



**Rīgas Tehniskās universitātes
Inženierzinātņu vidusskola**

Meža postījumu – mizgraužu identifikācija ar tālīzpētes palīdzību Latvijas teritorijā

Zinātniskās pētniecības darbs dabaszinātņu nozarē, Zemes un vides zinātņu apakšnozarē

Darba autors:

Lukass Roberts Kellijs
11.klases skolēns

Darba vadītāja:

Elza Līna Liniņa
M.sc.phys., RTU IZV fizikas skolotāja

Darba konsultants:

Juris Siņica-Siņavskis
Dr.sc.comp., EDI pētnieks

Rīga, 2022

Anotācija

Pēdējo gadu laikā Latvijā ir pieaudzis Eiropas egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typhographus* L.) postījumu teritoriju skaits. Tas apdraud Latvijas mežu ekosistēmas, līdz ar to ir nepieciešamas efektīvas meža postījumu-mizgraužu identifikācijas sistēmas, lai samazinātu invāziju un ekonomisko zaudējumu risku. Tālīzpēte ir potenciāla alternatīva bieži vien dārgajiem un darbietilpīgajiem lauku apsekojumiem, lai identificētu šo kaitēkli. Ļoti maz pētījumi ir tikuši izstrādāti par tālīzpētes pielietojumu mizgraužu identifikācijai Latvijas mežos, un ļoti maz informācija par invadētajām teritorijām ir publiski pieejama, kas liedz multispektrālo tālīzpētes datu, kā Landsat-8 un Sentinel-2 attēlu, izmantošanu. Šim uzdevumam ir nepieciešami tālīzpētes dati ar augstu telpisko izšķirtspēju. Viens no šādiem datu avotiem ir aerofotografēšanas attēli, kas sastāv no RGB un CIR ortofotokartēm, un digitālā augstuma modeļa pamatdati, ko Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra iegūst visai valsts teritorijai aptuveni reizi trijos gados. Šajā pētījumā ir novērtēta šo datu spēja palīdzēt identificēt Eiropas egļu astoņzobu mizgrauža sarkanās stadijas uzbrukumu Latvijas teritorijā. Pētījuma ietvaros tika izstrādāts un izvērtēts uz gadījuma meža algoritma balstīts modelis, izmantojot 2020. g. iegūtas ortofotokartes ar maskētām ēnām un mežu izcirtumiem, kuru reģioni tika manuāli klasificēti pēc lapotnes krāsas, izmantojot zināmas invāzijas teritorijas. Modelis spēja atšķirt veselus un invadētus kokus ar 99% precizitāti pētījuma zonā. Šis pētījums norāda uz šo datu potenciālu pielietojumu kā efektīvu līdzekli mizgraužu sarkanā uzbrukuma stadiju invāziju identificēšanai Latvijas mežos, kā arī uz datu ieguves biežuma palielināšanas un detalizētāku apsekojumu veikšanas nepieciešamību turpmākam šīs metodes pielietojumam.

Darbs rakstīts latviešu valodā, satur 14 lapas, 13 attēlus, 3 pielikumus, tajā izmantoti 14 literatūras avoti.

Atslēgas vārdi: mizgrauzis, *Ips typhographus* L., sarkanais uzbrukums, tālīzpēte, gadījuma mežs.

Abstract

In the last few years, the number of natural disturbances induced by spruce bark beetle (*Ips typhographus* L.) in Latvia have increased, which poses a danger to the forest ecosystems of the country. Thus effective forest damage-bark beetle identification systems are needed to minimize the risk of outbreak and economic loss. Remote sensing presents a potential alternative to the often costly and laborious field campaigns to identify this pest. Very few studies of remote sensing methods for bark beetle detection in Latvian forests, however, have been developed, and only limited information on infested areas are publicly available inhibiting the use of multispectral remote sensing data such as Landsat-8 and Sentinel-2 imagery. For this challenge remote sensing data with high spatial resolution are needed. One such data source is the aerial imagery, consisting of true color and CIR orthophotos, and digital height model data obtained by the Latvian Geospatial Information Agency for the entire country roughly every three years. In this study the ability of this data to help identify red-attack of the European spruce bark beetle has been evaluated. A random forest model was developed and validated using for shadow and forest clearing masked orthophotos obtained in 2020, which were manually classified by foliage color, using known infestation areas. The model was able to discriminate between healthy and red-attacked trees on a pixel by pixel basis with an accuracy of 99% for the study area. This study highlights the potential use of such imagery as an effective tool for red-attack stage bark beetle outbreak identification in Latvian forests and the necessity of increased temporal resolution of this data, as well as more detailed in-situ data for future implementation and augmentation of this method.

This scientific paper has been written in Latvian, it consists of 14 pages, 13 figures, and 3 annexes, 14 references have been used.

Keywords: bark beetle, *Ips typhographus* L., red-attack, remote sensing, random forest

Saturs

| | |
|---|----|
| Ievads | 4 |
| 1. Literatūras apskats..... | 5 |
| 1.1 Eiropas egļu astonezobu mizgrauzis | 5 |
| 1.2 Tālīzpēte mežu postījumu-mizgraužu identifikācijai | 5 |
| 1.3 Gadījuma meža datizraces algoritms | 6 |
| 2. Pētījuma zona un izmantotie dati | 7 |
| 2.1 Pētījuma zona | 7 |
| 2.2 Ortofotokartes attēli | 7 |
| 2.3 Digitālā augstuma modeļa pamatdati | 7 |
| 3. Metodes modeļa sagatavošanai un apmācībai..... | 8 |
| 3.1 Nevēlamo pikseļu maskēšana..... | 8 |
| 3.2 Intereses pikseļu atlase | 9 |
| 3.3 Modeļa apmācības un testēšanas kopu izveide..... | 10 |
| 3.4 Modeļa izveide, apmācība, validācija un izvērtējums | 10 |
| 4. Rezultāti un analīze | 11 |
| Secinājumi | 13 |
| Literatūras saraksts | 14 |
| Pielikumi | 15 |

Ievads

Katru gadu ar vien lielāka uzmanība tiek vērsta globālajām klimatiskajām pārmaiņām un to ietekmei uz vidi. Sausuma periodi un paaugstinātas temperatūras veģetatīvajā periodā izraisa mežu vitalitātes samazināšanos, koku augšanu stresa apstākļos un lielāku uzņēmību pret kukaiņu kā mizgraužu bojājumiem [1]. Eiropas egļu astonezību mizgrauzis (*Ips typographus*, L.) ir invazīva suga, kas tiek uzskatīta par Eiropas mežu ekosistēmu viskritiskāko traucējumu izraisītāju [1]. Eiropā ir zināmas 154 mizgraužu sugas, kur katra suga ir pielāgojusies tikai vienai vai dažām saimniekkoku sugām [2].

Mizgraužu invāzijas Vācijā jau ir iznīcinājuši tūkstošiem hektāru egļu audžu [2]. Vairāk nekā 50% Čehijas mežu nopietni apdraud šis kaitēklis, izraisot lielus ekoloģiskos un ekonomiskos zaudējumus. Kopējais novākšanas apjoms gadā Čehijā ir aptuveni 15 miljoni m³, un aptuveni 1 miljons m³ no šī daudzuma ir invadēti ar kukaiņiem, kā arī pēdējo 5 gadu laikā ir reģistrēts straujš kukaiņu invadētās koksnes pieaugums [3]. Arī Latvijā ir konstatēta kaitēkļa darbība un rezultējošā koksnes vērtības sarūkšana un tiek aktīvi sekots līdzi egļu astonezību mizgrauža invāzijai [4].

