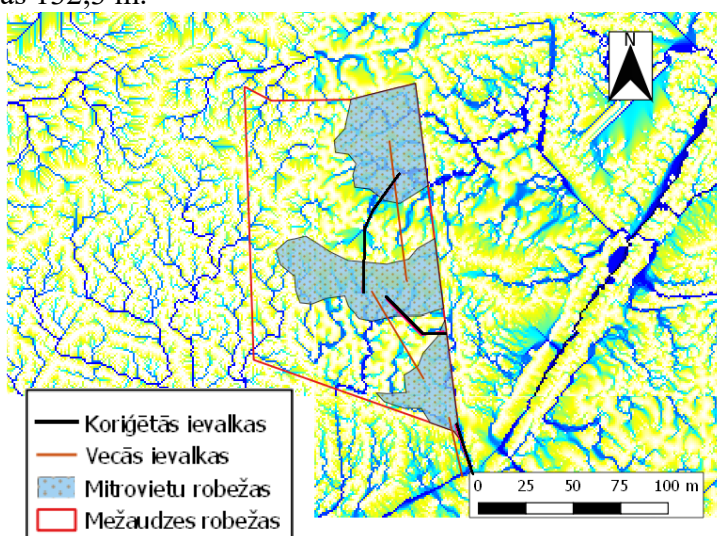
3.22. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 503-317-7



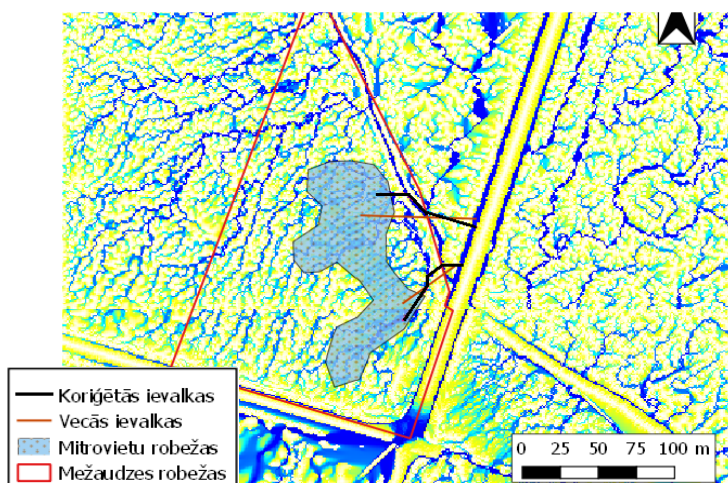
3.23. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzēm 503-311-23 un 503-322-1

Attēlos 3.22. un 3.23. redzamas trīs mežaudzes ar koriģētām ievalku ierīkošanas vietām. Attēlā pa kreisi ievalku skaits nemainās, mainās tikai garumi. Pirms tam kopējais garums bija 75,6 m, bet, veidojot ievalkas pēc ūdens straumju analīzes, kopējais garums 105,2 m. Attēlā pa labi redzams, ka audzei D daļā palikušas tikai divas no sākotnējām trīs ievalkām. Sākotnējais garums bija 147,5 m, pēc korekcijas 100,3 m, garums samazinājies par 1/3. Mežaudzei Z daļā izmainīta tikai garākās ievalkas konfigurācija, divas īsākās paliek tādas pašas. Kopējais garums samazinās tikai par 3,2 m.

Attēlā 3.24. redzams, ka mitrās vietas savstarpēji labi savieno dabīgās noteces kanāli, kuros arī tika izzīmētas ievalkas. Salīdzinot garumus, to atšķirība ir 26,3 m, pirms 158,6 m, bet pēc korekcijas 132,3 m.



