

**LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTES
MEŽA FAKULTĀTE**

A/S „Latvijas valsts meži” projekta

**Attālās zondēšanas metožu, multispektrālo un termālo
aerofoto un satelītuzņēmumu praktiskās pielietošanas
iespēju izpēte meža resursu uzskaitē un
apsaimniekošanā 2.daļa”**

ATSKAITE

JELGAVA 2008

Saturs

Kopsavilkums	3
Anotācija	4
1.Problēmas pamatnostādnes	4
1.1. Ar attālās zondēšanas metodēm iegūtā vainagu klāja veģetācijas indeksa vērtējums	5
1.2. NDVI analīze un dažāda pārklājuma veģetācijas indeksa korekcijas atkarībā no veģetācijas stāvokļa	6
1.3. Sakarības starp mežaudzes parametriem un Landstat TM spektra analīzes datiem .	6
2.Materiāli un metodika	7
2.1. Satelīta attēlu specifikācija, testa reģiona izvēle.....	7
2.2. Saņemto attēlu apstrādāšana	8
2.3. Meža inventarizācijas datu atlasīšana	11
2.3.1. Veģetācijas indeksu un meža taksācijas rādītāju sakarību noteikšana.....	11
2.3.2. Mākslīgo neironu tīklu tehnoloģiju izmantošana meža taksācijas rādītāju un satelītainu spektra sakarību noteikšanā	15
2.3.3. Jaunaudžu teritoriju atlasīšana	17
2.3.4. Audžu veselības stāvokļa noteikšana	17
3. Rezultāti un diskusija	18
3.1. Veģetācijas indeksu un meža inventarizācijas datu sakarību noteikšana	18
3.1.1. SNDVI indeksa sakarību noteikšana ar inventarizācijas datiem	18
3.2. Satelītainu SPOT-5 visa spektra vērtību korelācija ar inventarizācijas datiem izmantojot mākslīgos neironu tīklus	26
3.3. Veģetācijas indeksu salīdzināšana starp dažādā laikā uzņemtiem attēliem.....	29
3.4. Veģetācijas indeksa korelācijas noteikšana ar parauglaukuma datiem.....	35
3.5. Veģetācijas indeksa NDVI pielietošana postījumu skartās mežaudzes daļas noteikšanai	36
Secinājumi:	39
Priekšlikumi:	40
Izmantotā literatūra:	40
1.PIELIKUMS	42

Kopsavilkums

Projekta izpildītāji

Vārds, uzvārds	Amats, grāds	Institūcija
Dagnis Dubrovskis	dekāns, docents, dr.silv., projekta vadītājs	LLU MF
Juris Zariņš	asistents, bc.silv. maģistrants	LLU MF
Salvis Daģis	inženieris programmētājs, mg.sc.ing., 1.gada doktorands	LLU ITF
Sergejs Arhipovs	docents, Mg.sc.ing., 3.gada doktorands	LLU ITF
Gints Priedītis	1.gada maģistrants ing.,	LLU MF
Aldis Pecka	students	LLU ITF
Ingus Šmits	2.gada maģistrants, asistents bc.sc.ing.,	LLU ITF
Romans Veinbergs	pētnieks, mg.silv.	LLU MF
Valērijs Grunda	lektors, mg.silv.	LLU MF

Projekta mērķis

Attālās zondēšanas metožu, multispektrālo un termālo aerofoto un satelītuzņēmumu praktiskās pielietošanas iespēju izpēte meža resursu uzskaitē un apsaimniekošanā.

Projekta uzdevumi

Veikt pētījumu A/S “Latvijas valsts meži” apsaimniekojamos mežos Rietumvidzemes mežsaimniecības teritorijā (ar platību līdz 50 tūkst. ha), nodrošinot sekojošu uzdevumu izpildi:

1. Kopējie (sākuma) uzdevumi

- 1.1. Pamatojoties uz pētījuma 1.daļas rezultātiem pasūtīt ortorektificētus norādītā testa reģiona aktuālus un vēsturiskos multispektrālos vidējas (SPOT-5 (20m)) un LANDSAT 30m) izšķirtspējas veģetācijas perioda satelītu attēlus;
- 1.2. Atbilstoši zinātniskā pētījuma 1. posma laikā izstrādātajai metodikai sagatavot attēlu klasifikācijas atbalsta datu – parauglaukumu un/vai meža resursu monitoringa datu kopas;
- 1.3. Sagatavot norādītā testa reģiona meža inventarizācijas datus – meža digitālo karti cirsmu un meža resursu datu bāzi. Sagatavot „meža maskas” digitālo slāni (klasifikācijas, pētījumus ierobežojošais poligons), izmantojot meža digitālo karti.

2. Konkrētie izpētes jomu uzdevumi

- 2.1. Jaunaudžu kopšanas ciršu nepieciešamības novērtējums
 - 2.1.1. Jaunaudžu kopšanas nepieciešamības novērtējuma procedūras sagatavošana, izmantojot sagatavotos satelītu attēlus, ierobežojot pētījumu ar jaunaudžu platību „masku” (no meža digitālās kartes un meža resursu datu bāzes);
 - 2.1.2. Optimālo spektra joslu (kombināciju) un klasifikācijas veida noteikšana, izmantojot klasifikācijas atbalsta parauglaukumu mērījumus, sadalījumā pa valdošo koku sugu nogabaliem;
 - 2.1.3. Lauku apsekošanas un klasifikācijas atbilstības novērtēšana;
 - 2.1.4. Rezultātā izveidota atlasīto jaunaudžu karte par objektiem, kur konstatēta jaunaudžu kopšanas ciršu nepieciešamība.
- 2.2. Iespējamo bojāto meža platību noteikšana

- 2.2.1.Optimālo spektra joslu (kombināciju) un klasifikācijas veida noteikšana, lai, izmantojot iepriekšējo gadu (atbilstoši vēsturisko satelītu attēlu uzņemšanas laikam) satelītu uzņēmumus, noteiktu meža bojājumus- bojāto teritoriju veģetācijas indeksa izmaiņas un veselu audžu veģetācijas indeksus sadalījumā pa sugām (tīraudzes), sugu sastāva veidiem apvienojumā ar vecuma pakāpēm.
- 2.2.2.Iegūto rezultātu novērtējums, salīdzinot klasifikācijas rezultātus jaunākajos satelītu uzņēmumos ar atbilstoši meža inventarizācijas materiāliem noteiktām veselu audžu eventuālajiem veģetācijas indeksiem.
- 2.2.3.Iespējamo bojāto teritoriju lauka apsekošana, veicot mērījumus ar GPS.
- 2.2.4.Lauku apsekošanas rezultātu un klasifikācijas rezultātu atbilstības novērtēšana.

Anotācija

Satelītu uzņēmumu izmantošana mežsaimniecībā ar mērķi veikt veģetācijas izmaiņu analīzi tiek lietota galvenokārt informācijas iegūšanai par liela pārklājuma teritorijām. Datu analizēšanai tiek pelietoti attālās izpētes materiālu vadītās un nevadītās klasifikācijas principi.

Kā galvenais ieguvums no satelītu uzņēmumu pielietošanas jāmin liela pārklājuma datu iegūšanas iespējas. Pētījuma mērķis ir novērtēt vidējas 10 – 30 m izšķirtspējas satelītu uzņēmumu lietošanas iespējas, izstrādāt ekonomiski pamatotu datu sagatavošanas un analīzes metodi turpmāku meža apsaimniekošanas uzdevumu risināšanai.

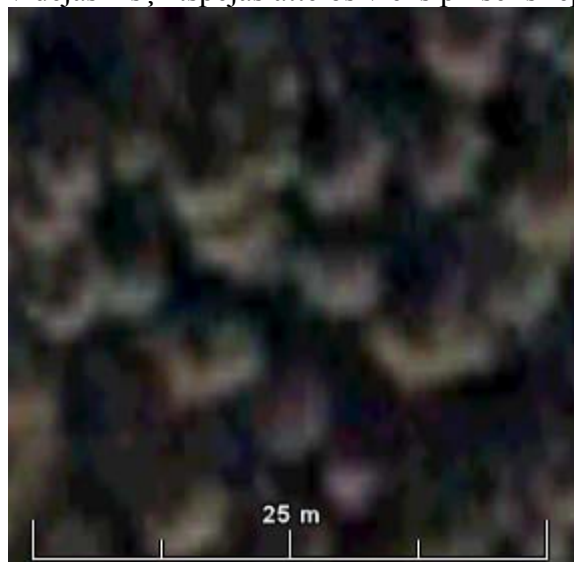
Līdz šim veiktie augstas izšķirtspējas satelītattēlu pētījumi par koku sugu pārklājumu teritoriju identificēšanu ir sekmīgi attiecībā uz atsevišķu sugu, galvenokārt skuju koku – priežu un egļu tīraudžu atpazīšanu. Tālākas datu apstrādes iespējas maz pētītas. Lai arī satelītu attēli satur informāciju par liela pārklājuma teritoriju, lielākā problēma ir datu iegūšanas interpretēšana un operativitāte. Tas saistīts ar attēlu pasūtīšanu, satelītu pārprogrammēšanu, konkrētas teritorijas atkārtotas pārlidošanas biežumu, laika apstākļu ietekmes varbūtību. Minēto iemeslu dēļ pašreiz nav iespējams satelītu informāciju lietot operatīvām vajadzībām, bet lietot kā vispārējas novērtēšanas instrumentu. Lai sniegtu ticamu satelītu pielietojuma vērtējumu, pētījumā iekļauta meža inventarizācijas datu iegūšana ar vidējas izšķirtspējas satelītu attēlu analīzes metodēm. Pētījuma uzdevuma veikšanai lietoti dati, kas iegūti parauglaukumu mērījumos un analizēta meža valsts reģistra meža inventarizācijas datu kopa. Ņemot vērā to, ka satelīta uzņēmumu izpētes iespējas limitē to augstās izmaksas, projektā tika pētītas atsevišķa satelīta attēla interpretēšanas iespējas.

Pētījuma rezultāti liecina, ka vidējas izšķirtspējas satelītu uzņēmumus iespējams efektīvi izmantot saimnieciskās darbības kontrolei analizējot veģetācijas indeksa izmaiņas dažādos laikos uzņemtos attēlos. Vidējas izšķirtspējas satelīta attēli nav pielietojami mežaudžu veselības stāvokļa un saimniecisko pasākumu nepieciešamības prognozēšanai atsevišķā teritorijā.

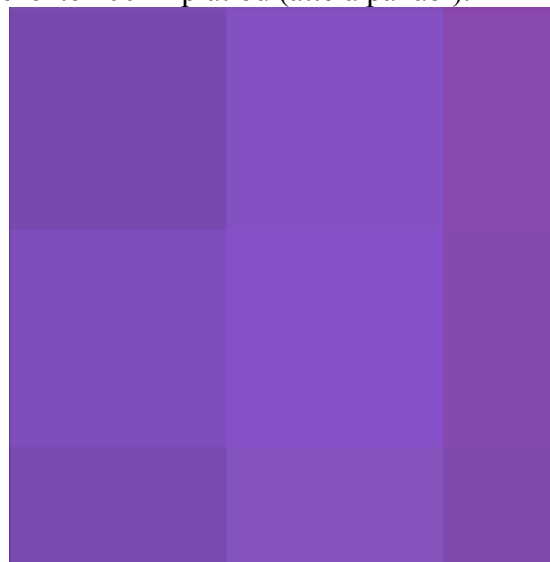
1.Problēmas pamatnostādnes

Attīstoties jaunākajām attālās novērošanas tehnoloģijām un fotogrammetrijas metodēm aktuāla kļūst to pielietošana meža inventarizācijā. Svarīga ir iegūto datu interpretācija un attiecināšana uz atsevišķas mežaudzes taksācijas datiem, nodrošinot iespējas turpmāku saimnieciskās darbības nepieciešamības automatizētai noteikšanai. Atbilstoši pasūtītāja uzstādījumiem, projektā tika pētīta vidējas (SPOT-5 (10m)) un

LANDSAT 25m) izšķirtspējas multispektrālo veģetācijas perioda satelītu attēlu pielietojšanas iespējas. Ņemot vērā to, ka vidējas izšķirtspējas attēlos iespējams rekogniscēt koku grupas, mežaudzes, bet nav iespējams noteikt atsevišķu koku, galvenā uzmanība tiek veltīta vainaga klāja atpazīšanai un raksturojošu parametru noteikšanai. Vizuāls salīdzinājums starp augstas un vidējas izšķirtspējas satelītattēliem dots 1.1.attēlā. Augstas izšķirtspējas attēlos (attēlā pa kreisi) viens pikselis reprezentē 1m^2 platību, vidējas izšķirtspējas attēlos viens pikselis reprezentē 100m^2 platību (attēlā pa labi).



Augstas izšķirtspējas satelītattēls, izšķirtspēja 1 m



Vidējas izšķirtspējas satelītattēls, izšķirtspēja 10 m

1.1.attēls. Satelītattēlu izšķirtspējas raksturojums

Pētījumā tika izvirzīts uzdevums rast pielietojumu vidējas izšķirtspējas satelītu attēlu informācijas izmantošanai meža apsaimniekošanas plānošanas uzdevumu risināšanā.

1.1. Ar attālās zondēšanas metodēm iegūtā vainagu klāja veģetācijas indeksa vērtējums

Jaunāko pētījumu (R. Nemani; L. Pierce; S. Running; L. Band. 1993.) rezultāti liecina, ka meža apklātās platības un vainagu klāja virsmas indeksa izmaiņu dinamiku var raksturot lietojot sakarības starp tuvējo infrasarkanā un sarkano staru atstarojumu. Tomēr pierādīts, ka ir ļoti grūti attēlot pareizi LAI (vainaga klāja indekss, Leaf Area Index) telpisko izkārtojumu nelielās platībās, mazos mērogos un mikrorajonos. Galvenā problēma TM (Thematic Mapper (Landsat 7)) ir vainagu virsmas saslēgšanās variācijas, otrā stāva un pameža stāvoklis, kurš būtiski ietekmē tuvējo infrasarkanā staru atstarošanu. Izmantojot kombinācijas no sarkanā, tuvējā infrasarkanā un vidējā infrasarkanā atstarojuma, kas tika iegūti ar Landsat Thematic Mapper (TM) un simulācijas sistēmu (RHESSys) tika ģenerēti potenciālie veģetācijas modeļi, kas tika salīdzināti ar Landsat iegūtajiem datiem un testēta meža ekosistēmu procesu jūtība atkarībā no LAI novērtējuma. Pētījumu rezultāti liecina, ka Landsat TM mērogā sakarības starp NDVI (Normalizētais veģetācijas indekss, The normalized difference of the vegetation index) un LAI ir nebūtiskas. Būtiskuma samazināšanās saistāma ar zem pirmā stāva vainaga esošās veģetācijas un uz zemsedzes ietekmi, kas ietekmē tuvējo

infrasarkanā starojumu, sevišķi, ar nesaslēgtu vainaga klāju. Vidējo infrasarkanā staru korekcijas faktors darbojas kā skalārs vainaga virsmas saslēgšanās pārklājums, tam samazinoties veģetācijas indekss NDVI nesaslēgtiem vainagiem palielinās, uzlabojot sakarības starp NDVI un LAI

1.2. NDVI analīze un dažāda pārklājuma veģetācijas indeksa korekcijas atkarībā no veģetācijas stāvokļa

NDVI ir visplašāk lietotais veģetācijas indekss veģetācijas pārklājuma biofizikālo īpatnību koriģēšanai. Vairākos pētījumos (Zhangyan Jiang, Alfredo R. Huete, Jin Chen, Yunhao Chen Jing Li, Guangjian Yan and Xiaoyu Zhang. 1995.) tiek pētīta telpiska NDVI gradācija un sakarība starp NDVI un veģetācijas segumu. Analizējot telpiskās skalas atkarību no NDVI un analizējot sakarību starp NDVI un veģetācijas segumu ar savādāku paņēmieni, kurš balstās uz lineāriem spektrāliem sajaukuma modeļiem, rezultāti liecina par nebūtisku sakarību starp telpisko skalu un NDVI. Tas norāda, ka NDVI vērtības vienādos apstākļos var būt atšķirīgas. Konstatēts nemainīgs NDVI dažādās teritorijās ar dažādu veģetācijas klāju. Atsevišķā teritorijā NDVI mainās līdzī apgaismojumam. NDVI var nebūt piemērots, lai noteiktu veģetācijas stāvokli, jo tas norāda uz nelinearitāti. Tika pierādīts, ka SDVI (dažādu pārklājumu veģetācijas indekss), mēroga indekss balstās uz lineāru spektru sajaukumu no sarkanā un tuvā infrasarkanā atstarojuma, un tas ir piemērotāks veģetācijas frakciju korekcijai ar attālās zondēšanas datiem, īpaši nevienmērīgām virsmām.

1.3. Sakarības starp mežaudzes parametriem un Landstat TM spektra analīzes datiem

Lai noteiktu meža resursu stāvokli lielās platībās, kur nav iespējama detaļa meža inventarizācija, pasaulē veikti pētījumi ar Landsat TM (Thematic Mapper) spektra analīzes metodi. Metode plaši pētīta ar mērķi apzināt Brazīlijas meža resursus. (P. G. Ruiliang, P. Biging, G.S. Larrieu. 2003.)

Dati tika grupēti sešās TM grupās un daudzi veģetācijas indeksi ir pārbaudīti ar spektrālo analīzi, tos kalibrējot ar inventarizācijas mērījumiem. Aprēķinos tika izmantots Pīrsona korelācijas koeficients, lai izskaidrotu sakarības starp mežaudzes parametriem un TM datiem. No šī pētījuma var secināt, ka atsevišķa grupa TM5 un lineāri pārveidoti rādītāji, tādi kā PC1 (pirmā komponente pamata komponentu analīzē), KT1(seguma gaišuma transformācija), un albedo (virsmas atstarotās radiācijas plūsmas attiecība pret plūsmu, kas krīt uz šo virsmu) ir visstiprāk savstarpēji saistīti ar mežaudzes parametriem neatkarīgi no biofizikālās apkārtējās vides. Daudzi veģetācijas indeksi, kurus lieto TM4 un TM3, tādi kā atmosfēras izturīgais veģetācijas indekss, atmosfēras un augsnes veģetācijas indekss, un NDVI, maz saistīti ar atlasītajiem mežaudzes taksācijas datiem. Salīdzinājumam, veģetācijas indekss lietojot grupas TM5 datus uzlabo sakarību starp izmeklētajiem mežaudzes parametriem. Novērots, ka taksācijas datu noteikšanas precizitāti ietekmē mežaudzes struktūra un ar to saistītās ēnas, kas ietekmē TM spektrālās atbildes attiecības. (Dengsheng Lu, Paul Mausel, Eduardo Brondizio and Emilio Moran. 2007.).

Savukārt ASV Floridā veiktie pētījumi tika balstīti uz mežaudzes parametru salīdzināšanu ar Landstat TM spektrālo digitālo numuru (DN) vērtībām. Rezultāti rāda, ka mazāk nekā 50% no kopējām varbūtībām var tikt izskaidroti ar lineārās regresijas modeli, vai tādiem veģetācijas indeksiem kā veģetācijas indekss (VI) vai NDVI. Pētījumā tika

lietots multi – lineārais regresijas modelis. Regresijas rezultāti tika testēti ar pārējo datu grupu nosacījumiem un pārbaude rāda labākus rezultātus ar varbūtību 75% izņemot meža biežību.

2. Materiāli un metodika

2.1. Satelīta attēlu specifikācija, testa reģiona izvēle

Saskaņā ar LVM un LLU 2007. gada 21.maja līgumu Nr. 5.5-9.1/0095/120/07/111 tika veikti šādi darbi:

1. Izpētes teritorijas pieejamo LANDSAT un SPOT satelītu 2007. gada arhīvu attēlu izvēlēšanās;
2. Satelītu attēlu iepirkuma specifikācijas sagatavošana un iepirkuma veikšana.
3. Saņemto attēlu apstrādāšana:
 - a. LANDSAT attēla sagatavošana no FAST formāta uz GeoTiff formātu;
 - b. LANDSAT un SPOT attēlu transformēšana uz LKS-92 koordinātu sistēmu;
 - c. LANDSAT un SPOT attēlu ortorektificēšana, izmantojot kontroles punktu koordinātes no M 1:10000 ortofoto attēliem un augstuma atzīmes no M 1:50000 digitālā virsmas modeļa.
4. Pētījuma teritorijas AS LVM kvartālu atlasīšana un saraksta sastādīšana izmantojot meža valsts reģistra datus.
5. Pētījuma teritorijas un iepriekš atlasīto AS LVM kvartālu teritorijas meža resursu monitoringa parauglaukumu atlasīšana un saraksta sastādīšana.