Tradicionāli, lai apkarotu šos kukaiņus, mežsaimnieki veic lauka apsekojumus, meklējot mizgraužu veidotās skaidas, lai identificētu inficētos kokus agrīnā uzbrukuma stadijā, kā arī tiek uzstādīti feromonu vaboļu slazdi [3]. Efektīva alternatīva šīm darbietilpīgajām metodēm ir tālīzpēte - apgabala fizisko īpašību noteikšana un uzraudzības process, mērot tā atstaroto un izstaroto starojumu no attāluma. Mizgrauža uzbrukuma stadiju laikā mainās skuju biokīmiskās un biofizikālās īpašības, kā rezultātā, izmantojot dažādus spektrālos sensorus un to veidotos attēlus, var identificēt šo kukaini [1]. Dators tiek apmācīts no konkrētu spektru attēliem atpazīt vai koks, ko reprezentē tā lapotnes pikseļu grupa ir vesels vai nevesels jeb inficēts. Savā būtībā tā ir attēla pikseļu - vismazāko attēla elementu, kas raksturo veidotā rastrgrafika spilgtumu jeb intensitāti konkrētajā spektrālajā joslā šajā punktā - binārās klasifikācijas problēma, kurā ar datizraces algoritmiem tiek atšķirti inficētu koku pikseļi no veselajiem.

Pastāv ļoti daudz potenciāli tālīzpētes datu avoti, piemēram, brīvi pieejamie Sentinel-2 vai Landsat 8 satelītu sistēmu dati, ar kuru palīdzību spēja identificēt mizgraužus ir vairākkārt pētīta Eiropas teritorijās [5]. Taču vēl neizpētīts ir Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras atvērto datu, kā ortofotokaršu un digitālo augstuma modeļu datu pielietojums, kas sniedz daudz augstāku telpisko izšķirtspēju nekā iepriekšminētie dati, lai identificētu mežu bojājumus un mizgraužus.

Pētījuma mērķis:

Izveidot un izvērtēt modeli, kas spēj palīdzēt identificēt mežu bojājumus - mizgraužu uzbrukuma sarkano stadiju Latvijas teritorijā.

Pētījuma jautājums:

Kā un cik lielā mērā Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras atvērtie dati spēj palīdzēt identificēt mežu bojājumus - mizgraužu uzbrukuma sarkano stadiju Latvijas teritorijā?

Darba uzdevumi:

1. Izpētīt mizgraužu uzbrukuma stadiju, mizgraužu inficēto koku un Latvijas mizgraužu postījumu teritoriju īpašības.
2. Iegūt, apstrādāt un izvērtēt Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras atvērtos datus mizgraužu identifikācijas uzdevumam.
3. Izpētīt un apmācīt mērķim piemērotu algoritmisku modeli.
4. Izvērtēt apmācītā modeļa spēju identificēt meža postījumu – mizgraužu teritorijas, izmantojot pielietotos datus.

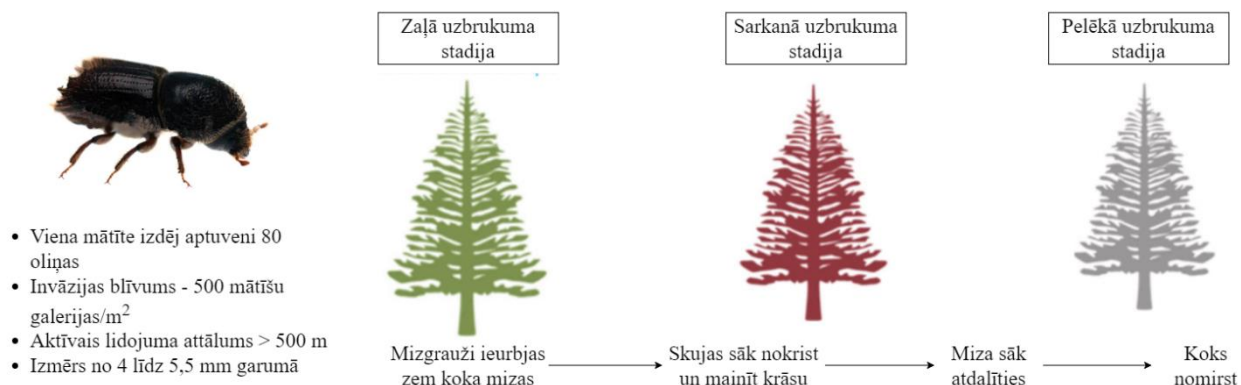
1. Literatūras apskats

Literatūras apskatā tiek apskatītas Eiropas egļu astoņzobu mizgrauža īpašības un izpētītas tā dažādās uzbrukuma stadijas, izpētīts un pamatots tālīzpētes pielietojums mežu postījumu-mizgraužu identifikācijai, kā arī analizēts gadījuma meža algoritmiskais modelis.

1.1 Eiropas egļu astoņzobu mizgrauzis

Mizgraužu spietošana Eiropā parasti sākas marta, aprīļa vidū, kad gaisa temperatūra sasniedz 16,5°C. Optimālā lidojuma temperatūra ir 22-26°C. Veiksmīgam uzbrukumam dzīvjiem kokiem mizgrauzim ir nepieciešamas vismaz 3-4 siltas dienas virs spietošanas temperatūras robežas pēc kārtas. Mizgraužu aktīvā lidojuma rādiuss ir lielāks par 500 m. Koka inficēšanās riska paaugstinoši faktori ir tā atrašanās 100 m rādiusā no invāzijas zonas, vecums, kas lielāks par 70-100 gadiem, vējgāzes, sausuma periodi, paaugstinātas temperatūras, sniega un ledus bojājumi [6].

Mizgraužu uzbrukums (1.1. attēls) ir izdalāms trīs stadijās: zaļajā, sarkanajā un pelēkā [1]. Agrīnajā, zaļajā, stadijā lapotne joprojām ir dzīva un vizuāli zaļa. Šajā posmā inficēto koku iekšējā mizā attīstās tikko izšķīlusies kāpuru paaudze, kas uzbrūk koku dzīvajiem lūksnes audiem, traucējot barības vielu transportēšanu starp saknēm un lapām, kā rezultātā lapās notiek pakāpeniska hlorofila samazināšanās un visbeidzot sabrukšana [2]. Invadētais koks paliek zaļš līdz jūnija vidum, jūlija beigām, kad lapotnes krāsa mainās uz sarkanu. Sarkanā uzbrukuma stadijā mizgrauži jau ir pametuši savus saimniekkokus un sākuši uzbrukt jauniem kokiem [1]. Egles, kas cieš no mizgraužu invāzijas, var precīzi atpazīt no augusta. Tikai aptuveni pēc 3 gadiem, pelēkā uzbrukuma stadijā koks ir miris un pilnībā zaudējis skujas [2].



1.1. attēls. Mizgraužu uzbrukuma attīstības shēma.

Invadēta koka nāves cēlonis ir ne tikai *I. typographus* barošanas, bet arī ar vabolēm saistītās zilo sēņu sugas. Starp dažādām mizgraužu sugām tika konstatēts, ka *I. typographus* *L.* pārnēsā vairāk patogēnu sēņu nekā citas sugas [6].

1.2 Tālīzpēte mežu postījumu-mizgraužu identifikācijai

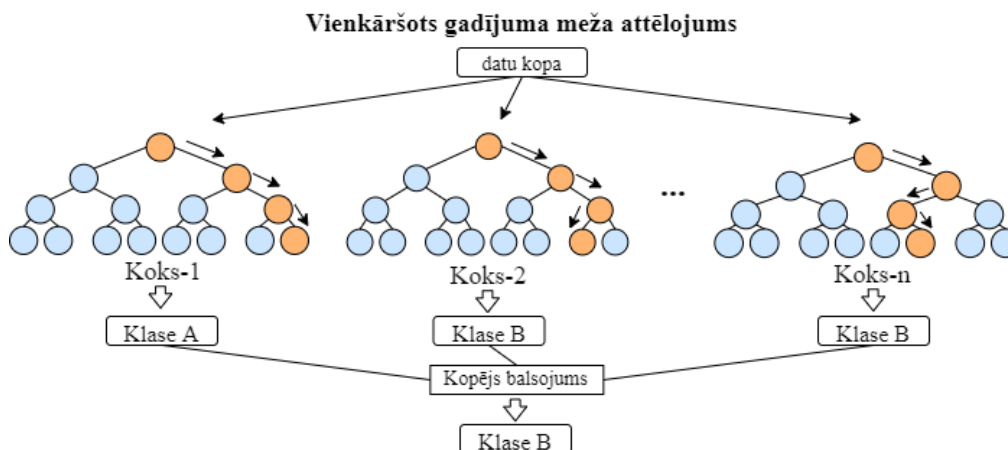
Mizgraužu invāzijas rezultātā tiek izraisītas ūdens, sausnas (lapu sausā satura) un slāpekļa satura izmaiņas [5]. Spektrālie raksturlielumi un spektrālie indikatori, kas vislabāk spēj identificēt uzbrukuma stadijas, balstās uz viļņu joslām, kas saistītas ar hlorofila absorbcijas iezīmēm spektra diapazonā no 450 līdz 890 nm. Neliels daudzums pielietojamo spektrālo raksturlielumu un indikatoru ir atrodamī ievēlīgu infrasarkanajā reģionā spektra diapazonā no 1400 līdz 1800 nm, kas atspoguļo egļu skuju ūdens saturu [2]. Liela nozīme mizgraužu identifikācijai ir tieši identificējamās uzbrukuma stadijas izvēle. Lielā daļā pētījumu tiek identificēta sarkanā uzbrukuma stadija, taču jaunākie pētījumi norāda uz potenciālu mizgraužu identifikāciju pat zaļajā stadijā [5].