3.24. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 503-364-17

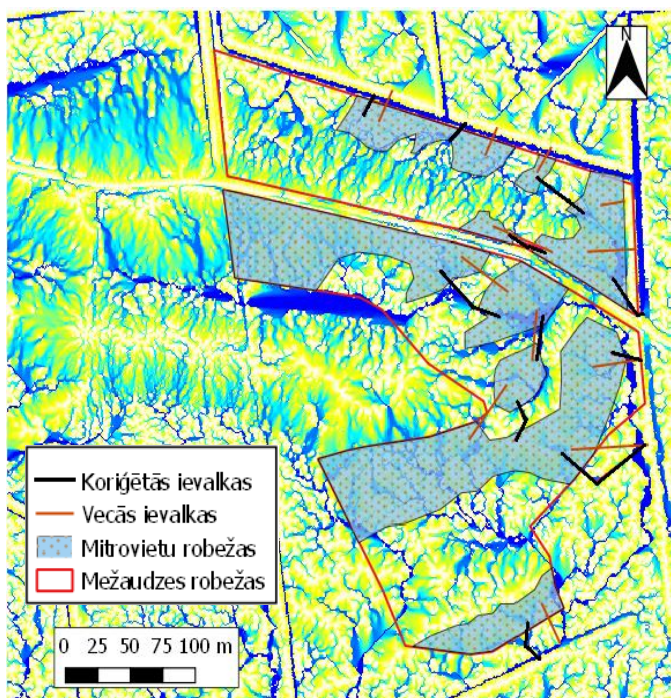


3.25. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 502-426-10

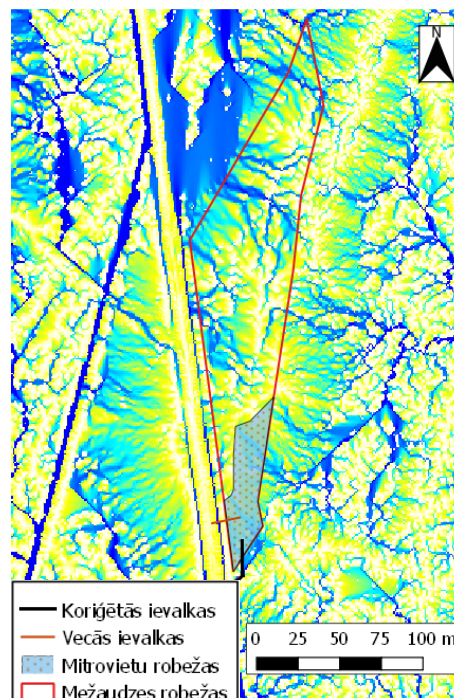
Kā redzams 3.25. attēlā, tad ievalku skaits nav mainījies, mainījies ir tikai novietojums un garums. Pirms jauno ievalku izzīmēšanas to kopējais garums bija 118,3 m, pēc pārzīmēšanas tas palielinājās par 13,7 m sasniedzot 132 m.

Attēlā 3.26. redzamas divas mežaudzes, pēc ievalku korekcijas to skaits ir samazinājies par vienu. To garums pirms tam bija 165,4 m audzei, kura atrodas vairāk uz Z un 251,4 m audzei, kura atrodas vairāk uz D. Pēc to pārplānošanas kopējais garums ir samazinājies par 33,2 m. Audzē 503-329-1 garums samazinājies tikai par 2,7 metriem, savukārt otrajā audzē tas ir samazinājies par 30,5 m, veidojot kopējo garumu 134,9 m.

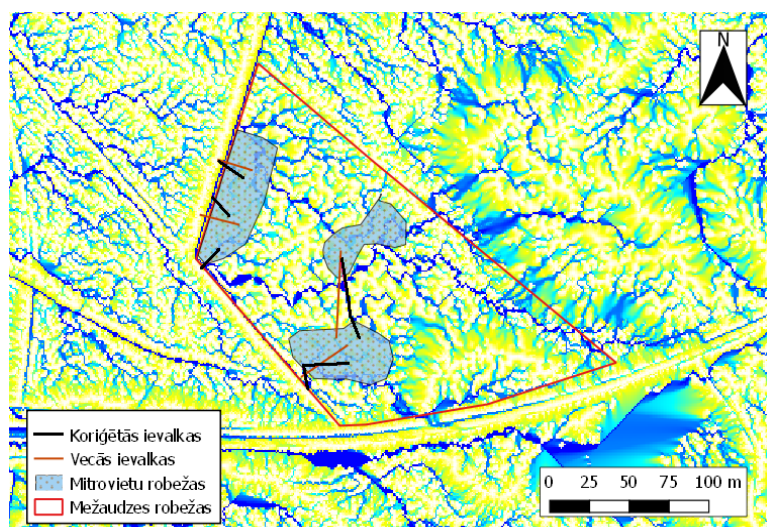
Aplūkojot 3.27. attēlu, vērojamas ielas atšķirības ievalkas novietojumā un garumā. Ievalka, kura tika izzīmēta balstoties uz reljefu, ir tikai 16,5 m gara, bet balstoties uz dabisko ūdens noteci, tās garums ir 40,9 m.



3.26. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzēm 503-318-30 un 503-329-1



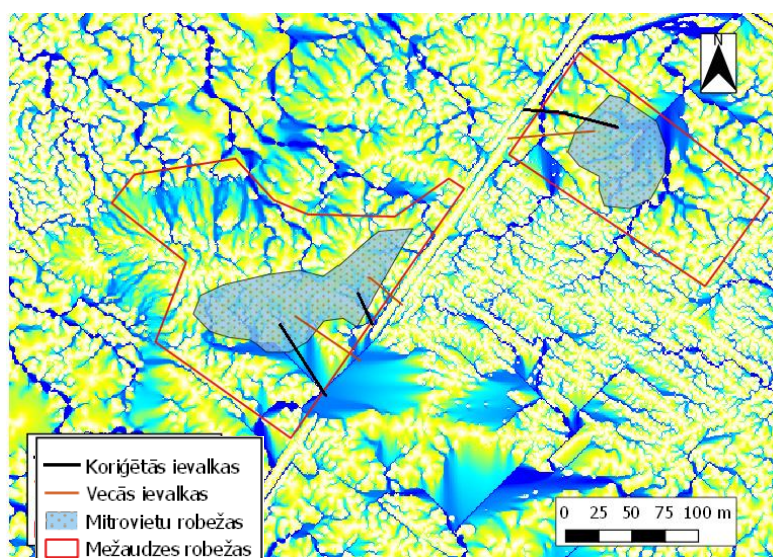
3.27. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 503-318-17



3.28. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 503-379-27

Attēlā 3.28. redzams, ka jaunizveidoto ievalku skaits ir 5 nevis 4, kā tas bija pirms tam. Divām mitrajām vietām, kuras atrodas vairāk uz ziemeļiem, ievalkas ir faktiski taisnas, jo ūdens noteces ceļi ir izvietojušies gandrīz perpendikulāri ceļmalas grāvim. Garumi pirms un pēc korekcijas atšķiras par 1,5 m. Pirms tam to