Projekta pirmā posma izpildes gaitā tika iegādāti SPOT un LANDSAT attēli atbilstoši 2.1. un 2.2. tabulās atspoguļotajām specifikācijām, kas atbilst optimālajam veģetācijas perioda stāvoklim. Par testa reģionu tika izvēlēta Rietumvidzemes un Austrumvidzemes mežsaimniecību teritorijas

2.1.tabula

10m krāsu SPOT5 attēlu specifikācija

Nr.	Specifikācija	Prasības
1.	Veids:	Multispektrālais
2.	Spektra joslas: 1)MS 2)MS 3)MS 4)SWIR 5)PAN	0,50 – 0,59 μm 0,61 – 0,68 μm 0,79 – 0,89 μm 1,58 – 1,75 μm 0,51 – 0,73 μm
3.	Izšķirtspēja: 1 līdz 3 4 5	10 m 20 m 5 m
4.	Mākoņainums:	0 – 5%
5.	Uzņemšanas laiks:	1)Veģetācijas laikā 2) no 15.05.2007
6.	Izmērs:	60 x 60 km
7.	Novietojums:	rajons
8.	Attēla apstrāde:	- Radiometriskā korekcija - Ģeometriskā korekcija - Ģeoreferencēts UTM WGS 84
9.	Piegādes termiņš:	30.06.2007
10.	Prognozētā cena (ieskaitot PVN):	3300 LVL.

2.2.tabula

30m krāsu LANDSAT5 satelītu attēlu specifikācija

Nr.	Specifikācija	Prasības
1.	Veids:	Multispektrālais
2.	Spektra joslas: 1)MS 2)MS 3)MS 4)MS 5)MS 6)MS 7)MS 8)PAN	0,45 – 0,52 μm 0,52 – 0,60 μm 0,63 – 0,69 μm 0,76 – 0,90 μm 1,55 – 1,75 μm 10,42 – 12,50 μm 2,08 – 2,35 μm 0,52 – 0,90 μm
3.	Izšķirtspēja: 1 līdz 5 un 7 6 8	30 m 120 m 15 m
4.	Mākoņainums:	0 – 5%
5.	Uzņemšanas laiks:	1)Veģetācijas laikā 2) no 15.05.2007
6.	Izmērs:	~ 170 x 185 km vai
7.	Novietojums:	rajons
8.	Attēla apstrāde:	- Radiometriskā korekcija - Ģeometriskā korekcija - Ģeoreferencēts UTM WGS 84
9.	Piegādes termiņš:	30.06.2007
10.	Prognozētā cena (ieskaitot PVN):	1400 LVL.

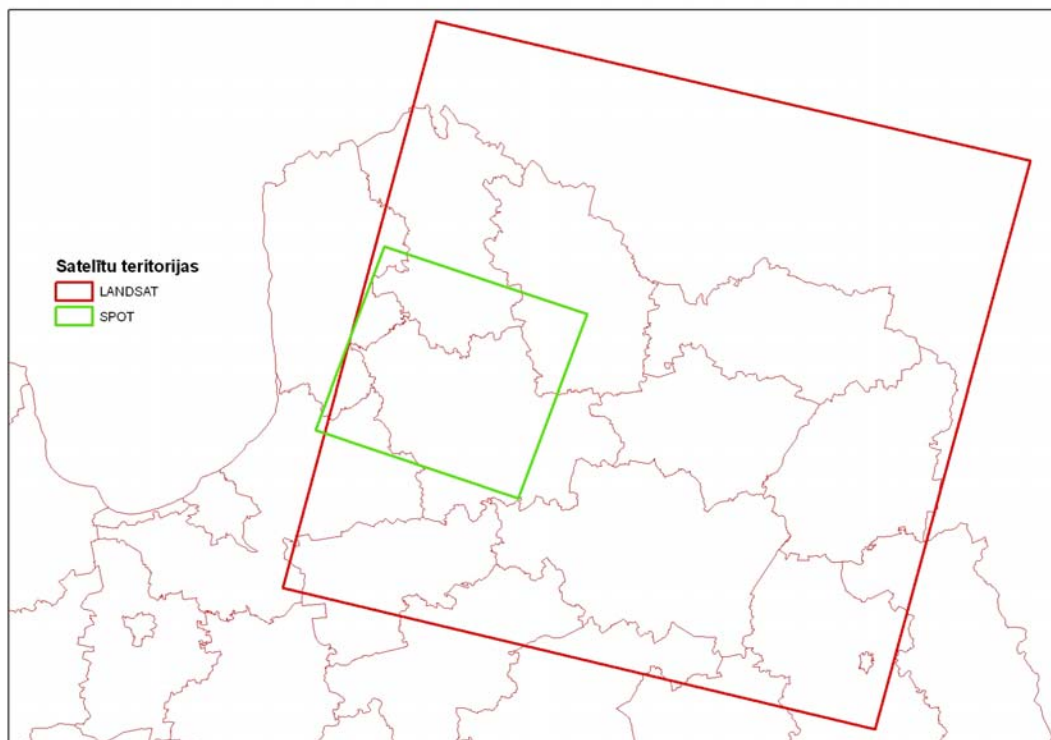
2.2. Saņemto attēlu apstrādāšana

Saņemtie attēli tika apstrādāti atbilstoši turpmāko darba uzdevumu veikšanai nepieciešamajiem formātiem:

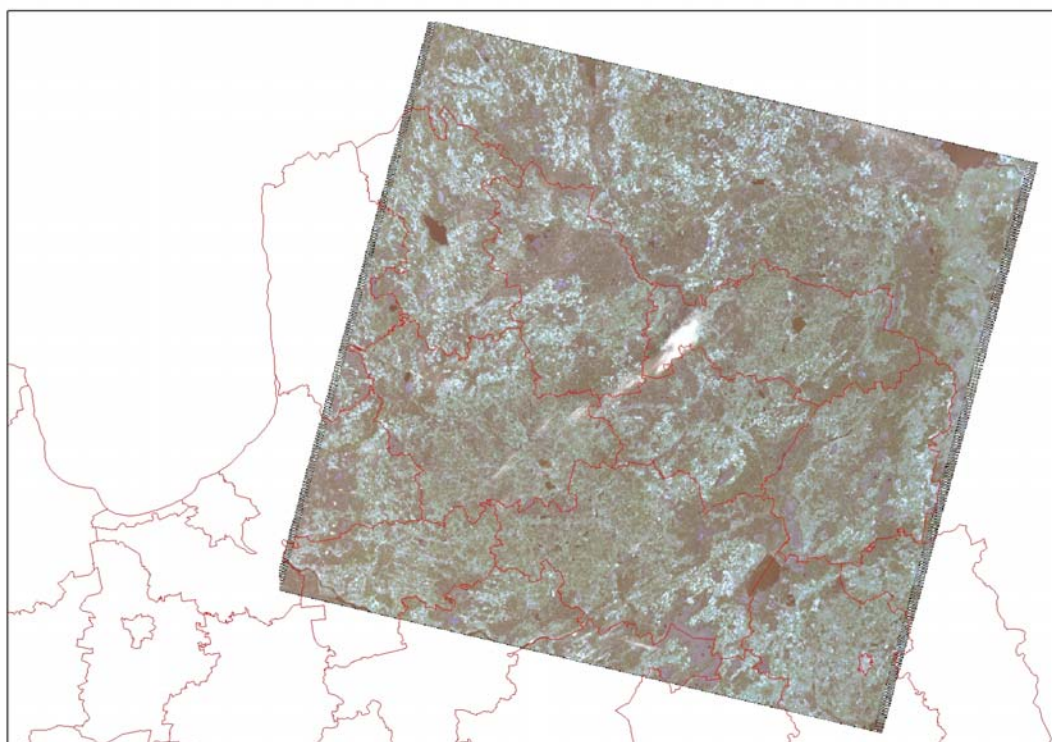
- LANDSAT attēla sagatavošana no FAST formāta uz GeoTiff formātu;
- LANDSAT un SPOT attēlu transformēšana uz LKS-92 koordinātu sistēmu;
- LANDSAT un SPOT attēlu ortorektificēšana, izmantojot kontroles punktu koordinātes no M 1:10000 ortofoto attēliem un augstuma atzīmes no M 1:50000 digitālā virsmas modeļa.

2.1.attēlā parādīts izvēlētais testa reģions uz Latvijas kartes. LANDSAT attēls pilnībā nosedz Cēsu, Valkas, Alūksnes, Gulbenes, Balvu un Madonas rajonus, daļēji Valmieras, Ogres, Aizkraukles, Rīgas un Rēzeknes rajonu robežas, nedaudz Limbažu un Jēkabpils rajonu robežas. Spot attēls iever daļu Cēsu, Valmieras, Valkas, Limbažu un Rīgas rajonu teritorijas.

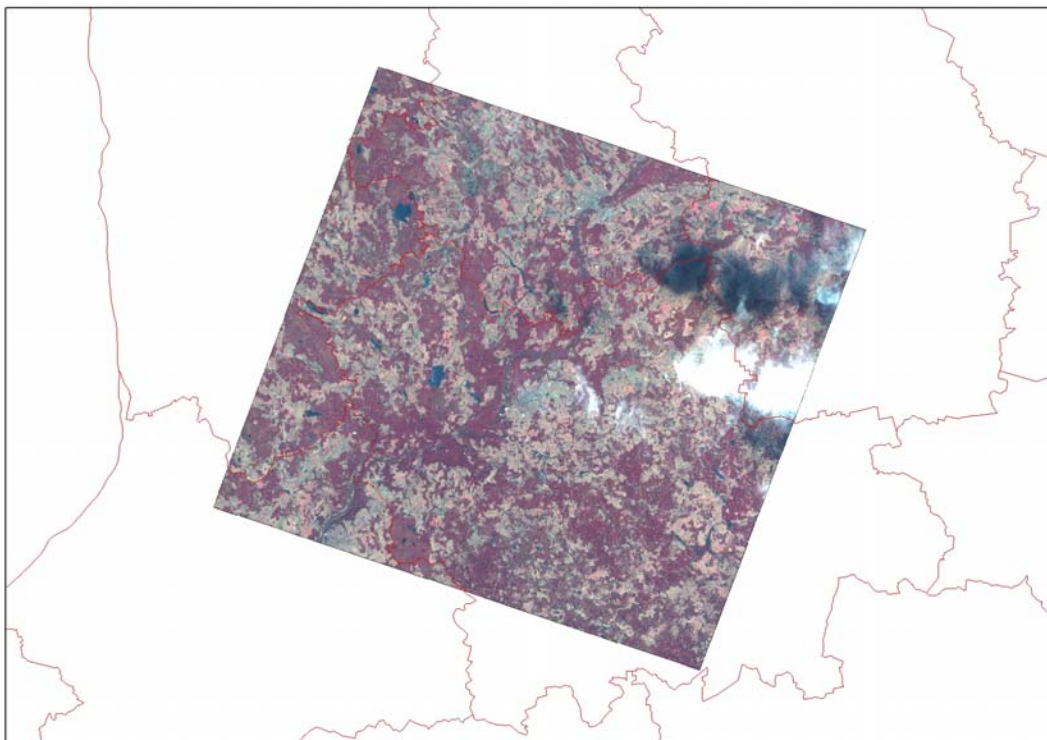
2.2. un 2.3.attēlā parādītas LANDSAT5 un SPOT attēlus saturošā informācija. LVM kartogrāfiskais materiāls atbilstoši datu bāzes koordinātām tika sinhronizēts un atlikts uz satelītainām. Lai turpmākā pētījumā būtu iespējams izmantot meža resursu monitoringa informāciju, parauglaukumu izvietojums arī tika atlikts uz satelītainām (skatīt 2.4.attēlu). No datu bāzes tika atlasīti nogabali, kuri satur darba uzdevumā pētāmās pazīmes.



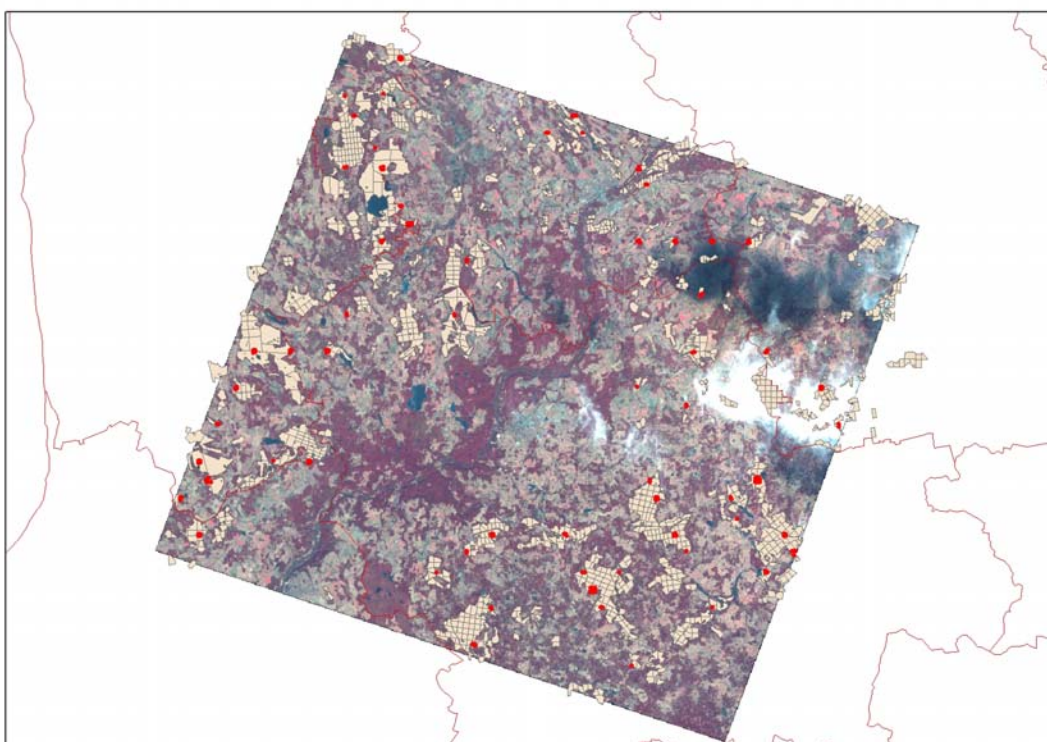
2.1. attēls. LANDSAT un SPOT satelītu attēlu teritorijas.



2.2. attēls. LANDSAT attēls.



2.3.attēls. SPOT attēls.



2.4. attēls. Pētījuma teritorijas AS LVM kvartālu poligoni un MRM (Meža resursu monitoringa) parauglaukumi.

2.3. Meža inventarizācijas datu atlasīšana

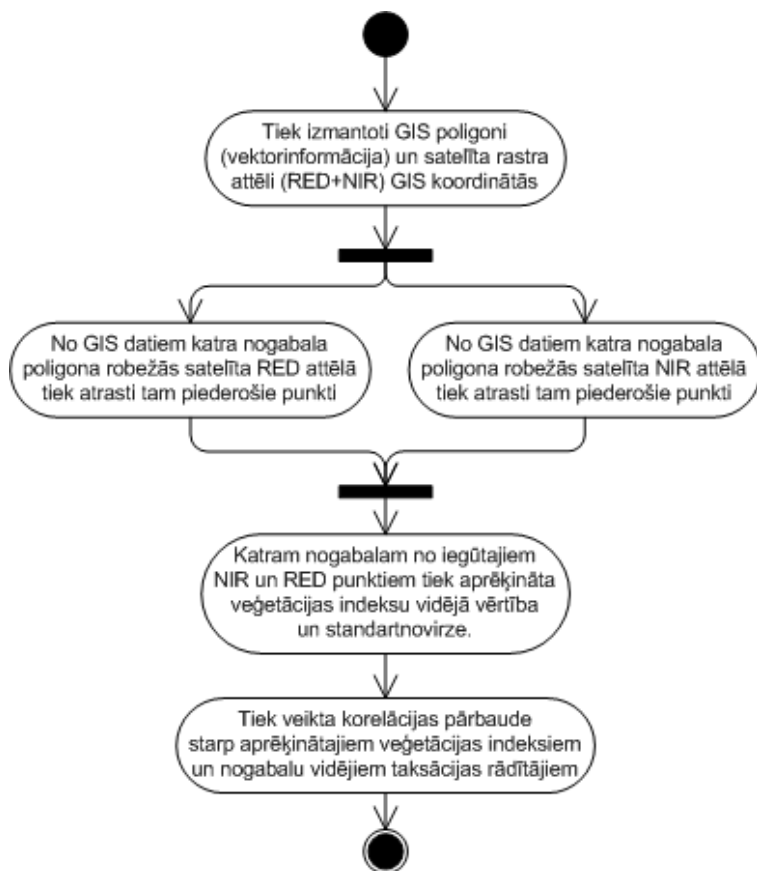
2.3.1. Veģetācijas indeksu un meža taksācijas rādītāju sakarību noteikšana

Viens no visplašāk izmantotajiem klasifikācijas veidiem attiecībā uz zemes virsmas apaugumu ir veģetācijas indeksi, jo tie reprezentē vērtību atšķirības spektra sarkanajā (RED) un tuvu infrasarkanajā joslā (NIR), kas atspoguļo apauguma biomasas daudzumu. Pasaulē tiek pētītas to pielietošanas iespējas meža bojājumu identificēšanā.

Veģetācijas indeksus iedala slīpuma un attāluma bāzētos. Slīpuma bāzētie veģetācijas indeksi ir kombinācija starp redzamo sarkano un tuvu sarkanajam spektra joslām. Pēc to vērtībām tiek noteikts biomasas statuss un daudzums.

Pētījumā tika pārbaudītas veģetācijas indeksa NDVI sakarības ar inventarizācijas rādītājiem: audzes biežību, šķērslaukumu, augstumu, caurmēru, krāju un vecumu.

Datu apstrādes procesa shēma dota 2.5.attēlā. No meža valsts reģistra datu bāzes tika iegūta informācija par nogabalu robežām un meža taksācijas rādītājiem, kas veido GIS pamatslāni. Satelītattēlu apstrādes rezultātā tika identificēti katra nogabala robežās ietilpstošie satelītainas pikseli. Katram pikselim tika aprēķināta RED un NIR vērtība, kas tālāk tika izmantota veģetācijas indeksu aprēķināšanai. Ikvienā nogabalā tika noteikts vidējais veģetācijas indekss un noteiktas anomālijas (pikseli ar ievērojami atšķirīgiem veģetācijas indeksiem). Šīs teritorijas tika apsektas dabā lai novērtētu noviržu cēloņus. Pēc tam tiek veikta veģetācijas indeksu korelācijas novērtēšana ar nogabala taksācijas rādītājiem.



2.5.att. Veģetācijas indeksu iegūšana no satelītainām un korelācijas noteikšana ar mežaudzi

Šāda izvirzītā uzdevuma mērķis ir iegūt sakarības, kuras vēlāk būtu iespējams lietot pētījumā izvirzīto meža apsaimniekošanas plānošanas uzdevumu sasniegšanai. Pasaulē līdz šim veikti pētījumi par satelītainu veģetācijas indeksu un atbilstošo zemes virsmas objektu klasifikāciju (zeme, ūdens, mežs), bet samērā maz pētīta veģetācijas indeksu interpretēšana šaurākā virzienā t.i. meža inventarizācijas datu noteikšanā.