Divi izplatītākie tālzpētes datu avoti mizgraužu identifikācijas pētījumiem ir Sentinel-2 un Landsat 8 dati. Sentinel-2 ir Zemes novērošanas satelītu sistēma. Tā piedāvā globālu zemes virsmu pārklājumu, augstu spektrālo izšķirtspēju - 13 joslas ar viļņu garumiem no 422 līdz 2202 nm – telpisko izšķirtspēju no 10 līdz 60 m, kā arī temporālo izšķirtspēju zem 5 dienām [7]. Līdzīgi Landsat 8 ir satelīts Zemes virsmas analīzei dažādos viļņu garumos, sniedzot 9 joslas viļņu garumiem no 433 līdz 1390 nm, līdz ar telpisko izšķirtspēju no 15 līdz 30 m ar atkārtotiem pārlidojumiem katras 16 dienas [8]. Galvenais trūkums šiem datu avotiem ir to nelielā telpiskā izšķirtspēja, kuras rezultātā nav iespējams identificēt postījumus individuāliem kokiem.

Izmantojot pieejamos datus, tālākais tālzpētes mērķis ir izstrādāt piemērotus paņēmienus datu apstrādei un postījumu identifikācijai. Bieži pieņemta metode ir izmantot spektrālos indikatorus, kas tiek aprēķināti no vairākām spektrālajām joslām, kā piemēram, izmantojot NDVI (*Normalized difference vegetation index*) spektrālā indikatora izmaiņu laika gaitā vai pēc indikatora izvēloties robežvērtības virs kurām attēla pikselis tiek klasificēts kā inficēts [5, 9]. Vēl viena pieeja ir datu izmantošana, lai veiktu konkrētus kvantitatīvus spriedumus par pētāmo koku biofizikālajām un bioķīmiskajām īpašībām, kā piemēram, par hlorofila satura (CCC) produktiem, kas tiek salīdzināti ar jau zināmu veselu koku īpašībām [1]. Plaši izplatīta ir dažādu datizraces algoritmu kā lēmumu koku vai gadījuma meža, izmantošana, lai identificētu mizgraužus [2].

1.3 Gadījuma meža datizraces algoritms

Gadījuma meža (*random forest*) algoritms (1.2. attēls) tiek plaši pielietots tālzpētē, lai klasificētu zonas un pikseļus pēc to īpašībām dažādās kategorijās, kā piemēram, lai kategorizētu koku sugas [3]. Tas ir viens no daudziem vadītās (*supervised*) klasifikācijas algoritmiem, līdzās citām populārām metodēm, kā dziļās mašīnmācīšanās (*deep learning*) un neironu tīklu metodēm, kas spēj apgūt pētāmās mērķa klases īpašības no izveidotiem apmācību paraugiem un identificēt šīs apgūtās īpašības neklasificētā datu paraugā.



1.2. attēls. Vienkāršots gadījuma meža attēlojums.

Tas ir atvasināts no lēmumu koku (*decision tree*) algoritmiem, kas tālzpētē tiek plaši lietoti jau no 90. gadiem [2]. Tas sniedz uzticamu klasifikāciju izmantojot lēmumu koku kopumu, kurā liels skaits lēmumu koku klasifikatoru tiek apmācīti, izmantojot nejaušu apmācības paraugu apakškopu, gala rezultātam izrietot no šo lēmumkoku kopējā balsojuma. Tādējādi tiek novērsta pārmērīga modeļa pielāgošana apmācības datiem. Modeļa galvenie parametri ir ģenerējamo lēmumu koku skaits un mainīgo lielumu skaits, kas tiek izvēlēti, audzējot kokus [10]. Pēdējo gadu laikā gadījuma meža algoritms tiek pastiprināti izmantots tālzpētes nozarē tā precīzo rezultātu, izturības pret pārmērīgu pielāgošanu un īsā darbības laika dēļ [10].

2. Pētījuma zona un izmantotie dati

2.1 Pētījuma zona

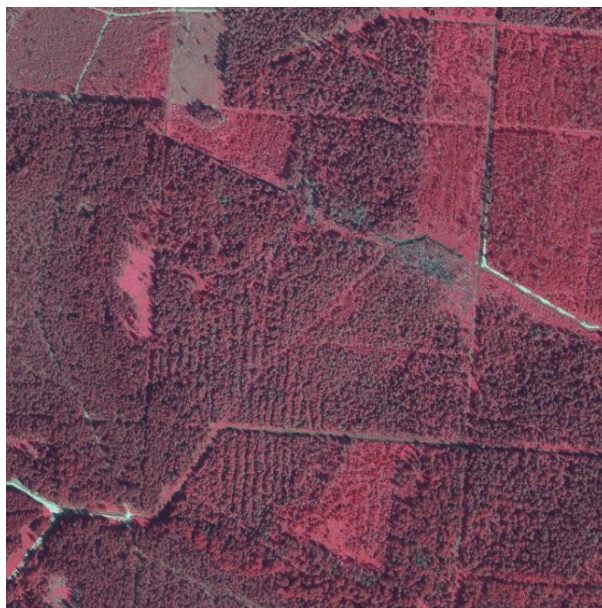
Pētāmā zona ir aptuveni 100,4 ha liela SIA “Rīgas mežu” Daugavas mežniecības teritorija 56°47'03"N (garums) 24°29'56"E (platums). Teritorijas ietvaros ir apsektas platības, kurās 2020. gada maija otrajā pusē ir konstatētas mizgraužu postījumu pazīmes (2.1. attēls) [4]. No apsekotajām platībām zonā ietverti kvartāli, kuros visos mežu tips ir šaurlapju kūdrenis, izņemot vienu kvartālu, kur tas ir damaksnis. Daugavas mežniecības egļu mežaudžu koncentrācija labvēlīgi ietekmē mizgrauža izplatību [4].

2.2 Ortofotokartes attēli

Pētījuma ietvaros pamatdati par pētāmo zonu tiek iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (turpmāk LĢIA). LĢIA vidēji reizi 3 gados veic pilnu Latvija teritorijas ortofotokaršu izveidi. Ortofotokartes ir iegūtas no jaunākā LĢIA 7. aerofotogrāfēšanas cikla 2020. gada pārlidojumiem, kuru ietvaros ar 0.25 m telpisko izšķirtspēju tika iegūtas krāsainās RGB (2.1. attēls) un infrasarkanās CIR (2.2. attēls) ortofotokartes, kopā iegūstot pikseļu informāciju par 4 spektra joslām. Augstā datu telpiskā izšķirtspēja ļauj veikt pētījumu individuālu koku mērogā.



2.1. attēls. © LĢIA 7. cikla RGB attēls ar mizgraužu postījumu teritorijām (dzeltenā).