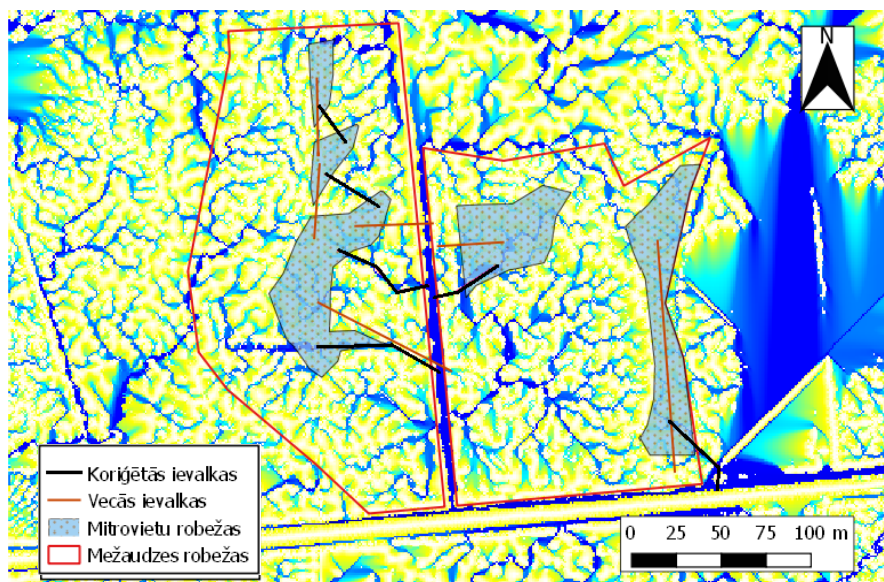
kopējais garums bija 134 m, bet pēc otras metodes veidoto ievalku garums ir 135,5 m, bet jāņem vērā fakts, ka ievalku skaits ir palielinājies par vienu.



3.29. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzēm 503-459-3 un 503-458-29

Audzē, kura attēlā 3.29. atrodas vairāk uz ziemeļiem tāpat kā otrā audzē, ievalku skaits nav mainījies. Audzei Z daļā sākotnējais garums 64,9 m ir samazinājies līdz 62,7 m. Otrās audzes garumu atšķirība ir 8,7 m, jaunais ievalku kopējais garums ir 82,5 m, pirms tam iegūtais kopējais garums ir 91,3 m.

Mežaudzē kura redzama 3.30. attēlā ievalku skaits palicis nemainīgs – sešas. Neviena no ievalkām nav saglabājusi iepriekšējo konfigurāciju. Lielas izmaiņas vērojamas ievalkām kuras



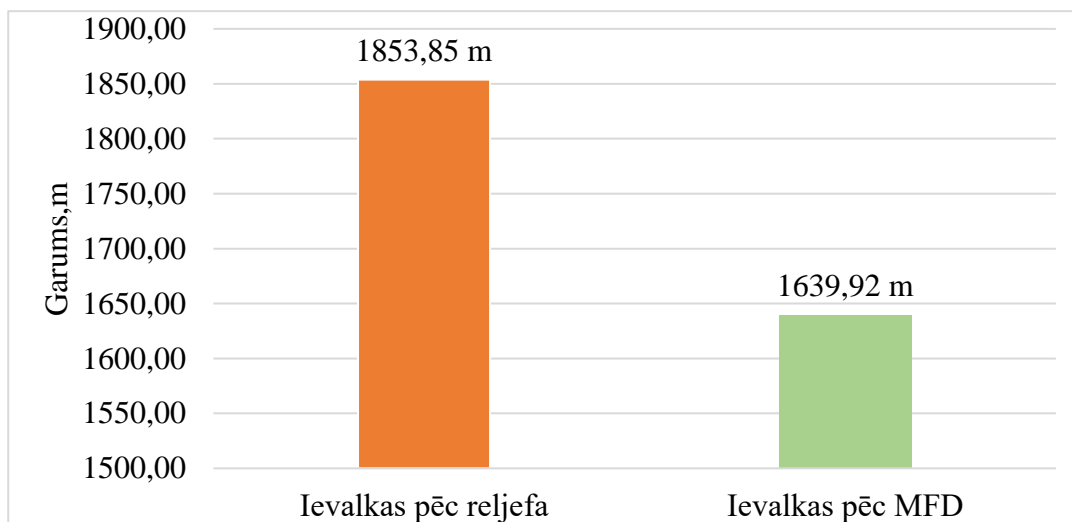
3.30. attēls Koriģētās ievalkas mežaudzei 503-300-12

savstarpēji savieno mitrās vietas, to virziens tagad orientēts DR virzienā, iepriekš D virzienā. Liela garumu starpība ir ievalkām, kuras savieno tālāko mitro vietu R daļā ar grāvi. Šo ievalku garums atšķiras par 78,8 m, tas skaidrojams ar to, ka apskatot plūsmu karti, bija redzams, ka šai

mitrajai vietai ir laba ūdens pašplūsma D virzienā. Kopējais ievalku garums pirms koriģēšanas ir 375,5 m, bet pēc 271 m.