Pētījumā tika izmantotas divu veidu metodes, lai noteiktu savstarpējās saistības un veiktu turpmāku datu aproksimāciju:

1. Izmantot veģetācijas indeksus NDVI, RVI, DVI, GEMI, IPVI un LAI;
2. Izmantot pilno spektru no satelītainām un noskaidrot kuras spektra daļas vairāk korelē ar inventarizācijas datiem;

Zinot to, ka satelītainās var atpazīt koku vainagu kopumu, bet ne pašus stumbrus, to caurmēru un koku augstumu, tad pētījumā tika izvirzīts uzdevums atrast veģetācijas indeksu un nogabalu vidējo taksācijas rādītāju (koku vecums, augstums, caurmērs, šķērslaukums, krāja, biežība), sakarības.

Lai ikvienam nogabalam tā ģeogrāfiskajās robežās noteiktu rastra slānī esošās satelītainas vērtības un no tām aprēķinātu veģetācijas indeksus tika izmantota SharpMap (<http://www.codeplex.com/SharpMap>) bibliotēka un aprēķinu algoritms realizēts C# valodā. Datu vadības procesam tika izmantota PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/>) datubāze, kurā tika glabāta gan ģeogrāfiskā informācija, gan atributīvie dati, gan arī aprēķinātie veģetācijas indeksi.

Pētījumā tika analizēti šādi veģetācijas indeksi:

RATIO (Ratio Vegetation Index)

RVI ir veģetācijas indekss, kuru pirmais aprakstīja Jordans (1969). Tas ir visplašāk pielietotais veģetācijas indekss, lai gan, reti saukts par veģetācijas indeksu. Kopīgas pielietošanas iespējas attālās zondēšanas vajadzībām ir joslu attiecību pielietošana, lai izslēgtu atšķirīgus albedo efektus.

$$RATIO = \frac{NIR}{RED} \quad (2.1.)$$

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI ir normalizētais diferenciālais veģetācijas indekss, kuru pirmo reizi prezentēja Krieglars 1969. gadā. Šim indeksam ir liela priekšrocība, jo tas variē intervālā no -1 līdz 1, kamēr RVI diapazons ir no 0 līdz bezgalībai. RVI un NDVI ir funkcionāli līdzvērtīgi un saistīti viens ar otru.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.2.)$$

Lai šo veģetācijas indeksu attēlotu grafiski, ģenerējot RGB krāsu attēlus NDVI indeksam tiek mainīts vērtību diapazons [0 255], tāpēc tiek izmantots SNDVI (The scaled normalized difference of the vegetation index), kuru aprēķina pēc formulas: $SNDVI = ((NDVI+1)*255)/2$.

(2.3.)

DVI (Difference Vegetation Index)

DVI ir diferencētais veģetācijas indekss, to pirmie aprakstīja Lillesands un Kievers 1987. gadā. Tas ir perpendikulārs indekss, tā veģetācijas līnija ir paralēla zemes līnijai.

$$DVI = g * MSS7 - MSS5 \quad (2.4.)$$

Kur,
g – augsnes līnijas slīpums
MSS7 un MSS5 – attiecīgās LANDSAT MS joslas.

GEMI (Global Environmental Monitoring Index)

GEMI ir globāls apkārtējās vides monitoringa indekss, kurš tika attīstīts pateicoties Pintijam un Verstraetam 1991. gadā. Viņi mēģināja novērst dažādas atmosfēras radītās novirzes tā izveidojot veģitācijas indeksu ar atmosfēras stāvokļa korekcijām. Grafiks nelineārs, tā vērtības ir intervālā no 0 līdz 1.

$$GEMI = \frac{\eta * (1 - 0.25 * \eta) - \frac{red - 0.125}{1 - red}}{1 - red} \quad (2.5.)$$

kur,

$$\eta = \frac{2 * (NIR^2 - red^2) + 1.5 * NIR + 0.5 * red}{NIR + red + 0.5} \quad (2.6.)$$

IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)

IPVI ir infrasarkanā procenta veģitācijas indekss, kuru pirmais aprakstīja Krippens 1990 gadā. Krippens atklāja, ka sarkanā starojuma samazināšana ir sarežģīta un ierosināja šo indeksu kā veidu, lai uzlabotu aprēķināšanas ātrumu. Tas ir arī ierobežots intervālā starp 0 un 1, tas novērš vajadzību uzkrāt pazīmes priekš veģitācijas indeksa vērtībām un novērš konceptuālas savādības no negatīvām vērtībām, kas saistītas ar veģitācijas indeksu.

$$IPVI = \frac{NDVI + 1}{2} \quad (2.7.)$$

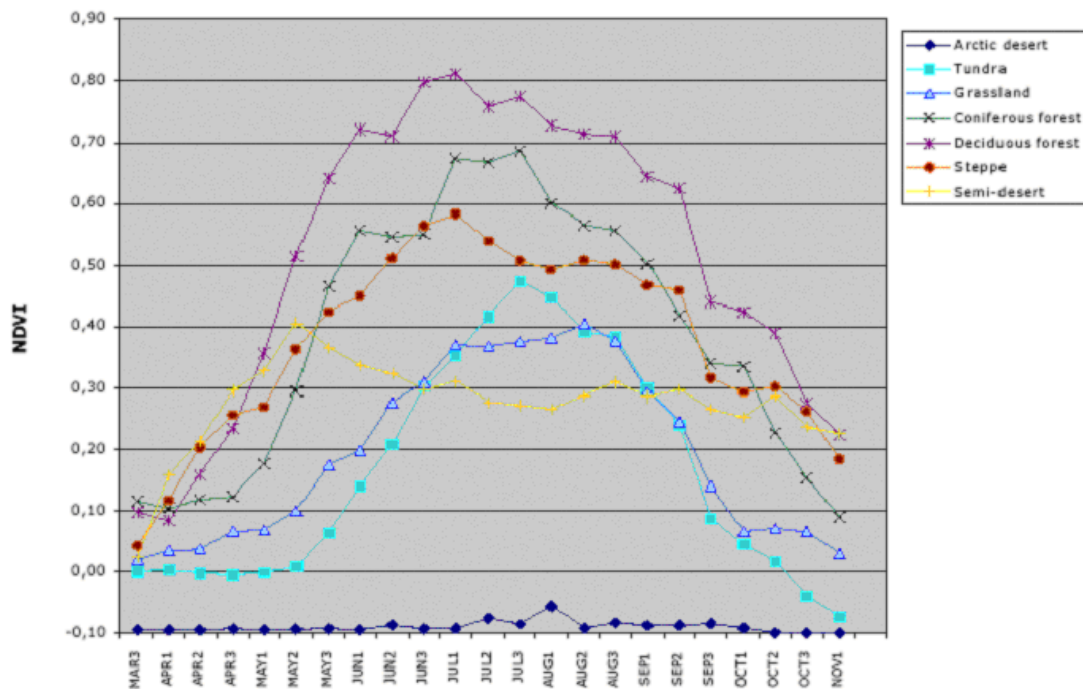
LAI (Leaf Area Index)

LAI ir vainaga klāja indekss, kas raksturo kopējo vainagu virsmas aizņemto platību attiecību pret zemes virsmas platību, kuru klāj veģitācija. (T.W. Ray.1994.).

$$LAI_i = LAI_{max} * (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (2.8.)$$

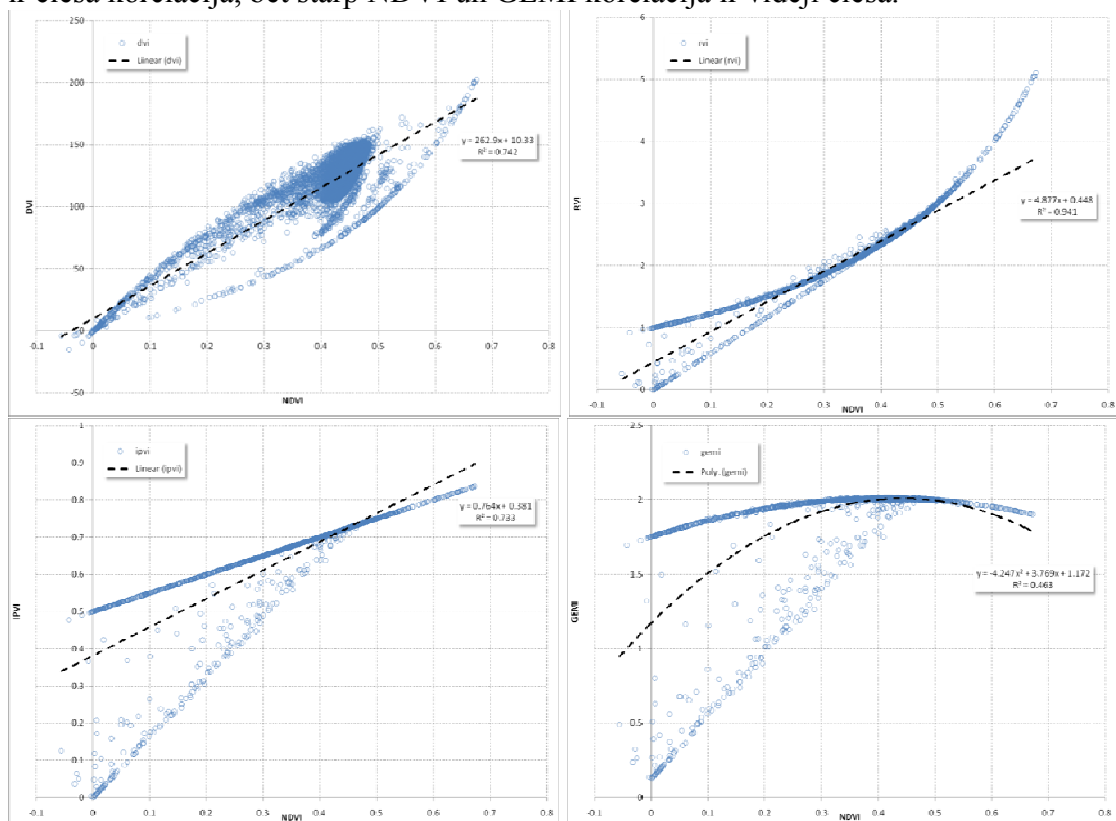
Lielākā problēma ir veģitācijas indeksu dažādās vērtības atkarībā no attēla uzņemšanas laika, veģitācijas attīstības fāzes.

Nemot vērā to, ka veģitācijas indeksi nav konstanti, bet ir atkarīgi no attēlu uzņemšanas laika, pētījumos svarīgi ietvert dažādos laikos uzņemtus attēlus (skatīt 2.6.attēlu).



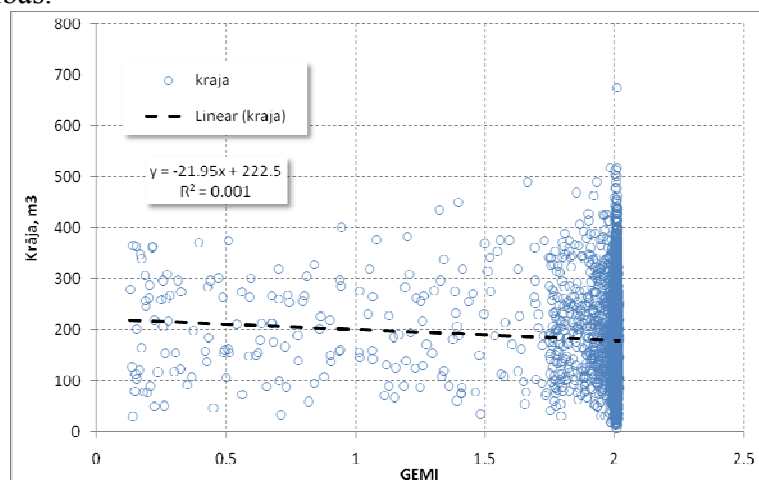
2.6.attēls. NDVI izmaiņu grafika piemērs

Lai unificētu pētījumu rezultātu interpretēšanu tika pieņemts, ka starp dažādiem veģetācijas indeksiem pastāvošā cieša korelācija vienlīdz labi atspoguļos arī korelatīvās attiecības ar universālo, biežāk lietoto veģetācijas indeksu NDVI. Rezultāti liecina (2.7. attēls), ka starp NDVI un DVI, NDVI un RVI, NDVI un IPVI, NDVI un GEMI indeksiem ir cieša korelācija, bet starp NDVI un GEMI korelācija ir vidēji cieša.



2.7.attēls. Sakarības starp dažādiem veģetācijas indeksiem

Lai secinātu, kāds ir veģetācijas indeksa GEMI raksturs, tika pārbaudīta tā saikne ar audzes vidējo krāju, jo tam bija vismazākā korelācija ar iepriekš pārbaudīto NDVI indeksu. Pēc iegūtajiem rezultātiem (2.8.attēls) var secināt, ka starp GEMI indeksu un krāju nav saistības.



2.8.attēls. GEMI indeksa un audzes krājas sakarības.

Lai raksturotu sakarības starp veģetācijas indeksiem un meža taksācijas datiem tika veikta korelācijas analīze. Sakarību raksturošanai tika izmantota 2.3.tabula.

2.3.tabula

Korelācijas koeficientu un determinācijas koeficientu interpretācijas skaidrojums

Korelācijas koeficients (R)	Determinācijas koeficients (R ²)	Skaidrojums
0.0 – 0.2	0.00 – 0.04	Nav saistības
0.2 – 0.4	0.04 – 0.16	Saistība ir vāja
0.4 – 0.7	0.16 – 0.49	Saistība ir vidēji cieša
0.7 – 1.0	0.49 – 1.00	Saistība ir cieša

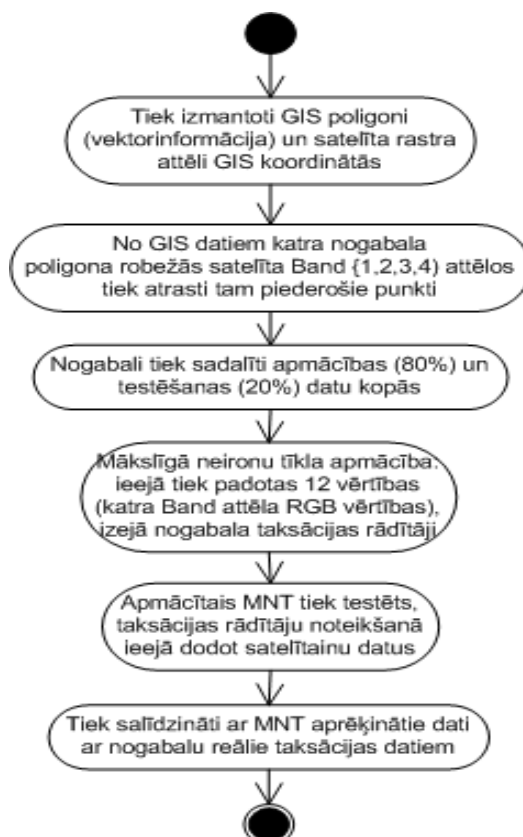
Tika pārbaudīta veģetācijas indeksu korelācija ar inventarizācijas rādītājiem: audzes biezību, šķērslaukumu, augstumu, caurmēru, krāju un vecumu.

2.3.2. Mākslīgo neironu tīklu tehnoloģiju izmantošana meža taksācijas rādītāju un satelītainu spektra sakarību noteikšanā

Mākslīgo neironu tīklu (MNT) metodes izvēles pamatā bija pieņēmums, ka esošie veģetācijas indeksu modeļi neizmanto visus pieejamos satelīta attēlu spektra datus, tāpēc šajos modeļos var būt nepilnības. Apmācot MNT pastāv iespēja atrast matemātisko modeli, kurš spēj modelēt sakarības starp satelīta attēlu un meža inventarizācijas datiem labāk par veģetācijas indeksu pielietojumu. Attēlā 2.9. atspoguļoti veicamo darbību soļi MNT sakarību noteikšanai starp satelīta attēliem un inventarizācijas datiem.

No meža valsts reģistra datu bāzes tika iegūta informācija par nogabalu robežām un meža taksācijas rādītājiem, kas veido GIS pamatslāni. Satelītattēlu apstrādes rezultātā tika identificēti katra nogabala robežās ietilpstošie satelītainas pikseļi. Atšķirībā no veģetācijas indeksu aprēķināšanas, kur tika izmantota informācija par NIR un RED vērtībām, ar MNT tika izmantoti 12 ieejas parametri (4 satelītainu slāņu RGB krāsu kodi), kā izejas parametrs tika izmantots viens no mežaudzes rādītājiem: mežaudzes biezība, šķērslaukums, krāja un augstums. Slēptajā slānī neironu skaits tika variēts no 4-12

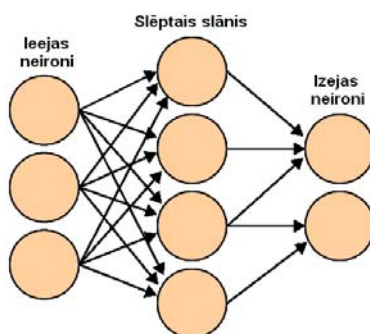
neironiem, izmantotas 2 dažādas aktivizācijas funkcijas sigmoidālā $y = 1/(1 + \exp(-2*s*x))$ un Elliota $y = ((x*s) / 2) / (1 + |x*s|) + 0.5$. Apmācības datu kopā tika izvēlēti 1000 gadījuma ieraksti no satelītainām, kur viens ieraksts pārstāv vienu nogabalu ar vidējām satelītainas vērtībām nogabala ģeogrāfiskajās koordinātās. Līdzīgā veidā tika izvēlēta testēšanas datu kopā, kuras apjoms bija 200 ieraksti un šī datu kopā nepārklājas ar apmācības datu kopu.



2.9.att. datu sagatavošana, MNT apmācība un testēšana.

Izvēloties mākslīgo neironu tīklu pieeju, svarīga nozīme bija tā pozitīvām īpašībām:

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



2.10. attēls. MNT struktūras piemērs

MNT var reprezentēt kā vienkāršu matemātisku izteiksmi –neironu un tā svaru vērtību reizinājuma summu.

$$S = f_o \left(\sum_{h=1}^H W_h \cdot f_h \left(\sum_{i=1}^I W_i \cdot X_i + b_h \right) \right) + b_o \quad (2.9.)$$

kur,

X_i – ieejas slāņa vērtības;

S – izejas neirona vērtība;

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

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

f_o – aktivizācijas funkcija (7) izejas slānī;

f_h – aktivizācijas funkcija (7) slēptajā slānī;

W_h – svaru vērtības no ieejas uz slēpto slāni;

W_o – svaru vērtības no slēptā uz izejas slāni;

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

2.3.3. Jaunaudžu teritoriju atlasīšana

Pēc pētījumu teritorijas apzināšanas un digitālo materiālu – meža digitālās kartes nogabalu poligonu un datu bāzes sagatavošanas, veic visu teritorijā esošo jaunaudžu (*mākslīgi un dabiski atjaunotas audzes vecumā no 1 līdz 20 gadi*) atlasīšanu vēlākai klasifikācijas ierobežošanai un lauku apsekošanas teritoriju izvēlei.

2.3.4. Audžu veselības stāvokļa noteikšana

Audžu veselības stāvokļa noteikšanai tika izmantota attālās izpētes materiālu apstrādes datorprogramma ERDAS IMAGE 9.0. Veģetācijas indeksu formulas to aprēķiniem izmantojot LANDSAT satelītu attēlu joslu vērtības sagatavo IMAGE model builder formātā. Šeit aprēķinu formulas to vēlākai atkārtotošanai pieraksta matemātiski. Sagatavotos modeļus iespējams kombinēt, lai veiktu viena vai vairāku attēlu pakešapstrādi.

Starp veģetācijas periodu izmaiņas iegūst dažādos laikos uzņemtu attēlu veģetācijas indeksu vērtības matemātiski salīdzinot. Šādi tiek iegūtas pozitīvu vai negatīvu veģetācijas indeksu izmaiņu vērtības. Visas iegūtās veģetācijas indeksu vērtības tika iegūtas attēlu formātā (IMG vai TIF255 gray) ar indeksu vērtībām katram attēla pikselim. Bojāto audžu rekogniscēšanai tika izmantota pasūtītāja bojāto teritoriju sagatavotā datubāze. Teritorijas tika daļēji apsektas dabā, lai novērtētu postījumu apjomu.