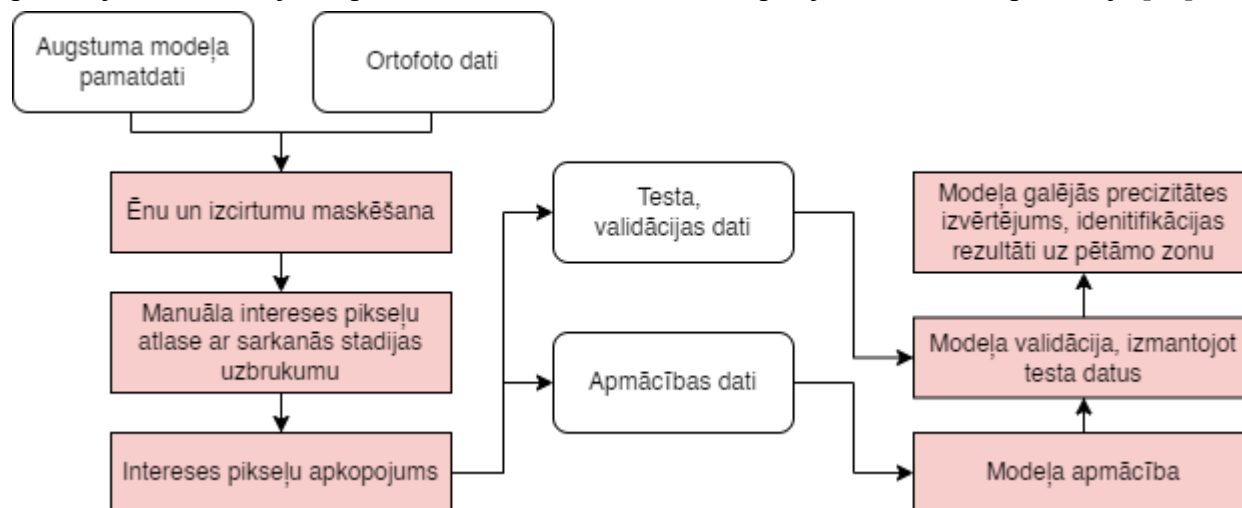
2.2. attēls. © LĢIA 7. cikla CIR attēls.

2.3 Digitālā augstuma modeļa pamatdati

Digitālā augstuma modeļa pamatdati ir klasificētu aerolāzerskenēšanas punktu kopums, kur katram punktam ir zināmas plaknes koordinātas (X,Y) un augstums virs jūras līmeņa, ko kā atvērtos datus piedāvā LĢIA (3.2. attēls). Dati ir automātiski klasificēti pa līmeņiem: zemes virsma, zemā veģetācija, augstā veģetācija, būves. Dati iegūti ar aerolāzerskenēšanas metodi. Kopējais iegūto punktu blīvums ir ne mazāks kā 4 punkti/m² [11]. Digitālie augstuma modeļa pamatdati pētāmajai zonai ir iegūti no 2013. gada pārlidojumiem.

3. Metodes modeļa sagatavošanai un apmācībai

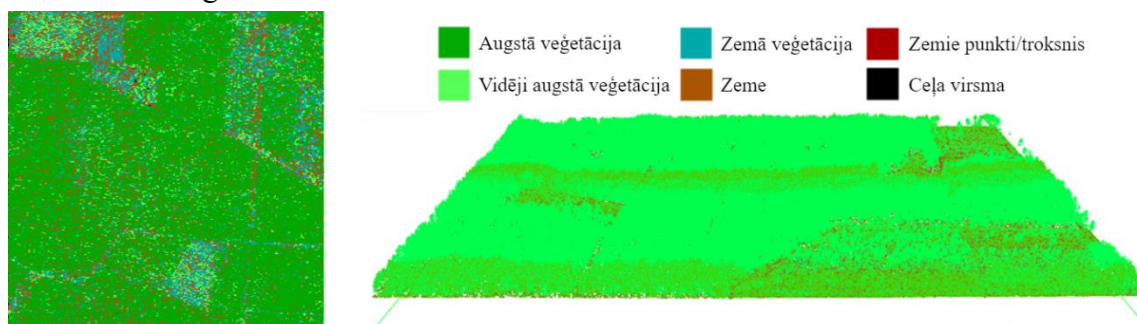
Pētījumā pielietotā metodika sastāv no vairākām daļām (3.1. attēls). Sākotnēji tiek veikta pētāmās zonas nevēlamo pikseļu, kā ēnu un izcirtumu, kas var pasliktināt modeļa precizitāti, ieviešot troksni, maskēšana. Pēc tam manuāli no RGB attēliem tiek atzīmēti un kategorizēti veseli un mizgraužu invadēti koku lapotnes paraugi. Šī pikseļu informācija tiek apkopota vienā tabulā, kopā ar katra pikseļa iepriekš noteikto kategoriju. Tabulas dati tiek sadalīti apmācības un testa datos. Apmācības dati tiek lietoti, lai apmācītu gadījuma meža modeli, bet testa dati, lai izvērtētu tā precizitāti. Visbeidzot, izmantojot iegūto modeli, tiek izveidota mizgrauža invāzijas karte pētāmajai zonai. Pētījumā pielietotais un izstrādātais kods pieejams *GitHub* repozitorijā [14].



3.1. attēls. Pētījumā pielietoto metožu darba plūsma.

3.1 Nevēlamo pikseļu maskēšana

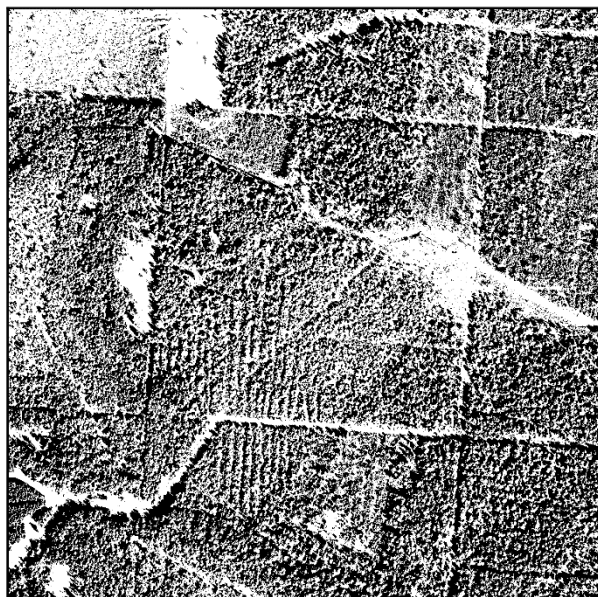
Nevēlamo pikseļu maskēšana ietver divu neatkarīgu masku izveidi, proti, izcirtumu un ēnu maskas. Sākotnēji, izmantojot digitālā augstuma modeļa pamatdatus (3.2. attēls), tiek izveidota izcirtumu maska. Izmantojot klasificēto punktu kopumu LAS formātā, no zemās un augstās veģetācijas klasēm tiek izveidots intensitātes attēls kā 5x5 pikseļu režģis, kur pikseļu grupas vērtība sakrīt ar relatīvo augstumu.



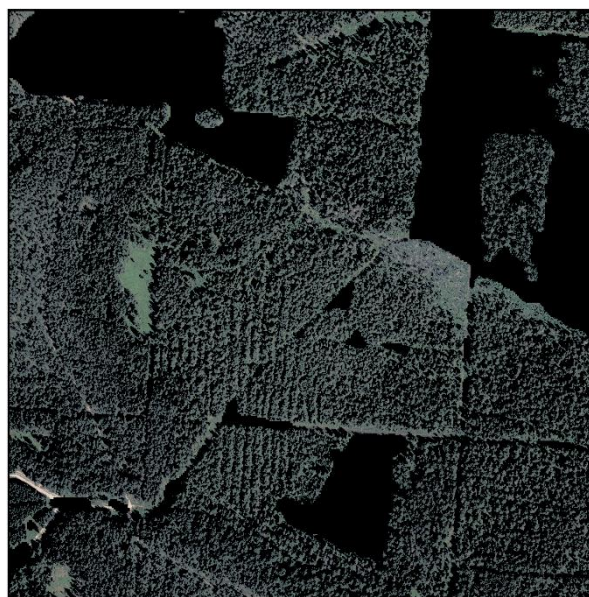
3.2. attēls. Digitālā augstuma modeļa pamatdatu attēlojums no virsskata un 3D.