3.3. Metožu salīdzinājums un izmaksu piemērs

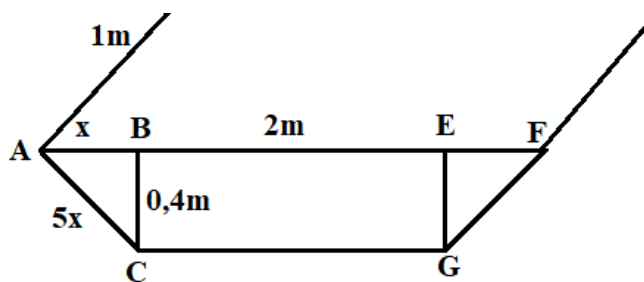
Salīdzinot rezultātus, pēc reljefa izvēlētas ievalku ierīkošanas vietas un pēc dabisko noteču kanāliem, ievalku skaits atšķiras tikai par trijām. Sākotnējais skaits 44 un pēc korekcijas 41 (skatīt 2. pielikumu). Kopējā garuma atšķirība ir diezgan liela, kā redzams 1. grafikā, tad atšķirība ir 213,93 m.



3.32. attēls Ievalku kopgarumu salīdzinājums

Galvenais iemesls, kāpēc atšķirība ir tik liela, ir atšķirīgais ievalku izvēlētais skaits. Pēc straumju akumulācijas metodes noteiktais ievalku garums nereti ir nedaudz lielāks vai nedaudz mazāks kā pirms tam izvēlētajās vietās, jo tās kļūst līkumainākas.

Lai prognozētu, cik lielas izmaksas varētu būt saistītas tikai ar ievalku izrakšanu, neskaitot transporta izdevumus, kurus sastāda tehnikas nogādāšana līdz objektam, tika izmantota (*D*)rain for Life projekta atskaite un tajā norādītās projekta izmaksas (Ilgtspējīgas lietus... S.a.). Projektā norādītā ievalku rakšanas cena ir 3 eiro par vienu kubikmetru. Lai aprēķinātu kopējās izmaksas, bija jānoskaidro, viena metra garai tilpums. Zemāk redzamajos aprēķinos noskaidrots, ka tilpums ir $0,768 \text{ m}^3$. Veicot aprēķinus, tika pieņemts, ka ievalkas rok 40 cm dziļumā.



3.33. attēls Ievalku tilpuma aprēķina zīmējums

Trijstūrī ABC pēc Pitagora teorēmas $c^2=a^2+b^2$ aprēķina x vērtību.

$$(5x)^2=x^2+0,4^2$$

$$25x^2=x^2+0,16$$

$$24x^2=0,16$$

$$x^2=\frac{0,16}{24}=0,007$$

$$x=\sqrt{0,007}=0,08$$

$$AB=0,08$$

$$CG=2-0,16=1,84$$

Tilpumu aprēķina pēc formulas $V=S_p \cdot H = \frac{a+b}{2} \cdot h \cdot H$

$$V=\frac{2+1,84}{2} \cdot 0,4 \cdot 1 = \frac{3,84}{2} \cdot 0,4 = 1,92 \cdot 0,4 = \underline{0,768 \text{ m}^3}$$

Kopējās izmaksas ievalkām, kuras izzīmētas tikai pēc reljefa datiem ir: $(1853,85 \cdot 0,768) \cdot 3 = 4271,27$ eiro. Izmaksas ievalkām, kuras izplānotas pēc MFD analīzes rezultātiem ir: $(1639,92 \cdot 0,768) \cdot 3 = 3778,37$ eiro. Izmaksu starpība ir $4271,27 - 3778,37 = 942,9$ eiro.

3.4. Rezultātu ticamība un salīdzinājums ar citām praksēm

Kopumā rezultāti par ievalku ierīkošanas vietām ir ticami, jo tika pielietotas divas metodes un iegūtie rezultāti viens otru papildināja un pastiprināja. Lielākās neprecizitātes varēja rasties, nosakot mitrās vietas. Veicot mitro vietu noteikšanu, tika ņemts vērā reljefs un tika noteiktas teorētiskās mitrās vietas. Netika ņemta vērā ģeoloģiskā uzbūve un mežaudzēs sastopamās augsnes. Apskatot vismaz vienu no šiem faktoriem, var nedaudz spriest par to, vai vispār šādā vietā var uzkrāties virszemes ūdeņi un būt paaugstināts mitruma līmenis un apstākļi.

Lai iegūtu daudz ticamākus rezultātus, būtu jāveic mežaudžu apsekošana un mitro vietu kartēšana dabā. Iegūtie lauku dati būtu jāsalīdzina ar ĢIS iegūtajiem rezultātiem un jāveic to korekcija. Iespējams, rezultāti būtu nedaudz atšķirīgi, ja, veicot reljefa karšu izveidi, tiktu

pielietota cita interpolācijas metode, piemēram, tuvākā kaimiņa (*Nearest Neighbour*), nevis IDW. Nedaudz mainītos mitro vietu platības un iespējamais izvietojums.