Pēc pētījuma teritorijas datu bāzes veikta audžu nominēšana uz veģetācijas indeksu aprēķiniem, nosakot apdraudētās audzes pēc šādiem kritērijiem:

1. Egļu tīraudzes susinātos augšanas apstākļos;
2. Zemas biežības egļu audzes;
3. Astonzobu mizgraužu invadētas audzes (konstatēts pēc apsekošana dabā);
4. Retaines;
5. Pārbiezinātas audzes

3. Rezultāti un diskusija

3.1. Veģetācijas indeksu un meža inventarizācijas datu sakarību noteikšana

3.1.1. SNDVI indeksa sakarību noteikšana ar inventarizācijas datiem

SNDVI normalizētais atšķirību veģetācijas indekss raksturo veģetācijas pārklājuma biofizikālās īpatnības un literatūrā sastopams kā biežāk lietotais. Pētījumā tika pārbaudītas veģetācijas indeksa SNDVI sakarības ar inventarizācijas rādītājiem: audzes biežību, šķērslaukumu, augstumu, caurmēru, krāju un vecumu (skatīt attēlu 3.1.) Attēlā atspoguļota informācija par 20214 nogabaliem, kas atrodas a/s Latvijas valsts meži Rietumvidzemes mežsaimniecības teritorijā. Iegūtie rezultāti liecina, ka veģetācijas indeksu korelācija ar vidējo koku augstumu, caurmēru, vecumu un krāju ir vāja, bet ar šķērslaukumu un biežību vidēji cieša. Šķērslaukuma, augstuma, caurmēra, krājas un vecuma grafikos var novērot nelielu SNDVI datu kopas novirzi jaunākajās līdz 30 gadus vecās mežaudzēs. Parauglaukumos iegūtā informācija liecina par to, ka veģetācijas indeksu ietekmē otrā stāva, pameža un paaugas stāvoklis, kas palielina veģetācijas indeksu izkliedi un samazina sakarības atsevišķu, līdzīgu audžu kopu ietvaros. Tāpēc jaunaudzēs tika analizētas atsevišķi, pa koku sugām, augšanas apstākļu tipiem, atsevišķi atlasot tīraudzes. Tika pieņemts, ka tādā veidā tiks izslēgta zem vainaga klāja esošā „trokšņu” ietekme un veidosies ciešākas saistības starp faktoriem.

No datu kopas tika atlasītas mežaudzes ar šādiem taksācijas rādītājiem:

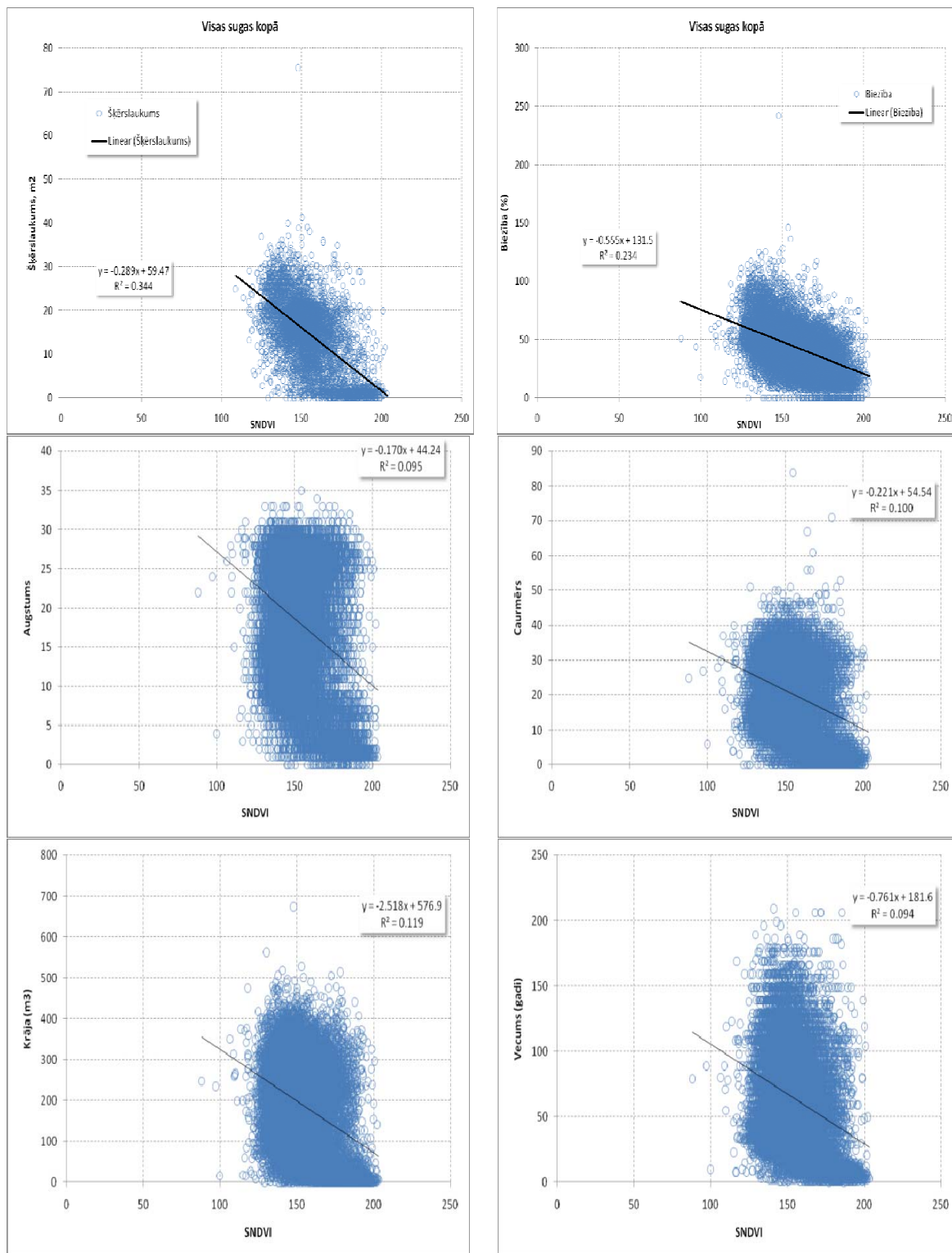
- egļu tīraudzes, 1-30 gadus vecas;
- priežu tīraudzes, 1-30 gadus vecas;
- bērzu tīraudzes, 1-30 gadus vecas;
- egļu tīraudzes;
- priežu tīraudzes;
- bērzu tīraudzes.

Attēlā 3.2. apkopota informācija par SNDVI un audžu biežības korelāciju. Rezultāti liecina par vidēji ciešu saistību egļu jaunaudzēs (līdz 30 gadiem) $R^2=0.40$ un visās egļu audzēs kopā $R^2=0.46$. Bērzu audzēs saistība netika novērota, savukārt priežu audzēs saistība jāvērtē kā vidēji cieša visām audzēm kopā, bet to nevar attiecināt uz jaunaudzēm atsevišķi. Egļu un priežu audzēs SNDVI indekss robežās (170-200) raksturo zemas biežības jaunaudzes ar biežību robežās līdz 40%. Tomēr šāds veģetācijas indekss attiecināms arī uz atklātām, ar mežu neapklātām platībām, tāpēc nav viennozīmīgi interpretējams.

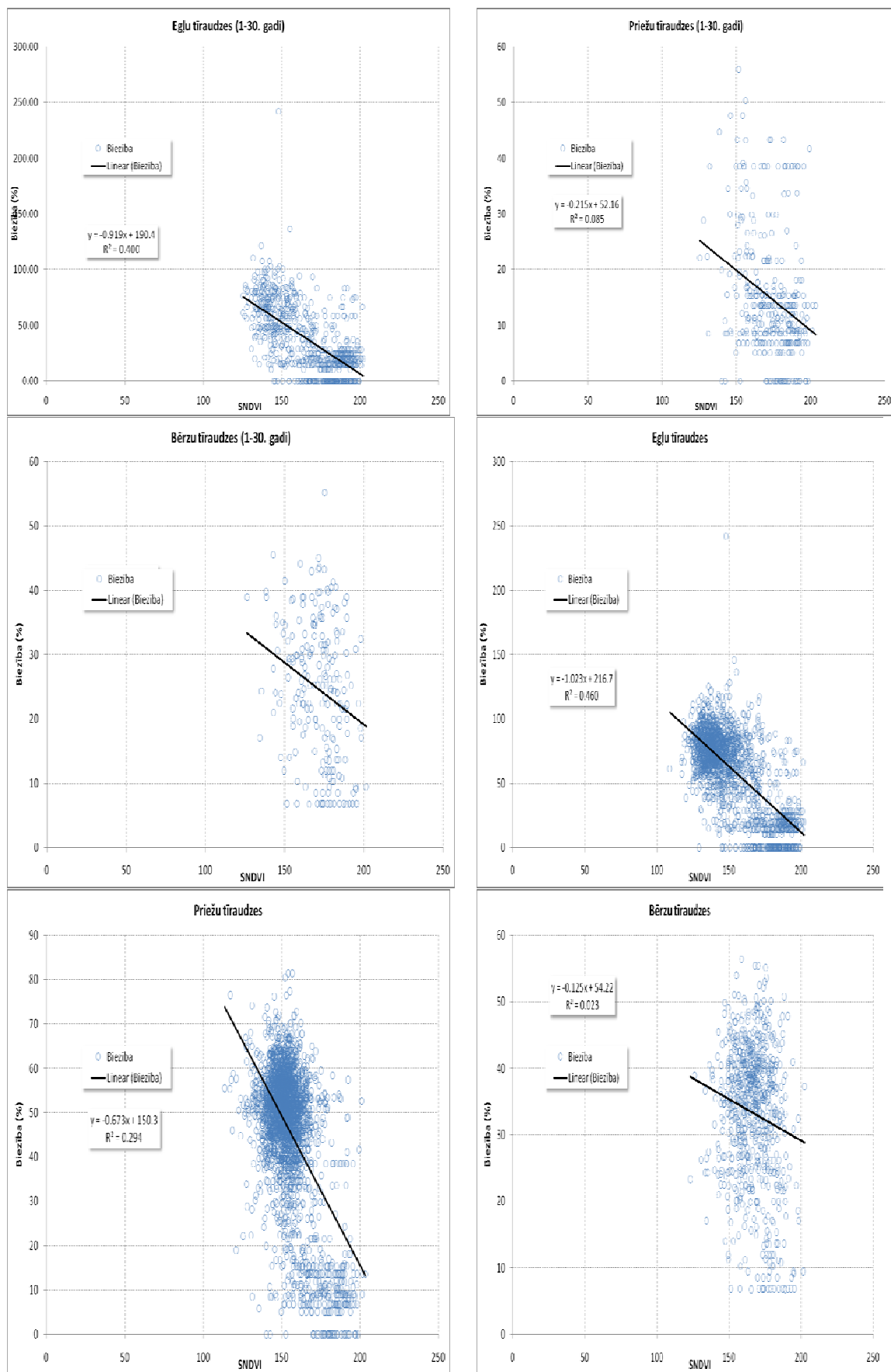
Attēlā 3.3. apkopota informācija par varbūtību un kļūdu robežām, kas raksturo gadījumus (biežumus%), kad ar lineāro vienādojumu izteiktais veģetācijas indekss sakrīt ar biežības raksturlielumu. Piemēram, egļu tīraudzēs (1-30 gadus vecās) 23.2% gadījumu kļūda nepārsniedz 10% robežu. Attēls atspoguļo arī kļūdas izkliedes robežas. Rezultāti liecina, ka pieņemot kļūdas robežu $\pm 20\%$, tai atbilst 26-37% gadījumu, kas ir nepietiekami lai pietiekami precīzi raksturotu faktoru un norāda uz ievērojamu datu izkliedi. No rezultātiem var secināt, ka SNDVI lietošana biežības automatizētai noteikšanai, turpmākai analīzei un saimnieciskā rīkojuma ģenerēšanai nav lietderīga.

Līdzīgi apkopota informācija par šķērslaukuma un SNDVI saistību un kļūdu robežām. Rezultāti liecina (sk.3.4. att.), ka egļu tīraudzēs (1-30 gadus vecās) un visās egļu audzēs kopā konstatēta vidēji cieša saistība $R^2=0.397$ un $R^2=0.427$. Lai gan priežu tīraudzēs saistība nav tik cieša, tomēr izteikta ir zema šķērslaukuma ($\leq 5m^{2-ha}$) veģetācijas indeksa zona SNDVI (robežas 16-200).

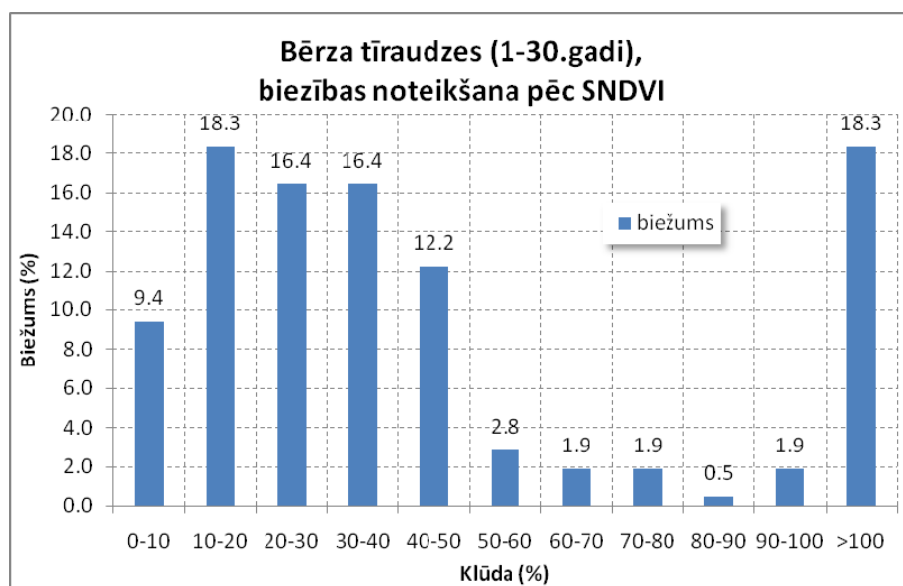
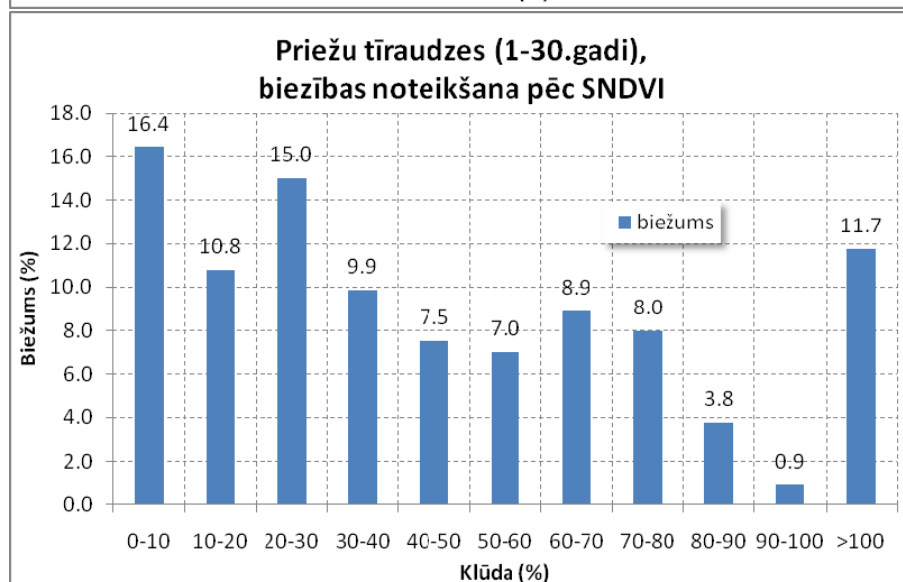
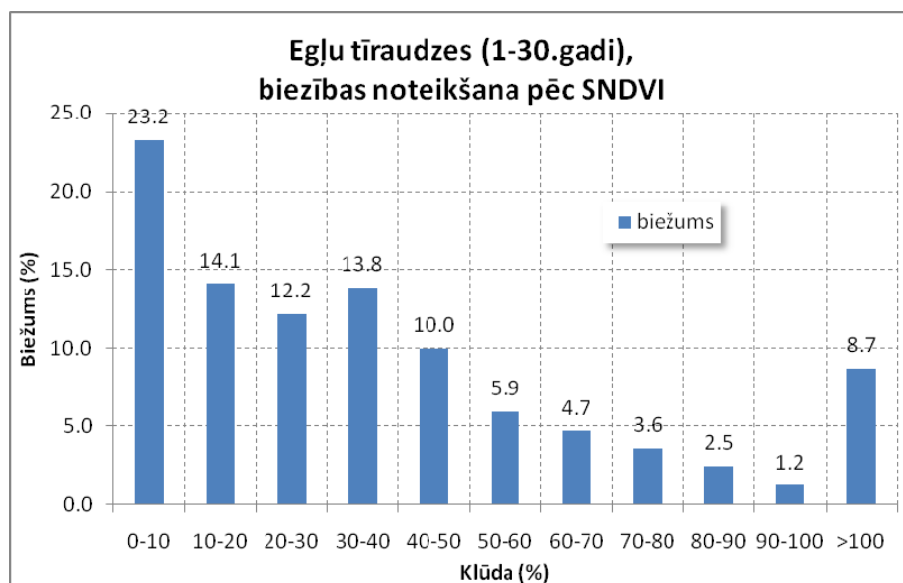
Līdzīgi apkopota informācija par šķērslaukuma un SNDVI saistību un kļūdu robežām. Rezultāti liecina (sk.3.4. att.), ka egļu tīraudzēs (1-30 gadus vecās) un visās egļu audzēs kopā konstatēta vidēji cieša saistība $R^2=0.397$ un $R^2=0.427$. Lai gan priežu tīraudzēs saistība nav tik cieša, tomēr izteikta ir zema šķērslaukuma ($\leq 5\text{m}^2\text{-ha}$) veģetācijas indeksa zona SNDVI (robežas 160-200).



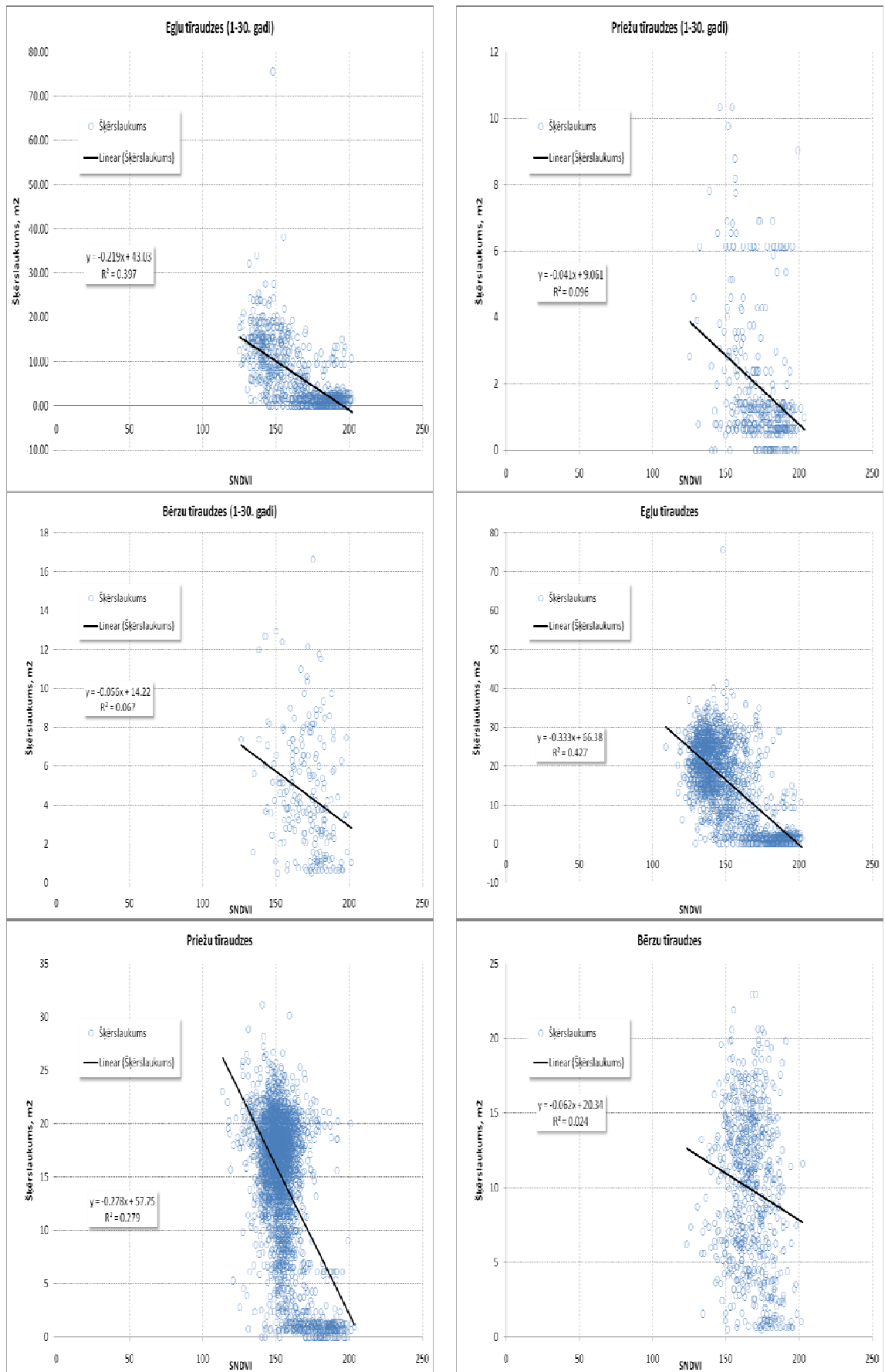
3.1.attēls: SNDVI un taksācijas datu sakarības paraugkopas teritorijā a/s LVM mežos Rietumvidzemes mežsaimniecībā.