Tā kā izcirtumu maskēšanas mērķis ir maskēt veselus izcirtumus un nevis individuālus kokus, augstuma intensitātes attēls tiek apstrādāts ar trīs mediānas 5x5 izmēra filtriem, un tikai tad tiek izvēlēta robežvērtība, zem kuras pikseļi tiek klasificēti kā daļa no izcirtuma. Šāda pieeja samazina troksni no nelielām augstas intensitātes pikseļu grupām, veidojot gludu izcirtumu masku.

Ēnu maskas izveide sastāv no vienas RGB ortofotokartes joslas izvēles, pēc kuras tiek noteikta robežvērtība. Pētījumā robežvērtība tiek noteikta pēc zilās attēla joslas. Visi pikseļi zem šīs robežvērtības tiek klasificēti kā ēnas un līdz ar to maskēti (3.3. attēls). Apvienojot šīs abas maskas, tiek iegūta kopējā attēla maska (3.4. attēls), kas tiek uzklāta uz analizējamā attēla.



3.3. attēls. Pētāmās zonas ēnu maska (pikseļi baltā krāsā netiek maskēti).

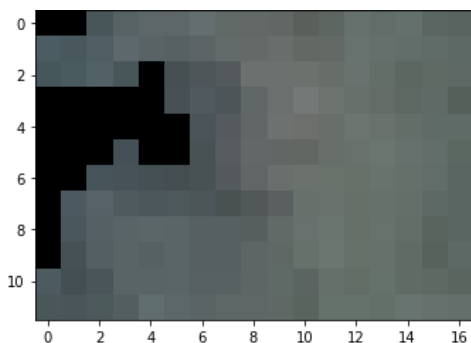


3.4. attēls. Kopējā pētāmās zonas maska (pikseļi melnā krāsā tiek maskēti).

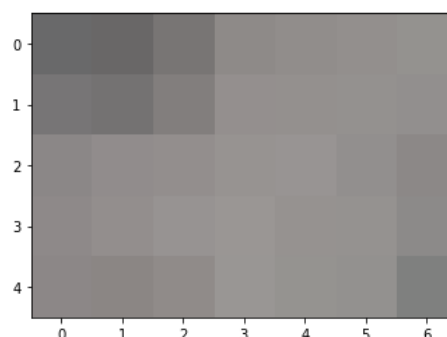
Kā redzams pēc 3.4. attēla izcirtumu maska vairākās vietās nav noslēpusi izcirtumu zonas, un dažviet pat ir maskējusi jaunaudzes, ko var skaidrot ar digitālā augstuma modeļa pamatdatu novecojumu.

3.2 Intereses pikseļu atlase

Intereses pikseļi jeb tā sauktie intereses reģioni tiek atlasīti manuāli (1. pielikums). Šie dati tiek lietoti kā pētījuma pamata patiesie dati, pēc kuriem tiek veikta modeļa apmācība un validācija. Intereses reģioni ir divu kategoriju – veselie (3.5. attēls) un inficētie (3.6. attēls) -, kas tiek piešķirtas reģioniem to atzīmēšanas brīdī.



3.5. attēls. Vesels intereses reģions (RGB).



3.6. attēls. Inficēts intereses reģions (RGB).

Veselie reģioni tiek izvēlēti ar pēc iespējas lielāku izkliedi un satur veselo koku lapotnes pikseļus. Līdzīgi tiek atzīmētas inficēto koku lapotnes, taču ar uzsvāru uz Daugavas mežniecības apsekotajām platībām, kurās ir ticis konstatēts mizgrauzis [4].

3.3 Modeļa apmācības un testēšanas kopu izveide

Tālāk šie mazākie intereses reģioni tiek izmantoti, lai iegūtu pikseļu informāciju no 4 dimensiju matricas, proti, attēla ar 4 joslām, kas satur LĢIA RGB ortofoto sarkano, zaļo, un zilo joslu, kā arī papildus CIR attēla tuvo infrasarkanā (apzīmēta ar Nir) joslu. Šī matrica jau tiek iepriekš sagatavota, izmantojot brīvpieejas programmatūru *QGIS* [12]. Pikseļu informācija tiek attiecīgi apkopota tabulā (3.1. tabula). Inficēto un veselo kategoriju pikseļu intensitātes iespējams salīdzināt, izmantojot kastu diagrammas (2. pielikums).

3.1. tabula

Spektrālo joslu pikseļu intensitātes vērtības kategorijām: vesels, inficēts.

| ID | Kategorija | Sarkanā | Zaļā | Zilā | Nir |
|-------|------------|---------|------|------|-----|
| 1 | Vesels | 96 | 108 | 108 | 125 |
| 2 | Vesels | 102 | 114 | 112 | 124 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24831 | Vesels | 77 | 88 | 86 | 146 |
| 24832 | Inficēts | 110 | 114 | 118 | 103 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 39577 | Inficēts | 142 | 152 | 144 | 176 |

Tālāk 30% no šiem datiem tiek iedalīti kā testa dati un 70% kā apmācības dati. Apmācības dati tiek lietoti, lai apmācītu izvēlēto gadījuma meža klasifikatoru.

3.4 Modeļa izveide, apmācība, validācija un izvērtējums

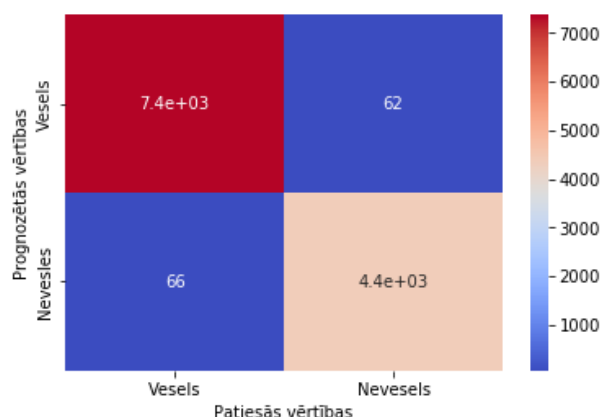
Modelis - algoritma izpausme, struktūra, ko ģenerē algoritms, kas ir apmācīta atpazīt noteiktu veidu sakarības, lai pēc noteiktiem ievades datiem veiktu prognozes par pētāmo problēmu, - tiek izveidots, izmantojot bezmaksas mašīnmācīšanās *python* programmēšanas valodas bibliotēku *scikit-learn* [13]. Modeļa apmācības parametri tika uzstādīti, balstoties uz pamata pieņemtajiem, standarta parametriem: ģenerējamo lēmumu koku skaits tika uzstādīts kā 500, un mainīgo lielumu skaits, kas tiek izvēlēti, audzējot kokus, tika uzstādīts kā kvadrātsakne no kopējo mainīgo skaita [10].

Pēc modeļa apmācības testa dati tiek izmantoti, lai analizētu modeļa spēju uzticami identificēt mizgrauzi Latvijas teritorijā, izmantojot LĢIA datus. Tiek izveidota kļūdu matrica (4.1., 4.2. attēls), analizēts 1. veida un 2. veida kļūdu skaits, kā arī aprēķināta modeļa precizitāte.