Lielāko daļu meža drenāžas sistēmu var raksturot kā vienu no diviem veidiem vai abu veidu kombināciju: dabiskās noteču vietas ar nelieliem uzlabojumiem vai paralēlu grāvu režģis (Amatya et al. 1998). Līdzīgi ir arī ar ievalkām, tās arī var veidot vietās ar dabisko noteci, taču tās nerok regulārā attālumā, jo to konfigurāciju ietekmē reljefs un to nelielais pieļaujamais maksimālais dziļums. Grāvju tīkla modeli izmanto plašās, slikti nosusinātajās zonās. Ievalkas veido vietās, kur pārmitrie apstākļi nav tik lieli un vietās, kur nosusināmās teritorijas nav ļoti lielas. Lielākā no mitrajām vietām bija 1,29 ha, vidēji mitrās vietas bija 0,32 ha lielas.

Somijā izmantotie paralēlie drenāžas grāvji ir apmēram 1 m dziļi un parasti 100 līdz 200 m attālumā viens no otra. Latvijas apstākļos meliorācijas grāvji nereti ir dziļāki par 1 m metru, jo reljefs ir daudz līdzenāks, nekā Somijā (Piirainen et al. 2017). Ievalkas ir aptuveni 40 cm dziļas un atkarībā no topogrāfiskajiem apstākļiem tās var atrasties tuvu viena otrai. Veidojot meliorācijas grāvjus, bieži vien tiek veidots arī jauns ceļu tīkls, kas krietni padārdzina meža nosusināšanas izmaksas. Nepieciešams izrakt daudz vairāk kubikmetru zemes, nepieciešamas caurtekas un materiāls ceļa izveidei (Riedl, Zachar 2012).

Valsts mežos, veidojot parastās meliorācijas sistēmas uz 0,8 km garu drenāžas tīklu, ir nepieciešams viens sedimentācijas dīķis. Tas nepieciešams, lai uztvertu cietās izkliedētās vielas un mazinātu to transportēšanu lejtecē (Piirainen et al. 2017). Veidojot ievalkas, šādi dīķi nav nepieciešami, jo tās ir salīdzinoši seklas. Rezultātā iegūtais ievalku garums ir nedaudz lielāks par 1,6 km. Ja tie būtu meliorācijas grāvji, tad uz šādu kopgarumu būtu jāveido divi sedimentācijas dīķi.

Ņemot vērā, ka darbā pētīto mežaudžu platības nav lielas, vidēji 2,5 ha (skat. 1. pielikumu) un apskatot to, ka mitrās teritorijas nav ļoti lielas, tad labākais risinājums šādam gadījumam būtu ievalku rakšana, nevis lielo grāvju ierīkošana. Pirms ievalku rakšanas audzēs būtu jāizvērtē cik lielu labumu tās sniegtu. Būtu jāveic koksnes krājas piegumu aprēķini, ņemot vērā to, ka tiktu samazināti mitruma apstākļi.

SECINĀJUMI

1. Izmantojot tālizpētes materiālus un tos apstrādājot ĢIS vidē, sekmīgi var izplānot mežsaimniecībā izmantojamo ievalku ierīkošanas vietas meža teritorijām. Pirms ievalku rakšanas dabā, būtu nepieciešami lauku apsekojumi, lai pārbaudītu vai mežā patiešām valda pārmitri apstākļi.
2. Ļoti nozīmīgi faktori, plānojot ievalku ierīkošanu, ir tas, vai mežaudze ir sasniedzama ar transportu, kurš transportēt rakšanai paredzēto traktor tehniku. Svarīgs faktors un nosacījums pie ievalku plānošanas ir arī novadgrāvju vai meliorācijas grāvja tuvums nosusināmajai mežaudze, lai ievalkas varētu savienot ar šiem grāvjiem.
3. Precīzai teorētisko mitro vietu identificēšanai mežaudzēs, nepieciešams augstas izšķirtspējas digitālais reljefa modelis, lai iegūtie rezultāti būtu pēc iespējas precīzāki.
4. Nosakot ievalku ierīkošanas vietas izmantojot tikai LiDAR reljefa datus tās ir taisnas vai perpendikulāras grāvīm ar kuru tās savienotas. Savukārt nosakot rakšanas vietas pēc ūdens dabiskajām plūsmām, tās nereti kļūst līkumotas, kas nedaudz varētu sarežģīt rakšanas darbus, bet uzlabotu to efektivitāti.
5. Salīdzinot izvēlētās ievalku ierīkošanas vietas un pēc straumju akumulācijas analīzes, to garumi parasti ir nedaudz lielāki, retāk mazāki kā pēc reljefa datiem izvēlēto ievalku ierīkošanas vietās. Kopgaruma samazinājumu visvairāk sekmē ievalku skaita samazināšanās.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Publicētie avoti