3.2.attēls: SNDVI un mežaudzes biezības sakarības

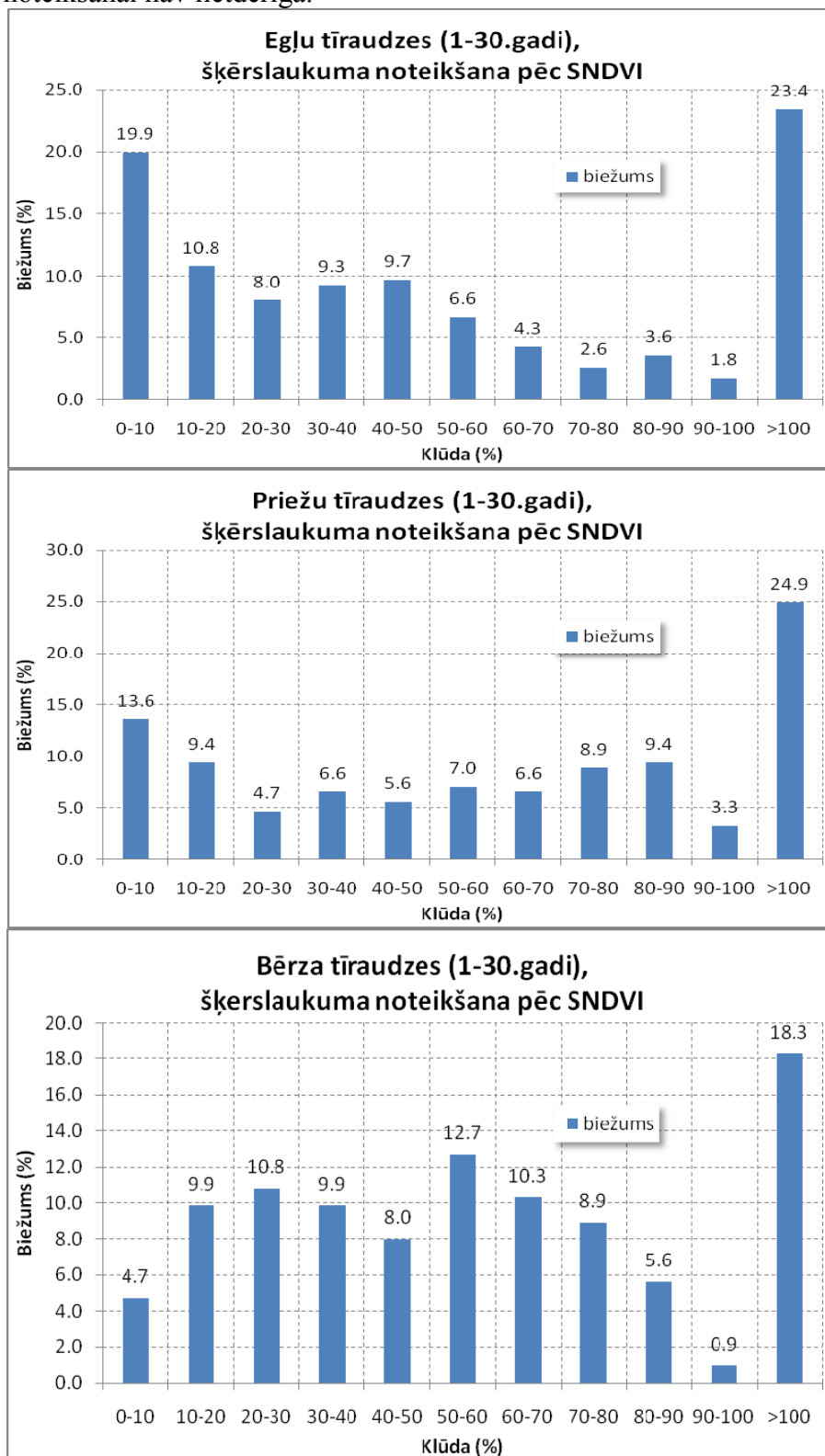


3.3. attēls. Pēc SNDVI noteiktās biežības un faktiskās biežības kļūdu robežas



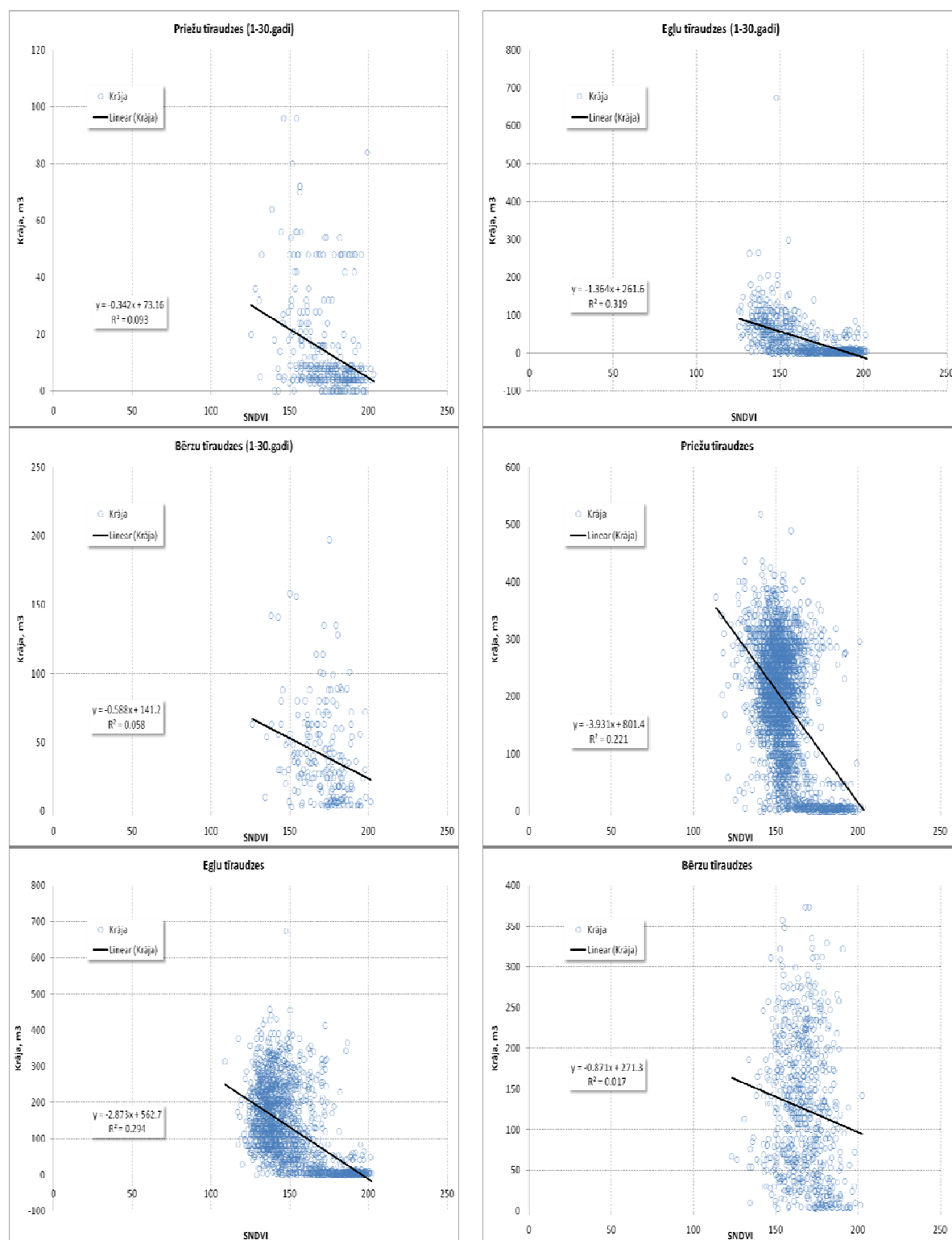
3.4.attēls: SNDVI un mežaudzes šķērslaukuma sakarības

Rezultāti par SNDVI noteiktās biežības un faktiskās biežības kļūdu robežām liecina par datu lielo izkliedi un zemo prognozēšanas precizitāti. Piemēram, 20% kļūdu robežas nepārsniedz 5-20% gadījumu (skatīt 3.5.attēlu). No rezultātiem var secināt, ka SNDVI lietošana šķērslaukuma automatizētai noteikšanai, turpmākai analīzei un saimnieciskā rīkojuma noteikšanai nav lietderīga.



3.5. attēls. Pēc SNDVI noteiktās biežības un faktiskās biežības kļūdu robežas

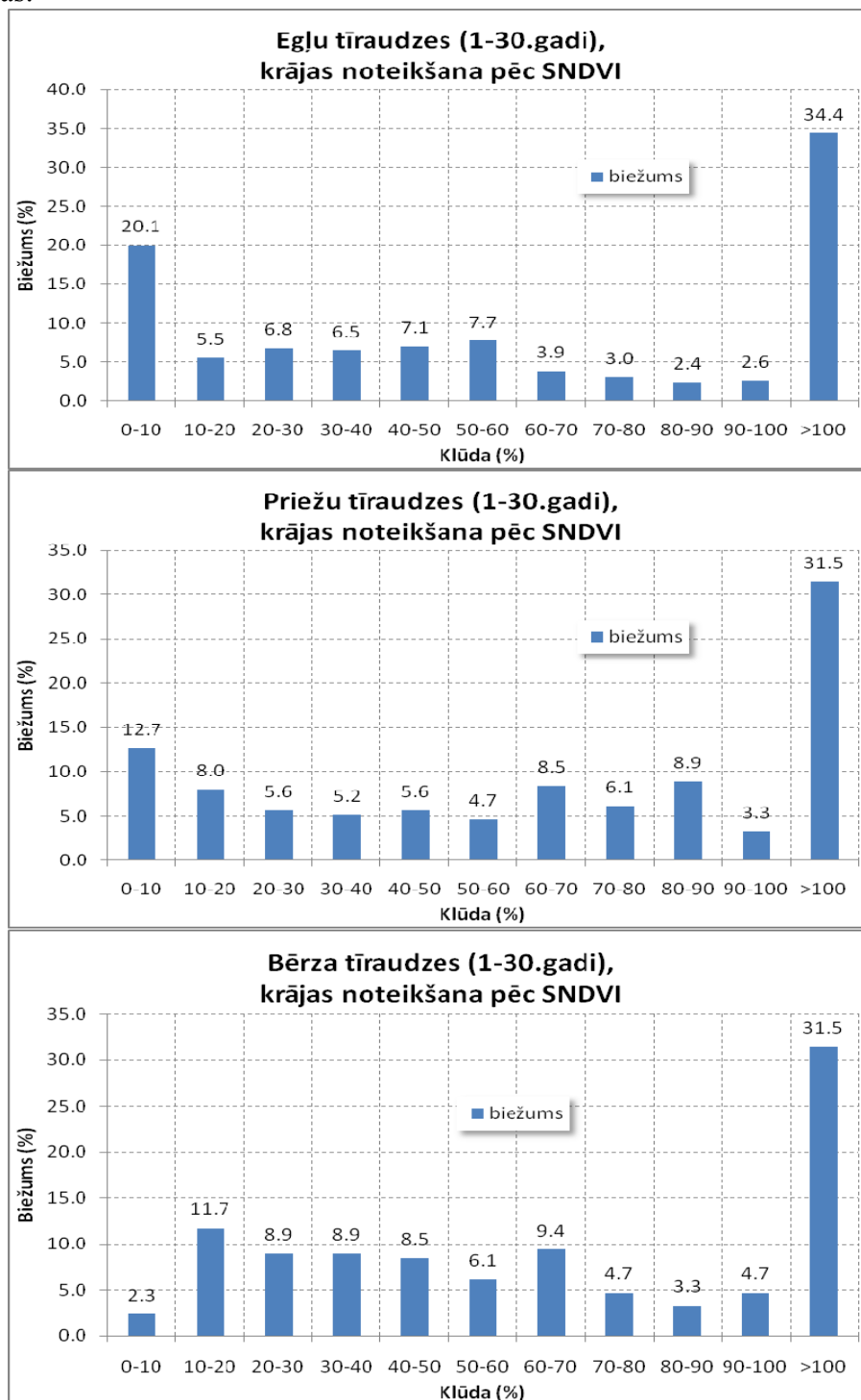
Mežaudzes krājas un SNDVI korelācijas analīzes rezultāti liecina (skatīt 3.6. attēlu), ka egļu tīraudzēs (1-30 gadus vecās) un visās egļu audzēs kopā konstatēta vidēji cieša saistība $R^2=0.319$ un $R^2=0.294$, kas ir zemāka kā biežības un šķērslaukuma analīzes rezultāti. Arī priežu tīraudzēs saistība ir zemāka un nav tik cieša. Rezultāti liecina par izteikta ir zemas krājas ($\leq 5\text{m}^2\text{-ha}$) veģetācijas indeksa zonu egļu un priežu audzēs SNDVI (robežas 180-200). Bērza audžu analīze liecina par izteikti vāju korelāciju.



3.6.attēls: SNDVI un mežaudzes krājas sakarības

Rezultāti par SNDVI noteiktās biežības un faktiskās biežības kļūdu robežām liecina par datu lielo izkliedi un zemo prognozēšanas precizitāti. Piemēram, 20% kļūdu robežas nepārsniedz 3-20% gadījumu (skatīt 3.7.attēlu). No rezultātiem var secināt, ka SNDVI lietošana krājas automatizētai noteikšanai, turpmākai analīzei un saimnieciskā rīkojuma ģenerēšanai nav lietderīga.

Dažādu mežaudžu kopu un SNDVI statistiskās analīzes rezultāti doti 3.1., 3.2. un 3.3. tabulās.



3.7. attēls. Pēc SNDVI noteiktās biežības un faktiskās biežības kļūdu robežas

3.1.tabula

Egļu tīraudzes (vecums 1-30.gadi)

	Novērojumu skaits	Korelācija (r)	Sigma	t-vērtība (5%)	t-empīriskais	Statistiski nozīmīgs	r_min	r_max
Biezība	723	-0.8056	0.0131	1.96	61.72	Jā	-0.8312	-0.7800
Šķērslaukums	723	-0.6303	0.0224	1.96	28.12	Jā	-0.6742	-0.5863
Krāja	723	-0.5651	0.0253	1.96	22.32	Jā	-0.6147	-0.5154

3.2.tabula

Priežu tīraudzes (vecums 1-30.gadi)

	Novērojumu skaits	Korelācija (r)	Sigma	t-vērtība (5%)	t-empīriskais	Statistiski nozīmīgs	r_min	r_max
Biezība	362	-0.5629	0.0359	1.96	15.68	Jā	-0.6333	-0.4925
Šķērslaukums	362	-0.3100	0.0475	1.96	6.52	Jā	-0.4031	-0.2169
Krāja	362	-0.3057	0.0476	1.96	6.42	Jā	-0.3991	-0.2123

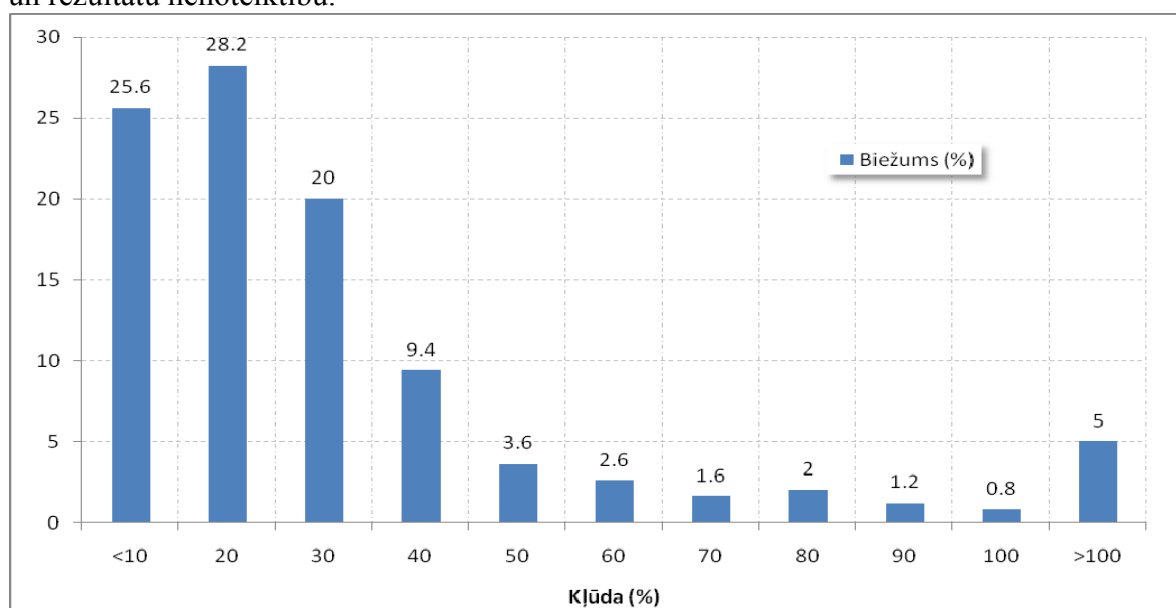
3.3.tabula

Bērzu tīraudzes (vecums 1-30.gadi)

	Novērojumu skaits	Korelācija (r)	Sigma	t-vērtība (5%)	t-empīriskais	Statistiski nozīmīgs	r_min	r_max
Biezība	213	-0.3291	0.0611	1.96	5.39	Jā	-0.4488	-0.2093
Šķērslaukums	213	-0.2600	0.0639	1.96	4.07	Jā	-0.3852	-0.1348
Krāja	213	-0.2421	0.0645	1.96	3.75	Jā	-0.3685	-0.1156

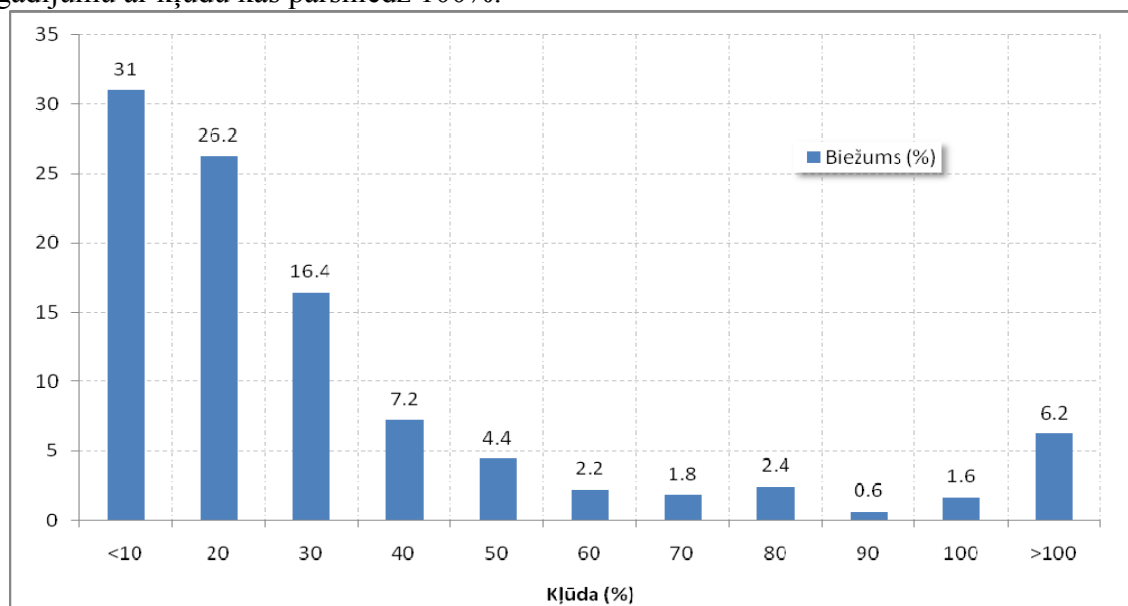
3.2. Satelītainu SPOT-5 visa spektra vērtību korelācija ar inventarizācijas datiem izmantojot mākslīgos neironu tīklus

Ar mākslīgo neironu tīklu metodi iegūtie rezultāti liecina par ievērojamo kļūdu intervālu un rezultātu nenoteiktību.