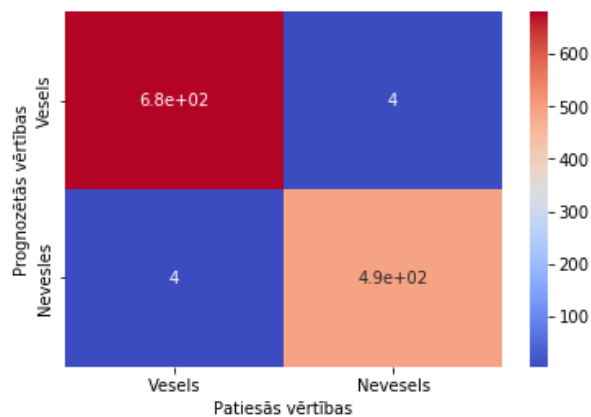
Visbeidzot iegūtais gadījuma meža modelis tiek lietots, lai klasificētu visus pētāmās zonas (2.1. attēls) pikseļus. Rezultātā tiek iegūta matrica jeb attēls, kur ar maksimālo pikseļa intensitāti tiek atzīmētas meža postījumu-mizgraužu identificētās teritorijas. Rezultējošajā attēlā ir liels daudzums izkaisītu individuālu pikseļu, kas ir identificēti kā inficēti ar mizgrauzi. Zinot attēlu telpisko izšķirtspēju, proti, 0.25 m un ņemot vērā, ka mizgrauža sarkanās uzbrukuma stadijas gadījumā jau lielākā daļa no lapotnes ir mainījusi krāsu, var secināt, ka šie pikseļi nesniedz konkrētu informāciju par inficētu koku un ir uzskatāmi par troksni. Lai atbrīvotos no šiem individuālajiem pikseļiem (līdzīgi kā ēnu maskēšanā), tiek pielietots mediānas filtrs, tikai šoreiz ar lielumu 3x3, un izvēlēta robežvērtība, zem kuras trokšņainie pikseļi tiek izdzēsti. Šis attēls tad tiek apvienots ar ortofoto un pārveidots par meža postījumu-mizgraužu identificēto teritoriju kartētu slāni, ko var analizēt dažādās ģeogrāfiskās informācijas sistēmās GIS.

4. Rezultāti un analīze

Izmantojot apmācīto modeli, lai klasificētu testa datus, tika iegūta 99% precizitāte, proti, no 11874 kopējiem pikseļiem 128 pikseļi tika identificēti nepareizi. Pēc kļūdu matricas (4.1. attēls) ir iespējams spriest par 1. veida un 2. veida kļūdām, attiecīgi pikseļiem, kas prognozēti kā neveseli, bet patiesībā ir veseli, un pikseļiem, kas prognozēti kā veseli, bet patiesībā ir neveseli. No dotās kļūdu matricas 1. veida kļūdu daudzums ir 66, bet 2. veida kļūdu daudzums – 62, proti, abu kļūdu veidi ar aptuveni vienādā daudzumā.

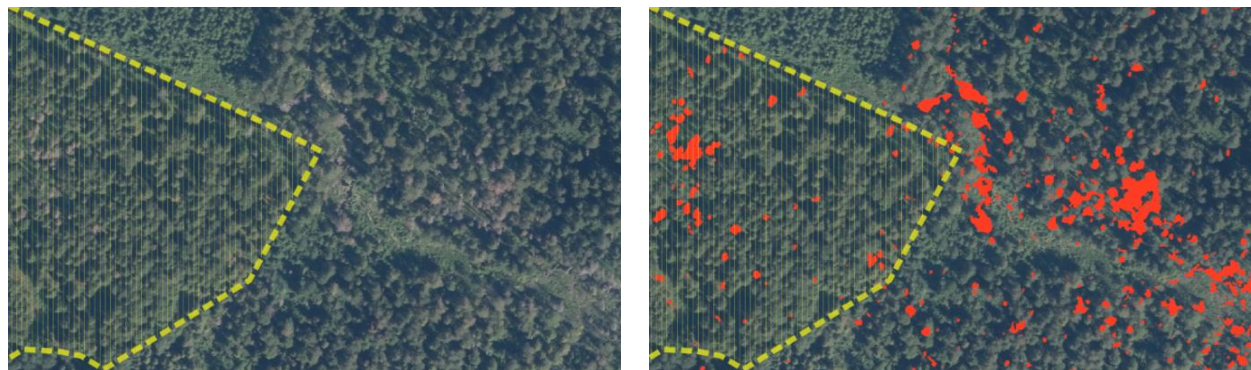


4.1. attēls. Iegūtā modeļa kļūdu matrica.



4.2. attēls. Iegūtā modeļa kļūdu matrica datiem no citas zonas.

Pēc iegūtā modeļa izmantošanas, lai klasificētu visas pētāmās zonas pikseļus un pēc trokšņa samazināšanas, pielietojot mediānas filtru, izveidotais kopējais invāzijas attēls precīzāk parāda modeļa spēju identificēt meža postījumus-mizgrauzi. Aplūkojot iegūto attēlu (3. pielikums), var novērot, ka tas kopumā veiksmīgi identificē mizgraužu postījumu vietas (4.3. attēls).



4.3. attēls. pietuvinājums noteiktam pētāmās zonas reģionam, kurā attēlota apsekotā platība ar konstatētu mizgrauzi (dzeltenā raustītā līnija), kā arī modeļa identificētās mizgraužu teritorijas (sarkanā).

Uzmanība būtu jāpievērš aizdomīgi augstajai modeļa precizitātei. Lai gan gadījuma meža modelis ir izturīgs pret pārmērīgu pielāgošanu, citi autori izpētījuši, ka gadījuma meža algoritms nav bijis piemērots pārņemšanai uz citām zonām [10]. Saistībā ar augsto modeļa novērtēto precizitāti būtu nepieciešams modeli validēt, izmantojot arī citas pētāmās zonas datus.

Šī iemesla dēļ, sekojot identiskām procedūrām, tika sagatavota validācijas datu kopa no citas pētāmās zonas, kur arī ir ticis identificēts mizgrauzis. Rezultējošā modeļa precizitāte arī ir 99%, kur 1. veida un 2. veida kļūdu daudzums ir 4 (4.2. attēls). Tiesa gan, jāpiemin, ka validācijas datu zona arī tika ņemta no SIA "Rīgas mežu" Daugavas mežniecības un, iespējams, atšķirības starp pētāmo un validācijas zonu nav pietiekami lielas, lai tās kategorizētu kā dažādas.

Nozīmīgs pašreizējās metodikas trūkums ir nepilnīgā maskēšana, kā rezultātā pētāmajā zonā (3. pielikums) daudzviet objekti, kā zemes ceļi vai nesen nocirsti koki, tiek identificēti kā inficēti ar mizgrauzi. Šīs kļūdu zonas netika iekļautas modeļa validācijā un līdz ar to kļūdu matricā, jo galvenais pētījuma objekts ir koku lapotnes - zemes ceļu un izcirtumu pikseļu informācija netika ietverta datu sagatavē, atlasot intereses pikselus. Kā jau minēts, izcirtumu nepilnīgo maskēšanu var skaidrot ar LĢIA digitālā augstuma modeļa pamatdatu novecojumu – tie ir iegūti 2013. gadā - , kas pamato šo datu atjaunošanas nepieciešamību. Piemērota maskēšana ne tikai novestu pie mazāk kļūdām modeļa mizgraužu identifikācijā, bet arī pie ātrākas modeļa darbības, samazinot analizējamo pikseļu skaitu.

Cita metodikas problēma ir ar mizgrauzi inficēto koku, proti, intereses pikseļu atlase, veidojot datu kopas. Pašreizējā pieeja, kur apsekotajās platībās manuāli no pētāmajiem datiem tiek atlasīti koki ar sarkanu lapotni, nav pilnīgi precīza. Šāda pieeja arī varētu būt viens no skaidrojumiem modeļa augstajai precizitātei, jo tiek atlasīti tikai vizuāli viegli identificējami koki ar sarkanām lapotnēm, rezultējot viegli atšķiramā datu kopā, kas noved pie augstas precizitātes.

Lielākais trūkums LĢIA datu pielietojumā ir to ļoti zemā temporālā izšķirtspēja, proti, šie dati tiek atjaunoti tikai reizi 3 gados. Šis pētījums pierāda to veiksmīgu pielietojumu tādiem uzdevumiem kā mizgraužu detektēšana, līdz ar to ir pamats izvērtēt šo datu biežāku iegūvi visā teritorijā vai arī konkrētu pētījumu gadījumā.

Kopumā augstā modeļa precizitāte gan norāda uz LĢIA datu piemērotību mežu postījumu-mizgraužu identifikācijai sarkanajā uzbrukuma stadijā. Modelis ir veiksmīgi spējīgs vizuāli identificēt mizgraužu inficētos kokus, gan apsekotajās platībās, gan ārpus tām (4.3. attēls). Tā kā apsekotās platības, kur ticis konstatēts mizgrauzis ir tikai apsektas zonas un nevis individuāli koki, specifiskiem apsekojumiem, kur mizgrauža sarkanā uzbrukuma stadijas invāzija tiek identificēta individuālu koku mērogā, vajadzētu tikt veiktiem, lai izveidotu piemērotus apmācības datus, kas apstiprinātu šāda modeļa spēju identificēt reālus mizgrauža sarkanās stadijas uzbrukumus.