- Amatya, D.M., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W., Lebo, M.E., Campbell, R.G. 1998. Effects of controlled drainage on forest water quality. *Journal of Environmental Quality*. 27(4), 923–935.
- Arge, L., Chase, J.S., Halpin, P.N., Toma, L., Vitter, J.S., Urban, D., Wickremesinghe, R. 2003. *Advances of Computer Science for Geographic Information Systems*. 7(4), 283-313.
- Arun, P.V. 2013. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 12(2), 133-139.
- Baltsavias, E.P. 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54(2-3), 199-214.
- Beķeris, A., Meijere, A., Sedlenieks, A., Vanags, A., Ansons, G., Rove, I., Brauns, J., Grīslis, J., Gaigals, M. 2013. *Rokasgrāmata meža tipu noteikšanai*. Papildinātais izdevums. Rīga, AS “Latvijas valsts meži”.
- Burrough P.A., McDonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. New York, Oxford University Press, 333-335.
- Chmielewski, F.M., Rötzer, T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agriculture and Forest Meteorology*. 108(2), 101-112.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B. 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*. 81(1). 7-30.
- Donis, J. 2010. Klimata izmaiņu radītie meža audzēšanas riski un to samazināšanās iespējas: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”, Jansons, Ā. (red.) *Meža apsaimniekošana klimatu izmaiņu kontekstā*. [Bez vietas]. Silava.
- Dowman, I.J. 2004. Integration of LiDAR and IFSAR for mapping. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 35(B2), 90-100.
- ESRI 2016. ArcGIS Desktop: Release 10.4. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Gardina, V.J. 2008. *Analysis of LiDAR Data For Fluvial Geomorphic Change Detection at a Small Maryland Stream*. University of Maryland, ProQuest Dissertations Publishing.
- Haapalehto, T.O., Vasander, H., Jauhiainen, S., Tahvanainen, T., Kotiaho, J. S. 2011. The effects of peatland restoration on water-table depth, elemental concentrations, and vegetation: 10 years of changes. *Restoration Ecology*. 19(5), 587–598.
- Heikkilä, R., Hirskinen, S. 1993. Moose (*Alces alces* L.) browsing in young Scots pine stands in relation to the characteristics of their winter habitats. *Silva Fennica*, 27, 127-143.

- Indriksons, A. (S.a.). Klimata izmaiņu ietekme uz meža ūdenssaimniecību: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Jansons, Ā. (red.) *Meža apsaimniekošana klimatu izmaiņu kontekstā*. [Bez vietas]. Silava.
- IPCC. 2007. *Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press
- John, A.R. 2012. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction*. 5th edn. Heidelberg, Springer Science & Business Media.
- Keenan, R.J. 2015. Climate change impacts and adaptation in forest management: A review. *Annals of Forest Science*. 72(2), 145-167.
- Kļaviņš, M., Briede, A., Lizuma, L., Rodinovs, V. 2008. *Latvijas klimats un tā mainības raksturs*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Knapp, A.K., Briggs, J.M. Koelliker, J.K. 2001. Frequency and extent of water limitation to primary productivity in a mesic temperate grassland. *Ecosystems*. 4(1), 19-28.
- Kozłowski, T.T., 2002. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. *Wetlands*. 22(3), 550–561.
- Kraus, K, Pfeifer, N. 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 53(4), 193-203.
- Laine, J., Vasander, H., Laiho, R. 1995. Long-Term Effects of Water Level Drawdown on the Vegetation of Drained Pine Mires in Southern Finland. *Journal of Applied Ecology*. 32(4), 785-802.
- Legat, K. 2006. Approximate direct georeferencing in national coordinates. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*. 60(4), 239-255.
- Liepa, I., Mauriņš, A., Vimba, E. 1991. *Ekoloģija un dabas aizsardzība*. Rīga, Zvaigzne.
- Lohmus, A., Remm, L., Rannap, R. 2015. Just a Ditch in Forest? Reconsidering Draining in the Context of Sustainable Forest Management. *BioScience*. 65(11), 1066-1076.
- Ma, R. 2005. DEM generation and building detection from LiDAR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 71(7), 847-854.
- Mitasova, H., Mitas, L. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation. *Mathematical Geology*. 25(6), 641-655.
- Nartišs, M. 2013. Zembaseina nogulumu virsmas rekonstruēšana ĢIS vidē. Vidusgaujas un Ziemeļlatvijas zemieņu piemērs. Krāj.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 342-344.

- Orlander, G., Hallsby, G., Gemmel, P., Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies*-10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 13(1-4), 160-168.
- Paavilainen, E., Päivänen, J. 1995. *Peatland Forestry: Ecology and Principles*. Springer Sciences & Business Media.
- Peltomaa, R. 2007. Drainage of forests in Finland. *Irrigation and Drainage*. 56, 151–159.
- Riedl, O., Zachar, D. 2012. *Forest amelioration*. New York, Elsevier Science Publishing Company.
- Remm, L. 2015. *Impacts of forest drainage on biodiversity and habitat quality: implications for sustainable management and conservation*. Tartu, University of Tartu PRESS.
- Reutebuch, S.E., McGaughey, R.J., Andersen, H.E., Carson, W.W. (2003). Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian journal of remote sensing*. 29(5), 527-535.
- Ritter, N., Ruth, M. 1997. The GeoTiff data interchange standard for raster geographic images. *International Journal of Remote Sensing*. 18(7), 1637-1647.
- Robinson, M., Cognard-Plancq, A.L, Cosandey, C., David, J., Durand, P., Fuhrer, H.W., Hall, R., Hendriques, M.O., Marc, V., McCarthy, R., McDonnell, M., Martin, C., Nisbet, T., O’Dea, P., Rodgers, M., Zollner, K. 2003. Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. *Forest Ecology and Management*. 186(1-3), 85-97.
- Sibson, R. 1981. *A Brief Description of Nearest Neighbor Interpolation, Interpolating Multivariate Data*, New York, John Wiley & Sons. 21-36.
- Skaggs, R.W., Tian, S., Chescheir, G.M., Amatya, D.M., Youssef, M.A. 2016. Forest drainage. *Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment*. United Kingdom, CABI Publishers. 124 – 140.
- Tang, L., Shao, G. 2015. Drone remotes sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*. 26(4), 791-797.
- Taud, H., Parrot, J.F. 1999. DEM generation by contour line dilation. *Computers & Geosciences*. 25(7), 775-783.
- Thomas, R.H., Abdalati W., Akins, T., Csathó, B., Frederick, E., Gogineni, S., Krabill, W.B., Manizade, S., Rignot, E. 2000. Substantial thinning of a major East Greenland outlet glacier. *Geophysical Research Letters*. 27(9), 1291-1294.
- Tobler, W.R., Kennedy, S. 1985. Smooth multidimensional interpolation. *Geographical Analysis*, 17(3), 251-257.
- Watson, D. 1992. *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. London, Pergamon Press. 120-123.