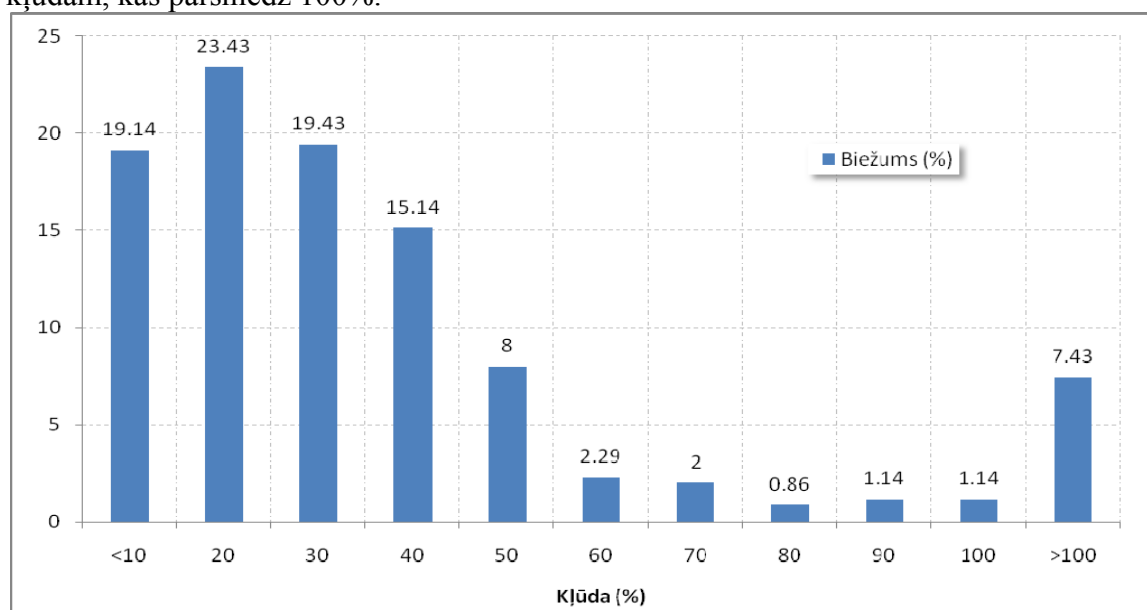
3.8.attēls. Biezības noteikšanas kļūdu robežas ar MNT

Biezības noteikšanā ar mākslīgo neironu tīklu, vidējā kļūda bija 29.12%, (skatīt 3.8.attēlu). Visbiežāk kļūdu lielums bijis 10-40 procentu klasēs. Tika novēroti 5% gadījumu ar kļūdu kas pārsniedz 100%.



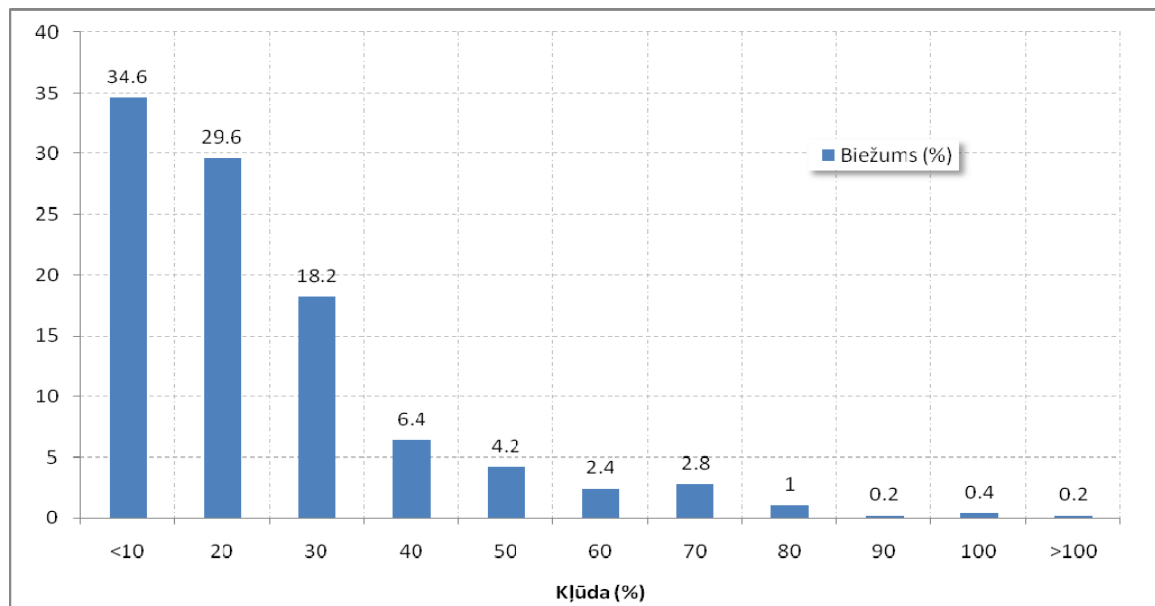
3.9.attēls. šķērslaukuma noteikšanas kļūdu robežas ar MNT

Šķērslaukuma noteikšana ar mākslīgo neironu tīklu, vidējā kļūda 30.66 %. (skatīt 3.9.att.) Visbiežāk kļūdu lielums bijis 10-30 procentu klasēs. Tika novēroti 6.2% gadījumi ar kļūdām, kas pārsniedz 100%.



3.10.attēls. krājas noteikšanas kļūdu robežas ar MNT

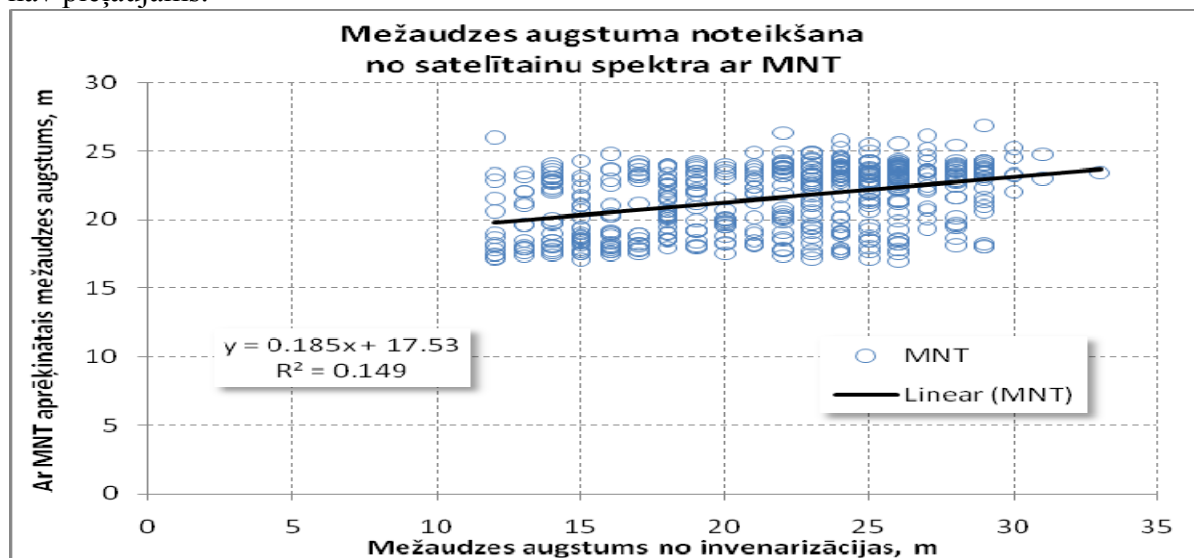
Krājas noteikšana ar mākslīgo neironu tīklu, vidējā kļūda 37.35 %. (skatīt 3.10.att.). Kļūdas grupējas robežās līdz 50 procentiem. Tika novēroti 7.43% gadījumi ar kļūdām, kas pārsniedz 100%.



3.11.attēls. augstuma noteikšanas kļūdu robežas ar MNT

Augstuma noteikšana ar mākslīgo neironu tīklu, vidējā kļūda 19.49 %. (skatīt 3.11.att.). Kļūdas grupējas robežās līdz 30 %. Kļūda kuras apjoms pārsniedz 80%, praktiski gandrīz nav novērojama, to var izskaidrot ar to, ka koku augstuma vērtību datu kopa ir vienveidīgāka.

No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka ar MNT iespējams no satelītainu datiem aprēķināt inventarizācijas taksācijas rādītājus ar vidējo kļūdu 19 - 37%, bet atsevišķos gadījumos maksimālā kļūda svārstās no 80-240%, kas reālam šīs metodes pielietojumam nav pieļaujams.



3.12.attēls. sakarības starp meža inventarizācijā fiksētajiem un ar MNT noteiktajiem mežaudzes vidējiem augstumiem.

Analizējot mežaudzes taksācijas pazīmes ar MNT tika konstatēta vāja saistība (determinācijas koeficients $R^2=0.149$) starp mežaudzes augstumu un NDVI koeficientu (3.12.att), bet tā ir augstāka, kā ar veģetācijas indeksu noteiktā ($R^2=0.095$). Citām taksācijas pazīmēm ar MNT aprēķinātās vērtības uzrādīja vēl zemāku saistību.

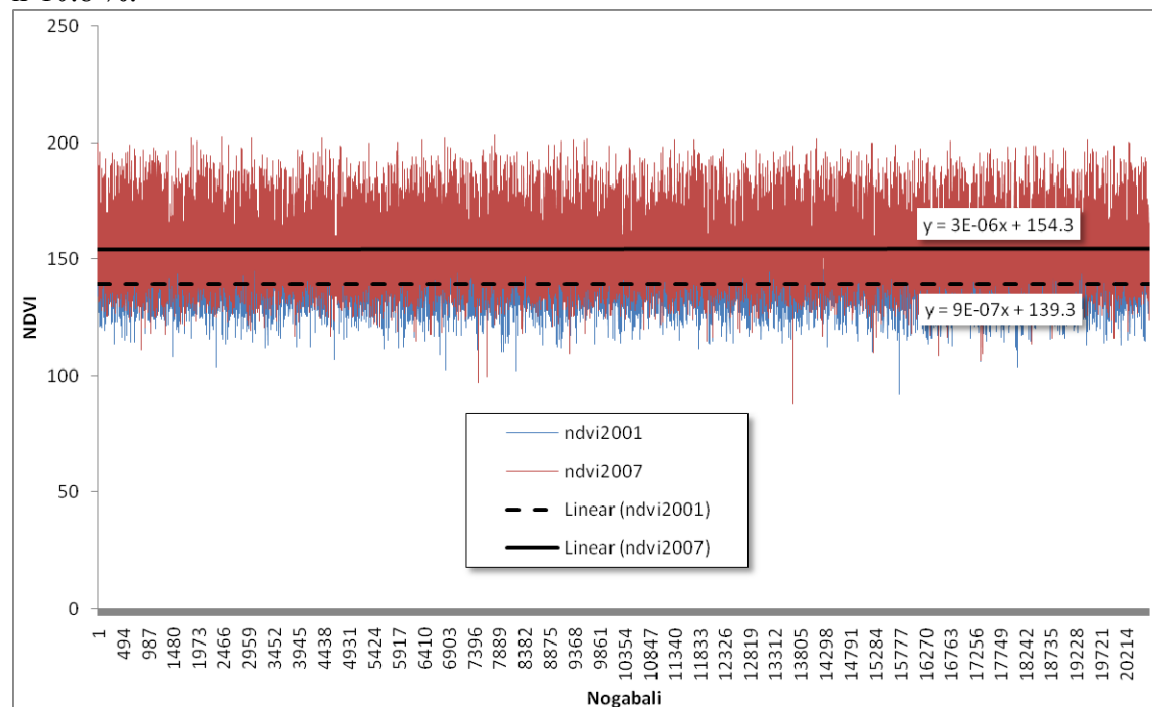
Analizējot ar satelītainu SPOT-5 spektra vērtībām un taksācijas rādītāju vidējo koku augstumu apmācīto MNT struktūru (skat. 3.13.att.), var redzēt to, ka svarīgi ir nevis tikai divas, bet trīs spektra vērtības. To var noteikt pēc MNT svaru analīzes matricas, kurā ar burtu A-Z diapazonu tiek attēlotas svaru vērtības (A-maza svaru vērtība, Z-nozīmīga svaru vērtība), lielie burti norāda uz pozitīvu svaru vērtību, bet mazie burtie – negatīvu svaru vērtību.

Layer / Neuron	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L 1 / N 13	b	B	r	B	B	b	B	C	z	b	e	d	a	.....					
L 1 / N 14	B	A	Z	A	A	B	A	A	z	B	C	z	A	.....					
L 1 / N 15	a	C	Z	C	C	b	B	E	Z	c	o	Z	a	.....					
L 1 / N 16	B	A	Z	A	B	A	A	A	z	B	C	z	B	.....					
L 1 / N 17	A	D	Z	C	C	b	C	F	Z	d	o	Z	a	.....					
L 1 / N 18	C	B	m	A	B	A	A	A	Z	B	E	x	B	.....					
L 1 / N 19	.....																		
L 2 / N 20	.....														B	a	A	a	A	B
L 2 / N 21	.....																		

3.13. attēls. MNT neironu saistību svaru analīzes matrica.

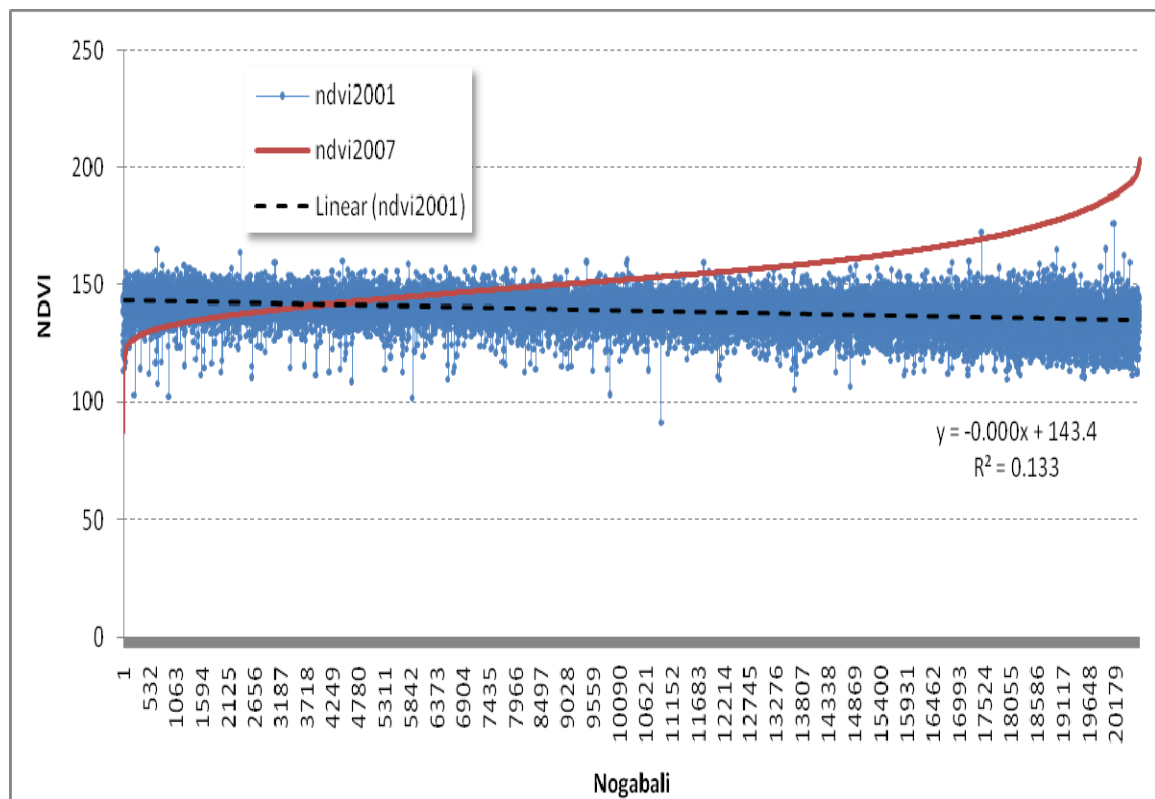
3.3. Veģetācijas indeksu salīdzināšana starp dažādā laikā uzņemtiem attēliem

Veģetācijas indeksa izmaiņas laikā norāda uz kopējo veģetācijas pieaugumu vai veģetācijas kritumu. Šajā gadījumā aplūkojot grafiku 3.14 attēlu var konstatēt, ka 2007 gada veģetācijas indekss ir lielāks kā 2001 gadā. Veģetācijas indeksa pieauguma starpība ir 10.8 %.