Šādi individuāli apsekojumi arī iespējotu jaunus pētījumus, kur varētu tikt pētīta LĢIA un citu datu spēja identificēt mizgrauzi meža zonu vai individuālu koku līmenī pat zaļajā uzbrukuma stadijā, kad koks ir vizuāli zaļš, taču atstarojuma intensitāte joslās kā tuvajā infrasarkanajā jau ir sākusi mainīties. Saasinoties globālajām klimatiskajām pārmaiņām, mizgraužu invāzija var kļūt par daudz nopietnāku problēmu ar nepieciešamību pēc daudz efektīviem mizgraužu identifikācijas paņēmieniem. LĢIA pieejamie dati kopā ar gadījuma meža modeli sniedz vienu šādu potenciālo paņēmieni.

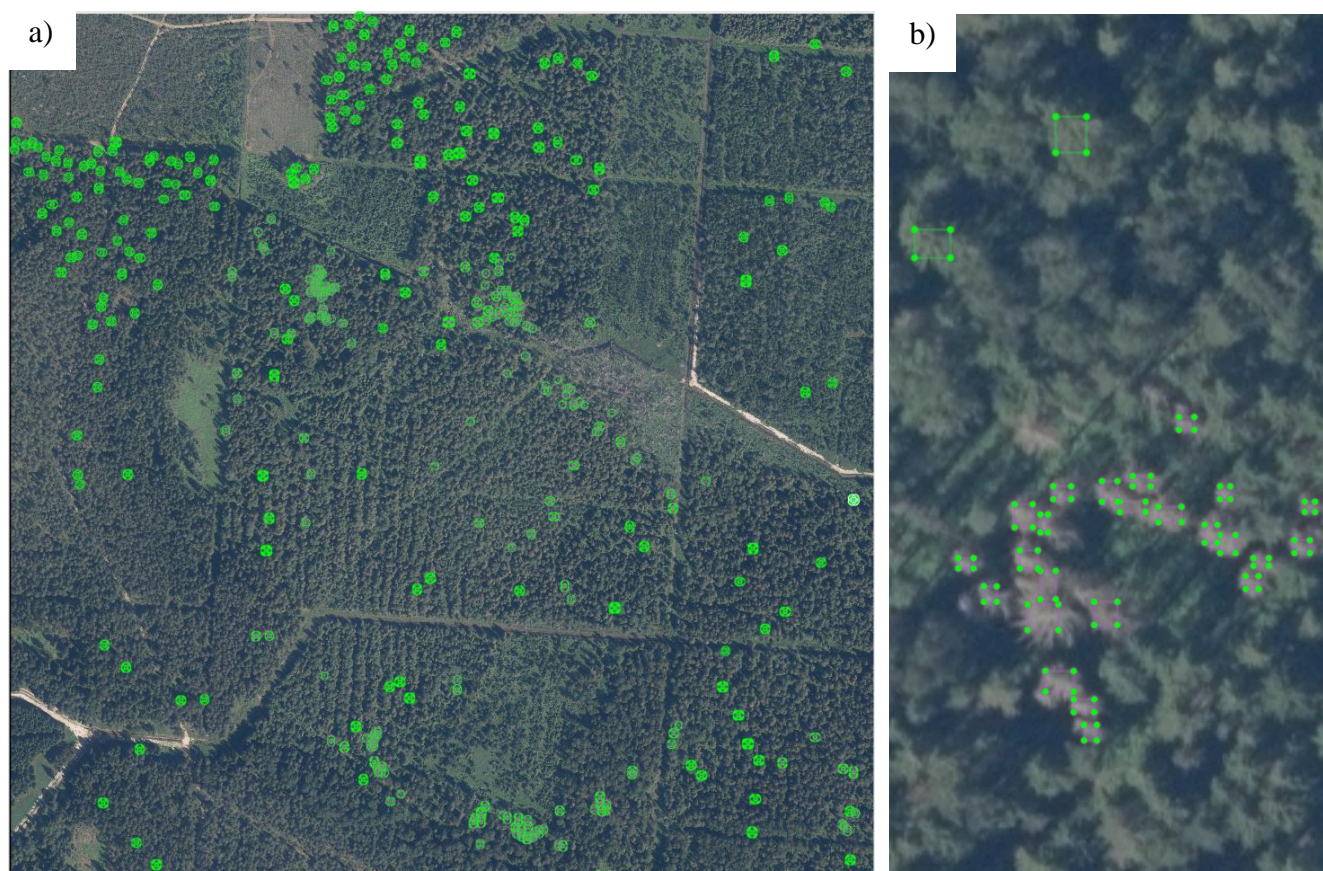
Secinājumi

1. LĢIA brīvpieejas dati var tikt izmantoti, lai veiksmīgi identificētu mežu postījumus un mizgraužu sarkano uzbrukuma stadiju Latvijas teritorijā, izmantojot gadījuma meža datizraces algoritmu.
2. Lai efektīvi spētu lietot LĢIA datus mizgrauža identifikācijai ir jāuzlabo datu temporālā izšķirtspēja.
3. Lai veiksmīgi uzraudzītu un pētītu mizgraužu bojājumus un to uzbrukuma stadiju identificēšanu, nepieciešams veikt specifiskus apsekojumus, kur tiek identificētas konkrētas mizgraužu uzbrukuma stadijas individuālu koku mērogā.
4. Tālākiem pētījumiem vajadzētu tikt veiktiem saistībā ar LĢIA datu piemērotību identificēt Eiropas egļu astoņzobu mizgrauža zaļo uzbrukuma stadiju Latvijas teritorijā.