- Weltzin, J.F., Loik, M.E., Haddad, B.M., Schwinning, S., Lin, G., Williams, D.G., Fay, P.A., Harte, J., Huxman, T.E., Knapp, A.K., Pockman, W.T., Shaw, M.R., Small, E.E., Smith, M.D., Smith, S.D., Tissue, D.T., Zak, J.C. 2003. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *Bioscience*. 53(10), 941-952.
- Wulder, M.A., White, J.C., Nelson, R.F., Naesset, E., Ørka, H.O., Coops, N.C., Hilker, T., Bater, C.W., Gobakken, T. 2012. LiDAR sampling for large- area forest characterization: A review. *Remote Sensing of Environment*. 121, 196-209.
- Wullschleger, S.D., Hanson, P.J. 2005. Sensitivity of canopy transpiration to altered precipitation in an upland oak forest: evidence from a long-term field manipulation study. *Global Change Biology*. 12(1), 97-109.
- Yastikli, N., Cetin, Z. 2016. Classification of LiDAR Data with Point Based Classification Methods. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 41(B3), 441-445
- Zālītis, P. 2012. *Mežs un ūdens*. Salaspils, Silava.

Interneta resursi

- Centrālās statistikas pārvalde, 2017. *Latvijas ārējā tirdzniecība. Svarīgākās preces un partneri. 2017. gada janvārī – jūnijā*. Sk. 11.01.2018. Pieejams: http://www.csb.gov.lv/sites/default/files/nr_26_areja_tirdznieciba_preces-partneri_2017_i-vi_17_02q_lv.pdf Atsauce tekstā (Centrālās statistikas pārvalde 2017).
- GIS Latvija 10.2. 2013. SIA Envirotech. Sk. 11.11.2017. Pieejams: <http://www.envirotech.lv/lv/aktualitates/gis-latvija-10-2/> Atsauce tekstā (Envirotech 2013).
- GRASS Development Team, 2018. *About the GRASS Development Team*. Sk. 05.05.2018. Pieejams: <https://grass.osgeo.org/home/about-us/> Atsauce tekstā (GRASS Development Team 2018).
- Hendrick, E., Black, K. 2009. *Climate change and Irish forestry*. Sk. 19.04.2018. Pieejams: <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ccn09-env09.pdf> Atsauce tekstā (Hendric, Black 2009).
- Ilgtspējīgas lietus ūdeņu apsaimniekošanas sistēmas Skanstes apkaimē Rīgā izpēte (tehniski-ekonomiskais pamatojums)*. (S.a.). (D)rain for life. Sk. 10.05.2018. Pieejams: http://drainforlife.eu/attachments/article/25/Skanste_IL%C5%AA%20TEP_Riga.pdf Atsauce tekstā (Ilgtspējīgas lietus... S.a.).
- Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra (LĢIA) 2013. Latvijas 5. cikla ortofotokarte. LU ĢZZF WMS. Sk. 14.11.2017. Pieejams <https://www.geo.lu.lv/kartes/> Atsaucei tekstā (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013).

- Latvijas meža dienests. S.a.. *Par Latvijas mežiem*. Sk. 11.01.2018. Pieejams <http://www.lmd.lv/par-latvijas-meziem> Atsauce tekstā (Latvijas meža dienests s.a.).
- Latvijas valsts meži 2015. *Meža infrastruktūras objektu projektēšanas tehniskie noteikumi*. Sk. 26.04.2018. Pieejams https://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaliem/Infrastrukt%C5%ABra/MIO_TN/MIO_T_P_noteikumi_2015.pdf Atsauce tekstā (Latvijas valsts meži 2015).
- LIDAR—Light Detection and Ranging—is a remote sensing method used to examine the surface of the Earth*. 2013. NOAA. Archived from the original. Sk. 04.11.2017. Pieejams <https://oceanservice.noaa.gov/facts/LiDAR.html> Atsauce tekstā (NOAA 2013).
- Matisova, H., 2002. *r.terraflow in GRASS* Sk. 06.05.2018. Pieejams: https://www2.cs.duke.edu/geo*/terraflow/terraflow-grass.html Atsauce tekstā: (Matisova 2002).
- Nayegandhi, A., Klipp, E. 2007. *USGS Hosts Airborne-LiDAR Tehnology and Applications Workshop in Louisiana*. Sk. 23.11.2017. Pieejams <https://soundwaves.usgs.gov/2007/09/meetings2.html> Atsauce tekstā: (Nayegandhi, Klipp 2007).
- Piirainen, S., Finér, L., Andersson, E., Belova, O., Čiuldiené, D., Futter, M., Gil, W., Glazko, Z., Hiltunen, T., Högbom, L., Janek, M., Joensuu, S., Jägrud, L., Lībiete, Z., Lode, E., Löfgren, S., Pierzgałski, E., Ring, E., Zariņš, J., Thorell, D. 2017. *Meža nosusināšana un ūdens aizsardzība Baltijas jūras reģiona valstīs – pašreizējās zināšanas, metodes un attīstības virzieni*. Sk. 21. 11. 2017. Pieejams <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/wambaf/drainage-latvia.pdf> Atsauce tekstā: (Piirainen et al. 2017).
- QGIS Development Team, 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Sk. 10.05.2018. Pieejams: <https://qgis.org/en/site/> Atsauce tekstā: (QGIS Development Team 2016).
- Zemkopības ministrija, 2014. *Meža un saistīto nozaru attīstības pamatnostādnes 2014.-2020.gadam*. Sk.11.01.2018. Pieejams https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/mezhi/MKP/2014/Pamatnostadnes_301114_MKP.pdf Atsauce tekstā: (Zemkopības ministrija 2014).