3.14. attēls. Veģetācijas indeksa izmaiņu dinamika 2001-2007 gadā

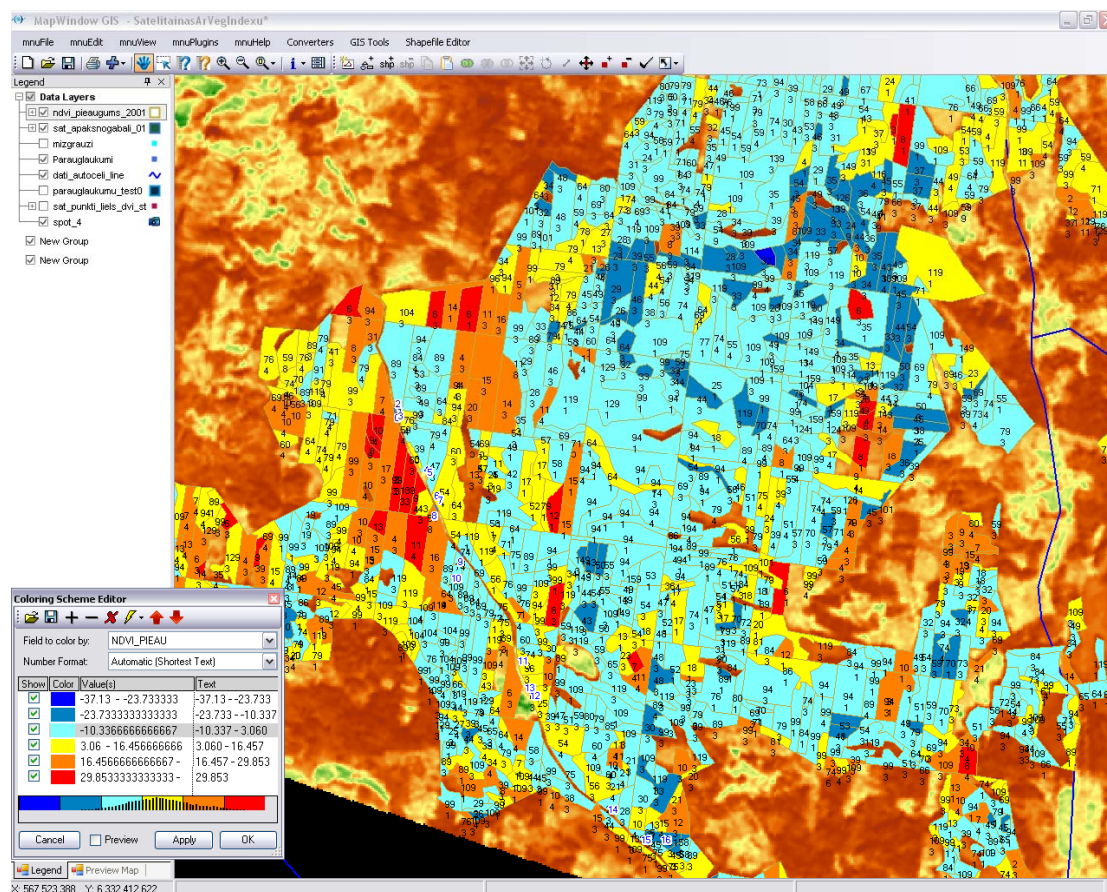
Sakārtojot 2007. gada veģetācijas indeksa datus augošā secībā un tos aplūkojot 3.15.attēlā attiecībā pret atbilstošajiem 2001. gada datiem var konstatēt, ka veģetācijas indeksa pieaugums vērojams lielākajā daļā nogabalu, tikai aptuveni ¼ daļā nogabalu veģetācijas indekss ir samazinājies.



3.15.attēls. 2001. gada veģetācijas indeksa salīdzinājums attiecībā pret 2007. gada augošā secībā kārtotiem veģetācijas datiem

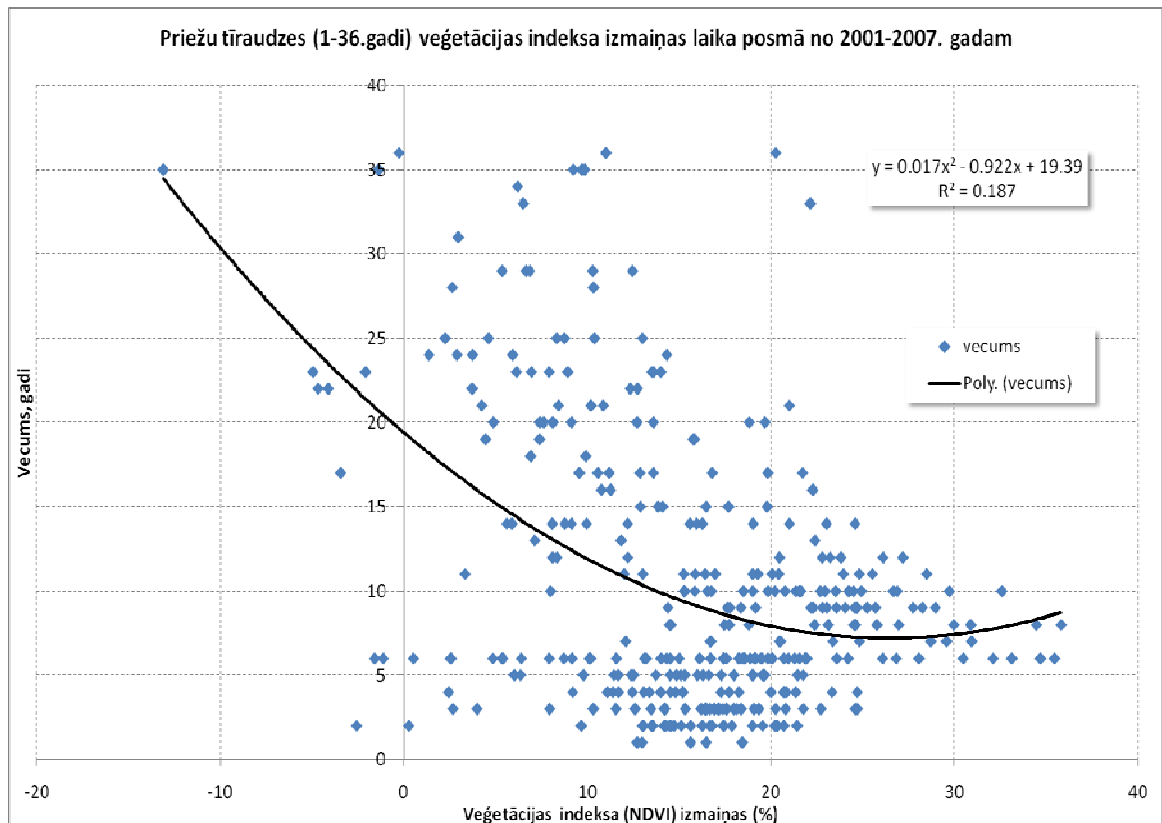
3.16.attēlā atspoguļots veģetācijas indeksa procentuālais pieaugums un nogabaliem attiecīgie inventarizācijas rādītāji (valdošās sugas vecums un sugas kods). Attēls uzskatāmi liecina, ka pieaugušām audzēm veģetācijas indeksa pieaugums nav novērojams – pārsvarā tas ir tuvu nullei vai negatīvs, bet jaunaudzēm vai tikko izcirstam mežam veģetācijas indeksa pieaugums ir pozitīvs. Dažviet var novērot, ka veģetācijas indeksa pieaugums pēc šīs krāsu klasifikācijas atbilst lielākajam un valdošās sugas vecums pārsniedz galvenās cirtes vecumu. Tas liek domāt, ka šajās teritorijās ir veikta galvenā cirte, bet izmantotajos taksācijas rādītājos šī informācija nav vēl reģistrēta. Šīs izmaiņas daļēji saistāmas ar atšķirīgo veģetācijas stāvokli (attēli uzņemti dažādos gadalaika datumos), bet arī ar atklāto platību (izcirtumi) īpatsvara īpatsvaru.

Veģetācijas indeksu izmaiņu dinamikas analīze dažādos gados uzņemtajos attēlos rada iespēju atpazīt saimnieciskajai darbībai pakļautās teritorijas, galvenokārt teritorijas, kurās veiktas galvenās cirtes. Šo teritoriju atpazīšanu iespējams automatizēt.

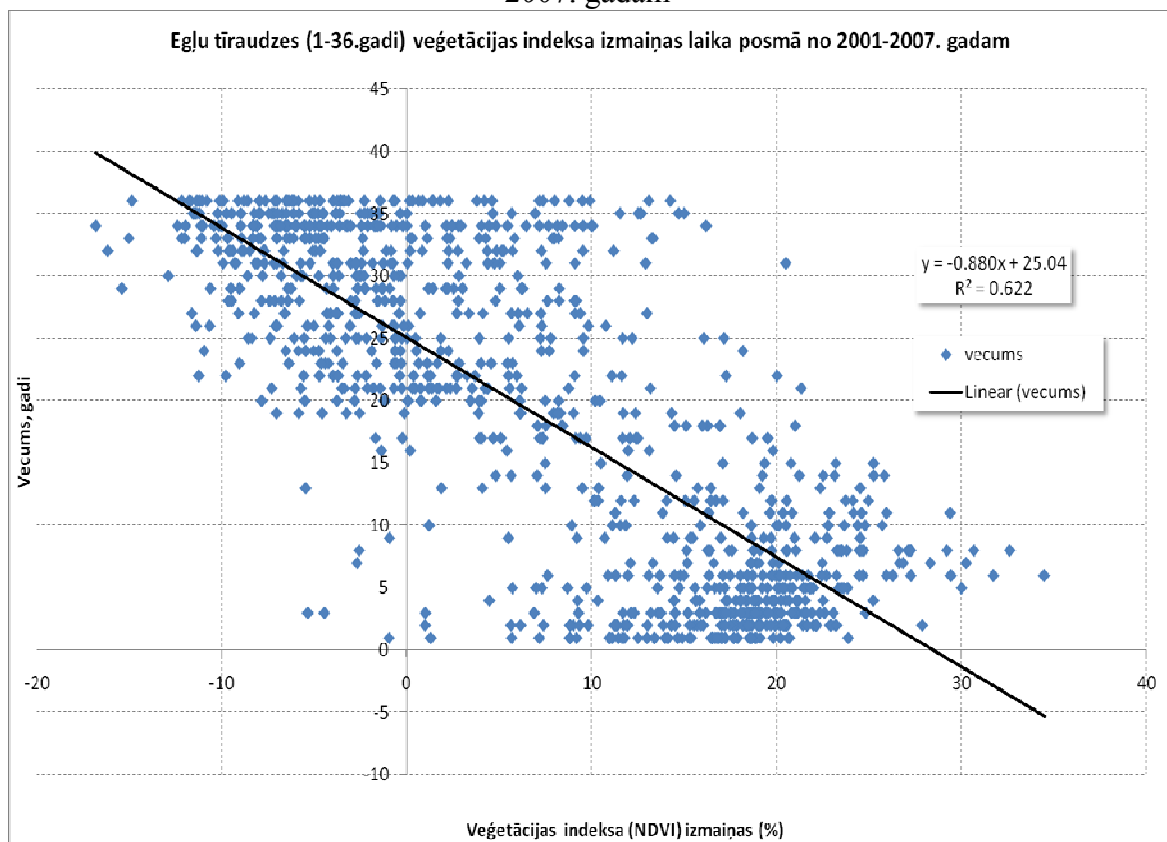


3.16.attēls. Veģetācijas indeksa izmaiņu (2001-2007.g) novērtējums uz kartes

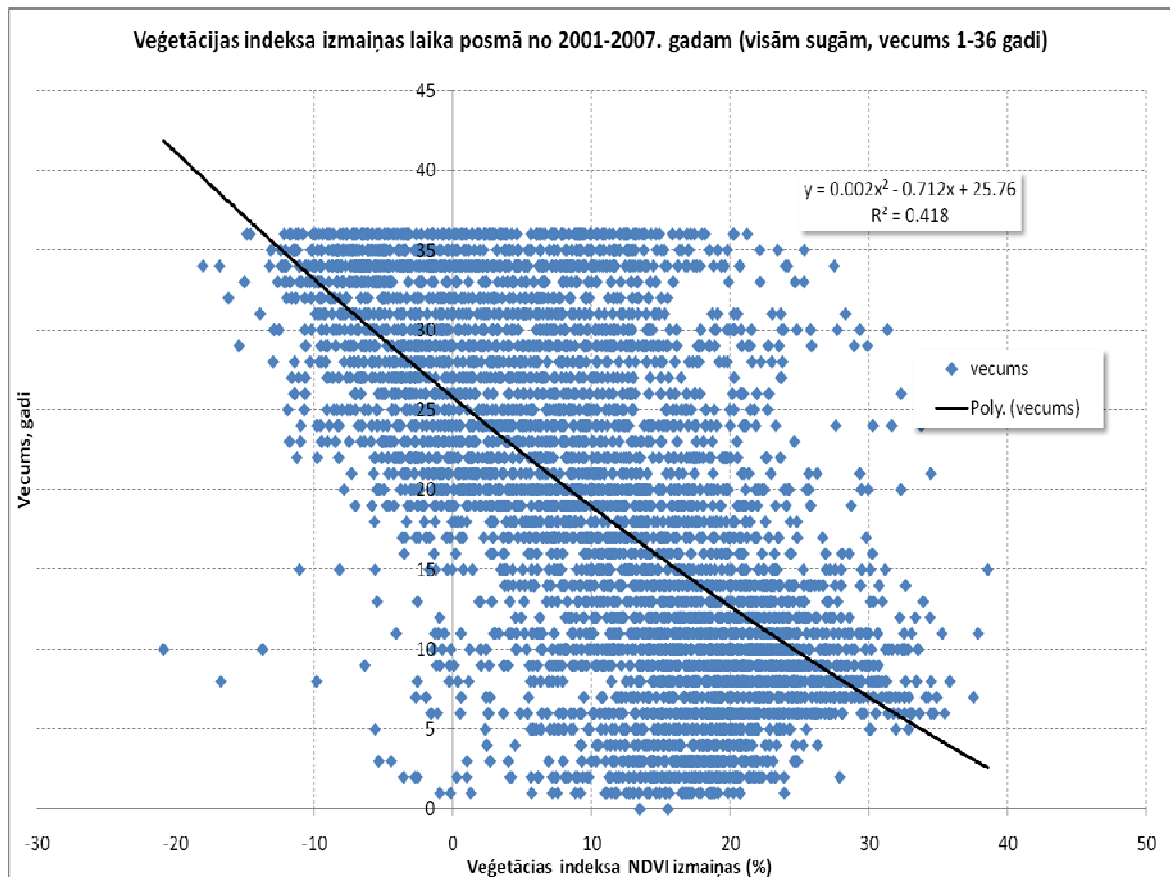
Veicot veģetācijas indeksa izmaiņu dinamikas novērtējumu no 2001.gada līdz 2007. gadam, tika konstatēts fakts, ka vislielākās veģetācijas indeksa izmaiņas raksturīgas tieši jaunaudzēm un audzēm līdz 36 gadiem. To var novērot gan 3.16. att., kur nogabali sarkanā krāsā raksturo maksimālo veģetācijas pieaugumu procentos, gan arī 3.17., 3.18., 3.19. grafikos attēlotā veģetācijas indeksa un taksācijas rādītāju sakarības.



3.17. attēls. Veģetācijas indeksa NDVI izmaiņas priežu tīraudzēs laika posmā no 2001-2007. gadam



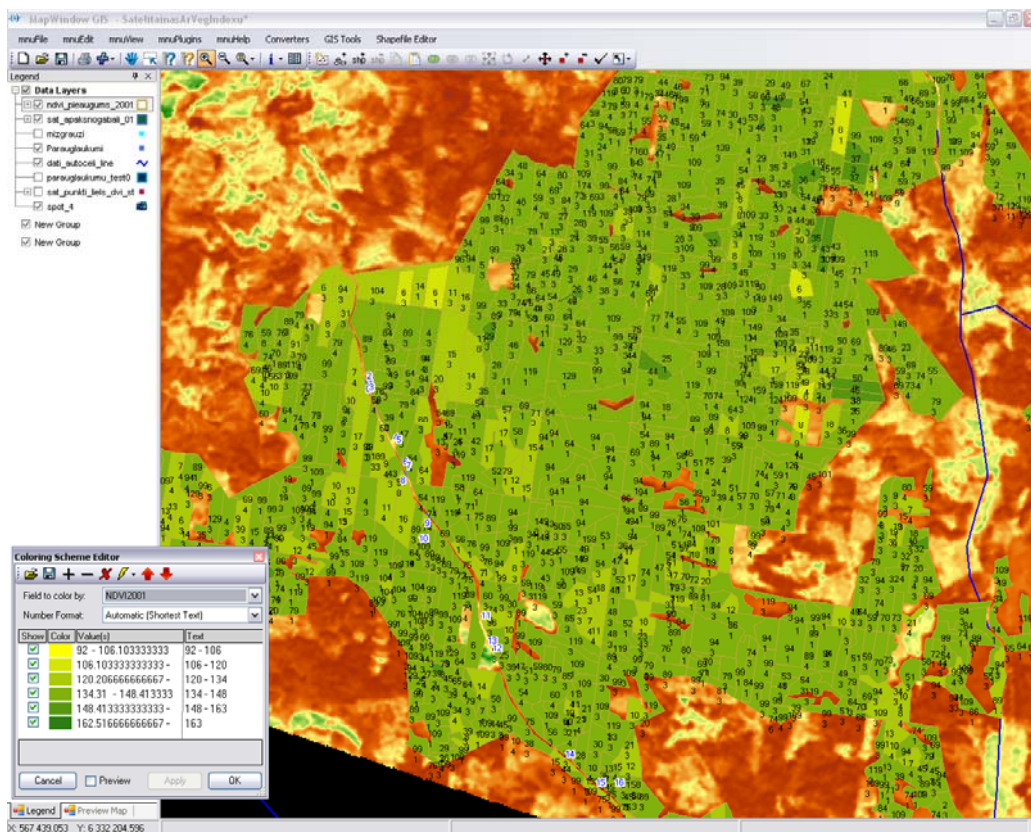
3.18. attēls. Veģetācijas indeksa NDVI izmaiņas egļu tīraudzēs laika posmā no 2001-2007. gadam



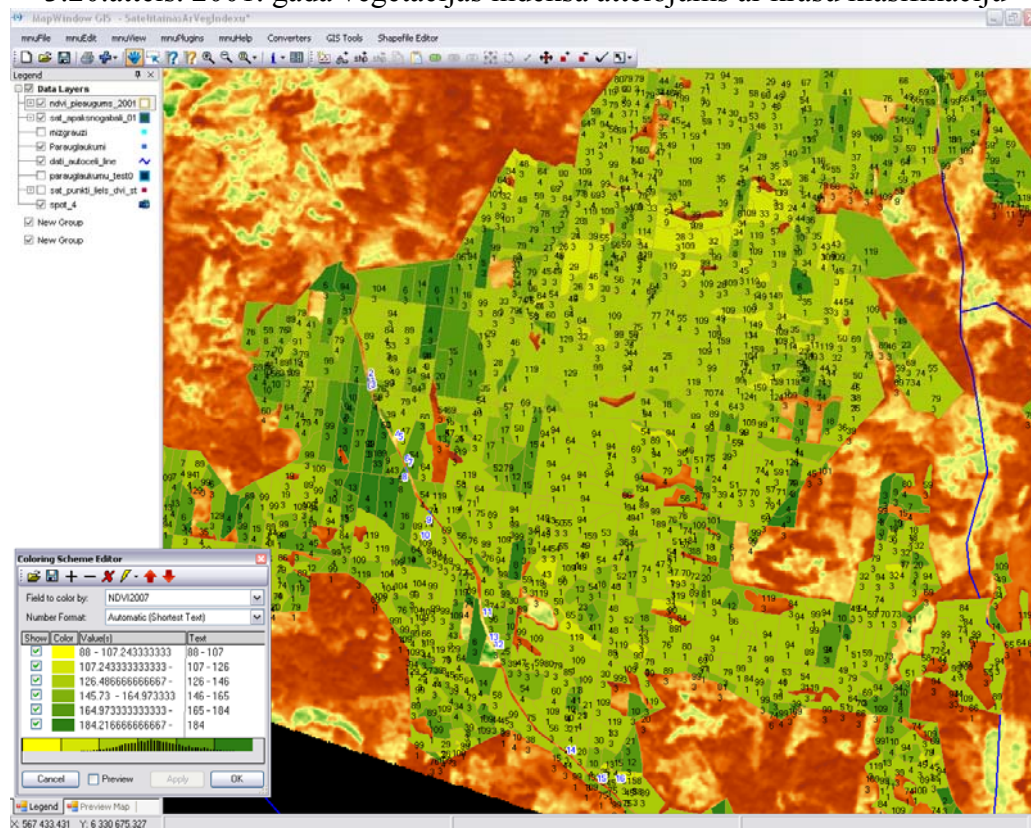
3.19. attēls. Veģetācijas indeksa NDVI izmaiņas visu sugu jaunaudzēs laika posmā no 2001-2007. gadam

Kā redzams attēlos, pieaugot jaunaudžu vecumam veģetācijas indekss NDVI relatīvi samazinās. Starp vecuma pieaugumu un NDVI samazināšanos pastāv cieša korelācija egļu tīraudzēs ($R^2=0.622$). Pārējās jaunaudzēs dati korelē vidēji cieši ($R^2=0.418$).