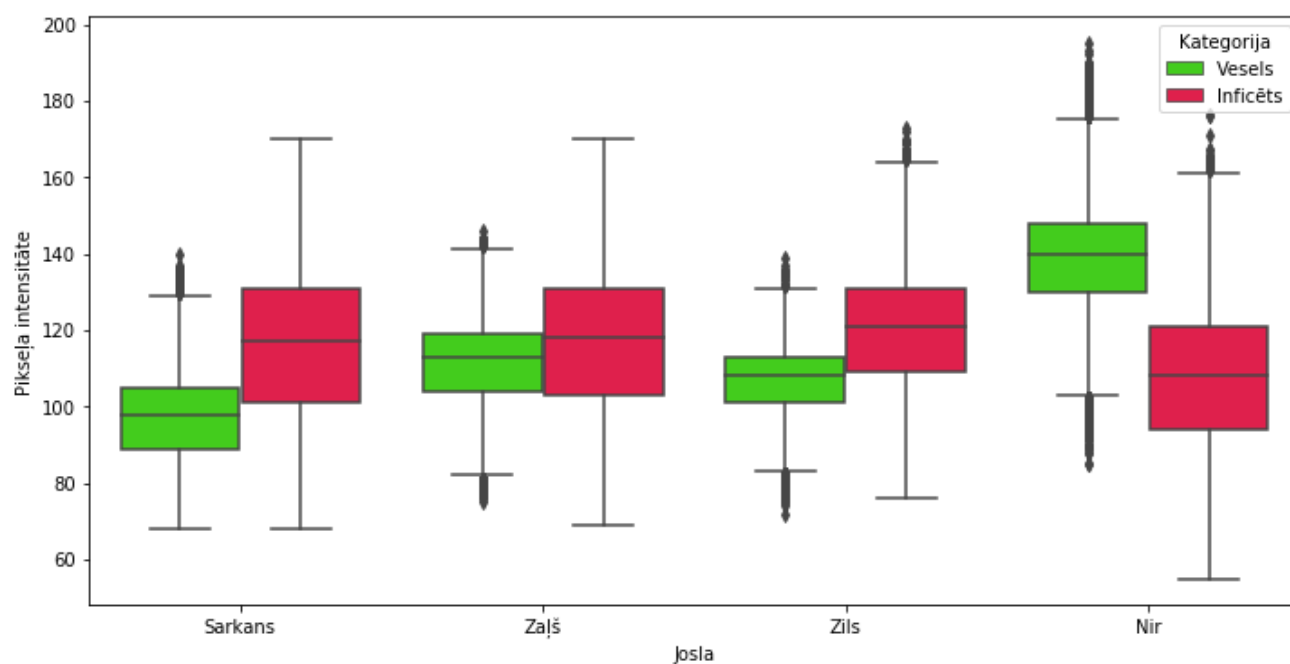
Literatūras saraksts

- [1] A. M. Ali *et al.*, “Canopy chlorophyll content retrieved from time series remote sensing data as a proxy for detecting bark beetle infestation,” *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, vol. 22, no. August 2020, p. 100524, 2021, doi: 10.1016/j.rsase.2021.100524.
- [2] A. Lausch, M. Heurich, D. Gordalla, H. J. Dobner, S. Gwilym-Margianto, and C. Salbach, “Forecasting potential bark beetle outbreaks based on spruce forest vitality using hyperspectral remote-sensing techniques at different scales,” *For. Ecol. Manage.*, vol. 308, pp. 76–89, 2013, doi: 10.1016/j.foreco.2013.07.043.
- [3] A. Fernandez-Carrillo, Z. Patočka, L. Dobrovolný, A. Franco-Nieto, and B. Revilla-Romero, “Monitoring bark beetle forest damage in central europe. A remote sensing approach validated with field data,” *Remote Sens.*, vol. 12, no. 21, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/rs12213634.
- [4] A. Seļezņovs, “Atskaite par egļu audzēm 2020 . gadā SIA ‘ Rīgas meži ’ apsaimniekotajās platībās,” 2020.
- [5] H. Abdullah, A. K. Skidmore, R. Darvishzadeh, and M. Heurich, “Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8,” *Remote Sens. Ecol. Conserv.*, vol. 5, no. 1, pp. 87–106, 2019, doi: 10.1002/rse2.93.
- [6] B. Wermelinger, “Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* - A review of recent research,” *For. Ecol. Manage.*, vol. 202, no. 1–3, pp. 67–82, 2004, doi: 10.1016/j.foreco.2004.07.018.
- [7] M. Drusch *et al.*, “Sentinel-2: ESA’s Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 120, pp. 25–36, 2012, doi: 10.1016/j.rse.2011.11.026.
- [8] I. Yang and T. D. Acharya, “Exploring Landsat 8,” *Int. J. IT, Eng. Appl. Sci. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 2319–4413, 2015, [Online]. Available: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/>.
- [9] D. F. Gomez, H. M. W. Ritger, C. Pearce, J. Eickwort, and J. Hulcr, “Ability of remote sensing systems to detect bark beetle spots in the southeastern US,” *Forests*, vol. 11, no. 11, pp. 1–10, 2020, doi: 10.3390/f11111167.
- [10] M. Belgiu and L. Drăgu, “Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 114, pp. 24–31, 2016, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011.
- [11] “Digitālais augstuma modelis | Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra.” <https://www.lgia.gov.lv/lv/digitalais-augstuma-modelis-0> (accessed Jan. 03, 2022).
- [12] “Welcome to the QGIS project!” <https://www.qgis.org/en/site/index.html> (accessed Jan. 08, 2022).
- [13] “sklearn.ensemble.RandomForestClassifier — scikit-learn 1.0.2 documentation.” <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html> (accessed Jan. 08, 2022).
- [14] Kellijs, L. (2022). Meža postījumu – mizgraužu identifikācija ar tālīzpētes palīdzību Latvijas teritorijā [Computer software]. <https://github.com/lukass16/Bark-Beetle-Detection-in-Latvia>

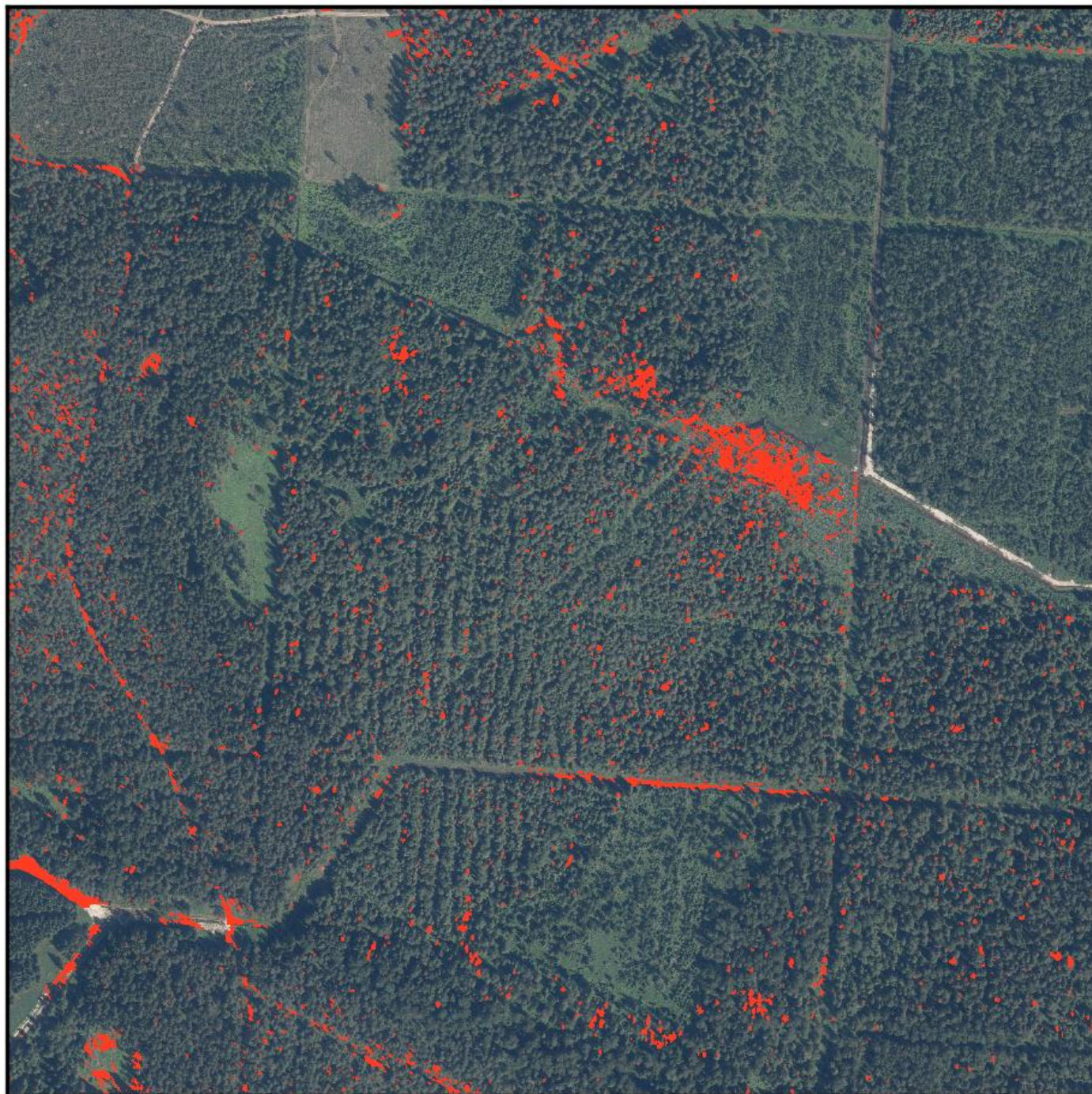
Pielikumi



1. pielikums. a) Atlasītie interese reģioni visā pētāmajā zonā (zaļā). b) Pētāmās zonas pietuvinājums ar inficētiem (gaiši violetā) un veseliem (zaļā) atlasītajiem reģioniem.



2. pielikums. Kastu diagrammas pikseļu intensitātei veseliem un inficētiem pikseļiem attiecīgi sarkanajā, zaļajā, zilajā un tuvajā infrasarkanajā (Nir) joslā.



3. pielikums. Modeļa identificētās meža postījumu-mizgraužu teritorijas (sarkanā) pētāmajā zonā.