Nepublicētie avoti

- Markots, A. 2008. LiDAR izmantošanas iespējas jūra krastu monitoringā: maģistra darbs, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. Latvijas Universitāte, Rīga.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt pateicību darba vadītājam docentam Dr.geogr. Mārim Nartišam par ieguldīto laiku konsultējot un dodot vērtīgus padomus. Tāpat arī paldies par palīdzību dažādos tehniskajos risinājumos un neskaidrībās saistībā ar ĢIS. Pateikties vēlos arī LVMI “Silava” vadošajam pētniekam Andim Lazdiņam par bakalaura pētījuma ideju un izsniegtajiem LiDAR datiem un mežaudžu datiem.

PIELIKUMS

1. pielikums

Pētījumā izmantoto mežaudžu dati (izveidojis autors izmantojot LVMI "Silava" datus)

Audzes Nr.	Platība ha	AAT	Platība ha	Valdaudzes sugas	Vecums	Caurmērs cm	Augstums m	Krājas daudzums m ³
503-331-18	0,5	Ln	0,5	10P 25	25	11	10	98
503-379-27	2,8	Vr	2,8	8E2B 22	22	8	7	44
503-317-7	3,4	Dm	3,4	8E18 2B15	18	7	6	31
503-322-1	1,7	Vr	1,7	9E1Os 16	16	5	3	11
503-311-23	1,8	Vr	1,8	10E 19	19	7	6	36
503-300-12	5,4	Dm	5,4	10E 40	40	15	15	149
503-331-16	3,3	Ln	3,3	10P 25	25	11	10	98
503-364-17	1,5	Ln	1,5	10P 24	24	10	10	140
503-459-3	1,6	Dm	1,6	9P1E 25	25	11	10	99
503-318-30	2,5	Dm	2,5	10E 25	25	8	7	48
503-458-29	2,7	Ln	2,7	8P2E 30	30	11	11	124
503-318-17	1,2	Dm	1,2	10E 19	19	7	6	42
503-329-1	4,9	Dm	4,9	9E1P 25	25	8	7	43
502-426-10	3,2	Grs	2,9	7E3Os 32	32	16	15	259
502-428-5	2,7	Gr	2,7	10 E	9	1,3	1,1	3

2. pielikums

Ievalku kopējie garumi (izveidojis autors izmantojot LVMI "Silava" datus)

Audzes nr.	Garums pēc reljefa (m)	Garums pēc MFD(m)	Starpība (m)	Ievalku skaits pirms	Ievalku skaits pēc
503-331-18	63,0529	86,8057	23,7528	2	2
503-379-27	134,048	135,562	1,51376	4	5
503-317-7	75,6373	105,255	29,6176	3	3
503-322-1	147,582	100,31	-47,271	3	2
503-311-23	80,3837	52,1268	-28,257	3	1
503-300-12	375,581	271,652	-103,93	6	6
503-331-16	110,931	54,1528	-56,778	2	2
503-364-17	158,668	132,302	-26,367	3	3
503-459-3	64,9	62,7557	-2,1443	1	1
503-318-30	165,436	134,91	-30,527	6	5
503-458-29	91,3155	82,5421	-8,7733	2	2
503-318-17	16,56	40,9014	24,3414	1	1
503-329-1	251,455	248,665	-2,7897	6	6
502-426-10	118,305	131,978	13,6728	2	2
	kopā	kopā	starpība		
	1853,86	1639,92	-213,94		

Bakalaura darbs „**Mežsaimniecībā izmantojamo ievalku plānošanas risinājumi**” izstrādāts
LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie
informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Roberts Gailis

paraksts datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Docents Dr.geogr. Māris Nartišs

paraksts datums

Recenzents: Asociētais profesors Dr.geol. Ivars Strautnieks

Darbs iesniegts ģeogrāfijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede: Gunta Vigule

paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Dabas zinātņu bakalaura ģeogrāfijā akadēmisko studiju gala
pārbaudījumu komisijas sēdē

..... protokola nr. vērtējums

gads, datums, mēnesis

Sekretārs

paraksts datums