Veģetācijas indeksa izmaiņu dinamika attēlota 3.20. un 3.21. attēlos. Veģetācijas indeksa NDVI krass pieaugums virs 160.0 liecina par platību nociršanu galvenajā cirtē, vai par postījumiem, kuru rezultātā iznīcināts koku vainagu klājs (vējgāzes, bebru u.c. postījumi). Veģetācijas indeksa NDVI vērtības robežās no 160-200 raksturīgas izcirtumiem.



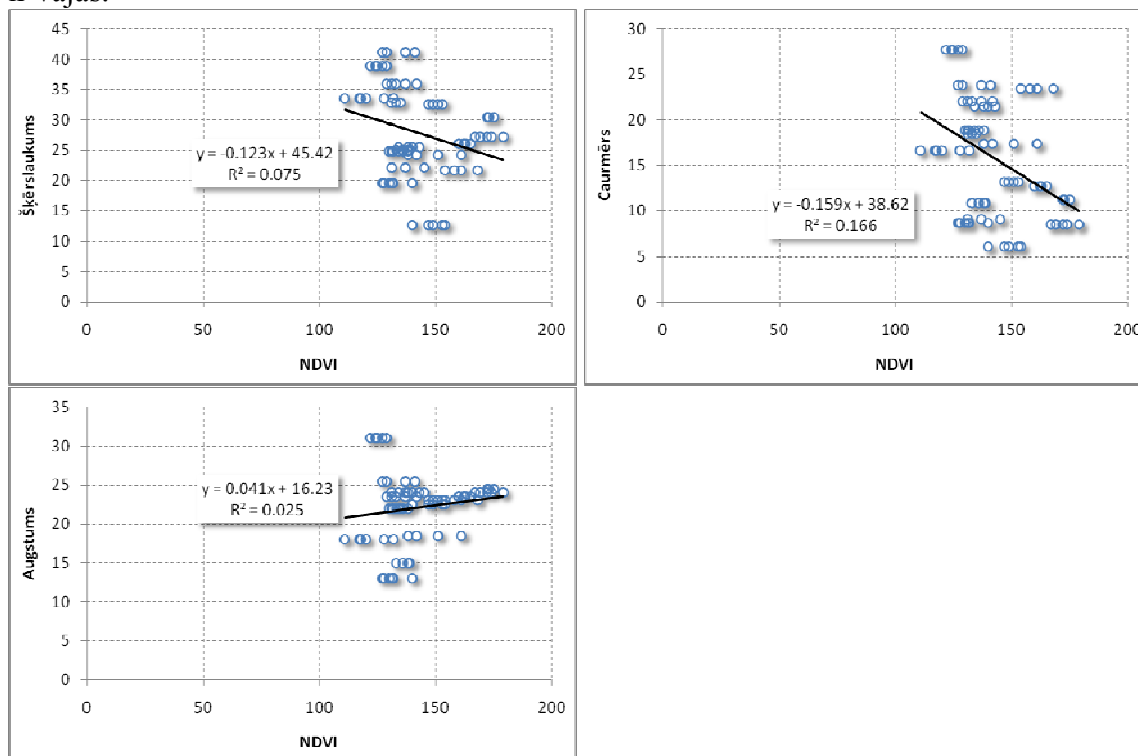
3.20.attēls. 2001. gada veģetācijas indeksa attēlojums ar krāsu klasifikāciju



3.21.attēls. 2007. gada veģetācijas indeksa attēlojums ar krāsu klasifikāciju

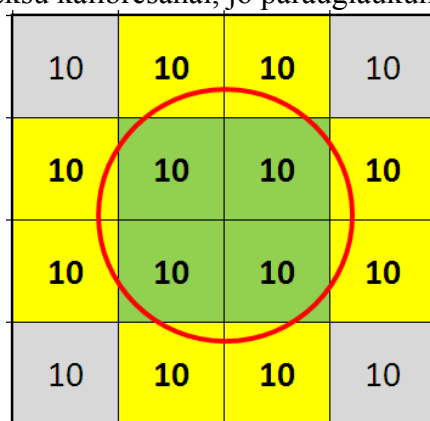
3.4. Veģetācijas indeksa korelācijas noteikšana ar parauglaukuma datiem

Pēc parauglaukumu datiem bija paredzēts noteikt korelāciju starp veģetācijas indeksu un parauglaukumos uzmērītajiem taksācijas rādītājiem. Ja tiek noteikta korelācija starp šiem datiem tad parauglaukumu informāciju var izmantot, lai precīzāk kalibrētu veģetācijas indeksu klasifikāciju. Pēc iegūtajiem datiem (3.22.attēls) var redzēt, ka korelācijas saites ir vājas.



3.22.attēls. Taksācijas datu un veģetācijas indeksa NDVI sakarības parauglaukumos

Parauglaukumu datu un veģetācijas indeksu sliktā korelācija daļēji varētu tikt saistīta arī ar to mazo platību 500m^2 un rādiusu 12.62m , kas attiecībā pret satelītainas punktiem ($10 \times 10\text{m}$) pilnībā nepārklājas (skatīt 3.23.attēlu) līdz ar to veidojas blakus esošu pikseļu informācijas troksnis. Tātad LVMI Silava veiktās statistiskās inventarizācijas parauglaukumu datu bāze nav pietiekami efektīvi pielietojama vidējas izšķirtspējas satelītattēlu veģetācijas indeksu kalibrēšanai, jo parauglaukumu rādiuss ir nepietiekams.



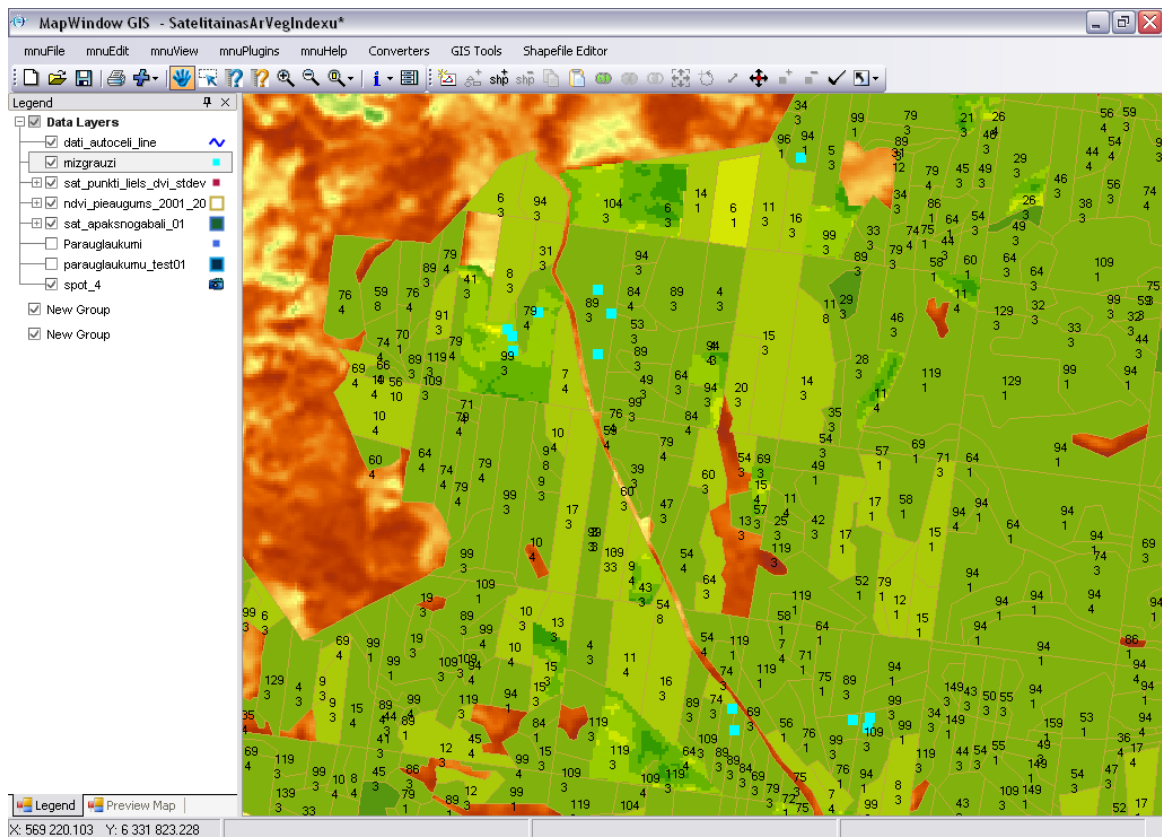
3.23. attēls. Apļveida parauglaukuma ($r=12.63\text{m}$) pārklājums attiecībā pret Satelītainas SPOT-5 ($10 \times 10\text{m}$) pikseļiem

3.5. Veģetācijas indeksa NDVI pielietošana postījumu skartās mežaudzes daļas noteikšanai

Pētījumā tika pārbaudīta mežaudžu bojāto daļu atpazīšana ar vidējas izšķirtspējas satelītu attēlos aprēķināto veģetācijas indeksu palīdzību. Tika izvirzīta hipotēze, ka mežaudzes bojājumu neskartās daļas veģetācijas indekss veido fonu, bet bojātās daļas pikseļos jānovēro trokšņi (krasas veģetācijas indeksa atšķirības). Visos apsekotajos nogabalos, kuros tika konstatēta mizgraužu klātbūtnes ietekme, veģetācijas indeksā NDVI krasas izmaiņas netika konstatētas (skatīt 3.22.attēlu). Apsekotajās platībās mizgraužu perēkļi atradās nelielās grupās un atsevišķos kokos, tika apskatīti arī vecie mizgraužu perēkļi, kuri jau izcirsti. Veģetācijas indeksa NDVI nemainība ir skaidrojama ar to, ka otrā stāva koki un paaugā esošie augi kompensē iespējamās veģetācijas indeksa atšķirības. Līdz ar to hipotēze tika noraidīta.

Nevienā no apsekotajām platībām, kurās tika konstatēta veģetācijas indeksa NDVI krasas izmaiņas nogabala robežās, netika konstatēta mizgraužu klātbūtne. Šajās platībās tika konstatēts:

- izcirtumi ar dažādu aizauguma pakāpi;
- jaunaudzes ar nevienmērīgu biežību;
- platības ar nevienmērīgu pameža izkārtojumu;
- pārpurvojušās platības.



3.24. attēls: Veģetācijas indeksi konstatētajā mizgraužu ligzdās

Attēlos 3.24.-3.28. parādītas atšķirīgas mežaudzes ar līdzīgiem veģetācijas indeksiem.



3.25.attēls. Mežaudzes ar veģetācijas indeksu NDVI robežās no 84 – 119



3.26.attēls. Mežaudzes ar veģetācijas indeksu NDVI robežās 119 – 154

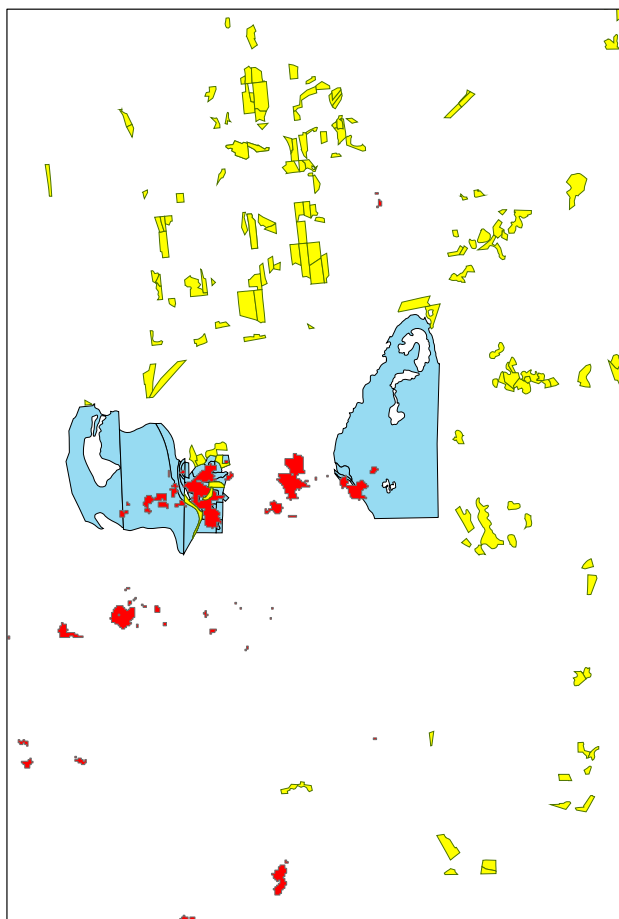


3.27.attēls. Mežaudzes ar veģetācijas indeksu NDVI robežās 154 – 188



3.28.attēls. Mežaudzes ar veģetācijas indeksu NDVI robežās virs 188

Salīdzinot a/s Latvijas valsts meži sagatavoto datubāzes informāciju ar no satelītattēliem aprēķinātajām bojātajām platībām, tikai 4 nogabalos no 1251 tika konstatēta pārklāšanās (skatīt 3.29.attēlu). Attēlā dzeltenā krāsā attēlota bojājumu skartā teritorija no a/s Latvijas valsts meži datubāzes, sarkanā krāsā no satelītu attēliem noteiktās teritorijas. Zilā krāsā attēloti nogabali, kuros konstatēts bojāto teritoriju pārklājums. Tas liecina par to, ka vidējās izšķirtspējas satelītainās aprēķinātie veģetācijas indeksi nevar tikt izmantoti bojājumu skarto platību noteikšanai.



3.29.attēls. Veselības stāvokļa raksturojums testa reģionā

Sakarības starp bojājumu veidiem, veģetācijas indeksu un taksācijas rādītājiem dotas 1.pielikumā.

Secinājumi:

- Tā kā veģetācijas indeksi izmanto NIR un RED informāciju – tad nav starpības, kuru no veģetācijas indeksiem izmantot lai noteiktu korelāciju ar veģetāciju uz zemes, jo šie veģetācijas indeksi savstarpēji pietiekami cieši korelē;
- No vidējās izšķirtspējas satelītainām iegūtie veģetācijas indeksi nesniedz pietiekami precīzu informāciju par meža inventarizācijas parametriem. Labākie rezultāti tika iegūti analizējot saistību starp veģetācijas indeksu SNDVI un biezību, tomēr veģetācijas indeksa vērtību izkliede atsevišķā biezības intervālā ir ievērojama un nodrošina kļūdu robežās $\pm 20\%$ 26-37% , bet robežās $\pm 30\%$ 50% gadījumu atbilstību, kas ir nepietiekami, lai uz iegūtās informācijas pamata veiktu saimniecisko rīkojumu piešķiršanu;
- Vidējās izšķirtspējas satelīta uzņēmumu analīze ar mākslīgo neirona tīklu (MNT) metodi uzrādīja relatīvi labākus rezultātus salīdzinājumā ar veģetācijas indeksu

analīzes metodi, tomēr kļūdu robežās līdz 30 % atbilda 74% gadījumu. Labākie rezultāti tika gūti analizējot bieziību un šķērslaukumu. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka ar MNT iespējams aprēķināt inventarizācijas taksācijas rādītājus ar vidējo kļūdu 19 - 37%, bet atsevišķos gadījumos maksimālā kļūda svārstās no 80-240%, kas ir nepietiekami, lai uz iegūtās informācijas pamata veiktu saimniecisko rīkojumu piešķiršanu;

- Ar veģetācijas indeksa NDVI palīdzību iespējams analizēt dažādos laikos uzņemtus satelīta uzņēmumus nosakot teritorijas, kurās veikta saimnieciskā darbība un noticis krasas izmaiņas veģetācijas klājā. Veģetācijas indekss virs 160.0 liecina par platību nociršanu galvenajā cirtē, vai par postījumiem, kuru rezultātā iznīcināts koku vainagu klājs (vējgāzes, bebru u.c. postījumi). Veģetācijas indeksa NDVI vērtības robežās no 160-200 raksturīgas izcirtumiem.
- Aplūveida parauglaukumu rādiuss 12.62m nav pietiekams vidējas izšķirtspējas satelīta uzņēmumu pikseļu kalibrēšanai. Tātad, LVMI Silava veiktās statistiskās inventarizācijas parauglaukumu datu bāze nav pietiekami efektīvi pielietojama vidējas izšķirtspējas satelīta attēlu datu kalibrēšanā.
- Veģetācijas indeksa atšķirības starp mežaudzes bojāto daļu un neskarto daļu grūti konstatējamas, jo veģetācijas indeksu ietekmē ne vien valdaudzes, bet arī starpaudzes, paaugas un pameža stāvoklis.
- Nevienā no apsekotajām platībām, kur tika konstatēta veģetācijas indeksa NDVI krasas izmaiņas nogabala robežās, netika konstatēta mizgraužu klātbūtne. Šajās platībās tika konstatēti izcirtumi ar dažādu aizauguma pakāpi, jaunaudzes ar nevienmērīgu bieziību, platības ar nevienmērīgu pameža izkārtojumu pārpurvojušās platības. Tātad, veģetācijas indeksa izmaiņas un indeksa intervāli nav saistāmi ar kāda konkrēta faktora izmaiņām, tam ir nejaušs raksturs.

Priekšlikumi:

- Salīdzinot ilgākā laika posmā iegūtas satelītainas var iegūt veģetācijas indeksu diferenci un no tās var konstatēt saimnieciskās darbības faktus par mežaudzes izciršanu un atjaunošanos. Vietās kur liels veģetācijas indeksa pieaugums pastāv varbūtība, ka ir veikta mežaudzes atjaunošana.
- Lai panāktu labākus pētījuma rezultātus nepieciešams veikt analīzi ne tikai ar atsevišķu vienu satelīta uzņēmumu, bet vairākām secīgām satelītainām kas uzņemtas ar 1-3 mēnešu intervālu. Tādejādi iespējams samazināt mākoņainības, mitruma, ēnojuma, veģetācijas intensitātes u.c. atmosfēras faktoru ietekmi uz rezultātiem.
- Ņemot vērā to, ka datu interpretēšanas iespējas saistāmas ar attēlu izšķirtspēju, turpmākos pētījumos būtu nepieciešams analizēt augstas izšķirtspējas attēlus, ar kuru palīdzību būtu iespējams sasniegt šajā pētījumā sākotnēji izvirzītos mērķus.

Izmantotā literatūra:

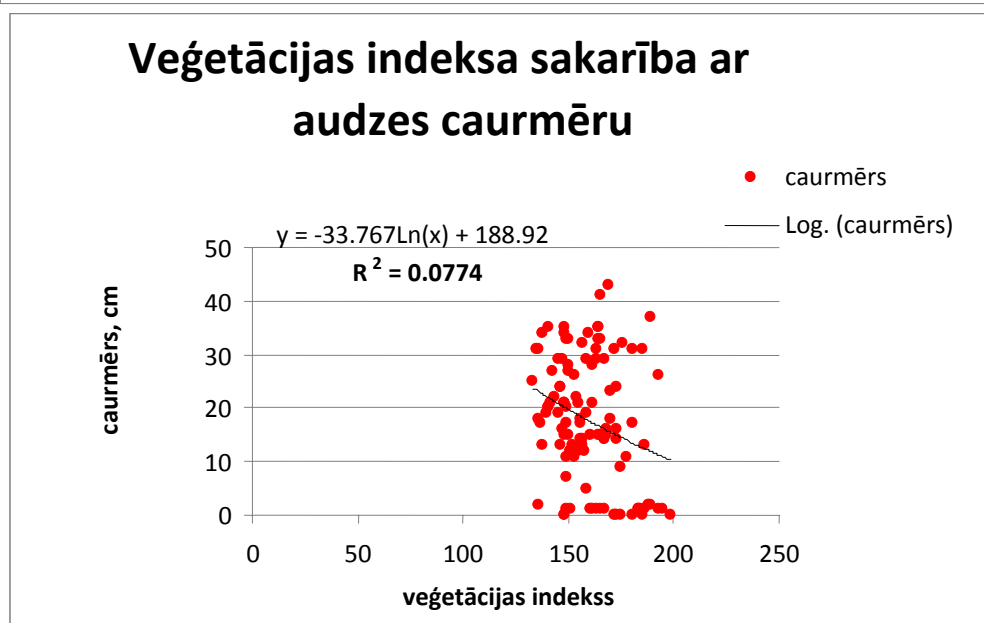
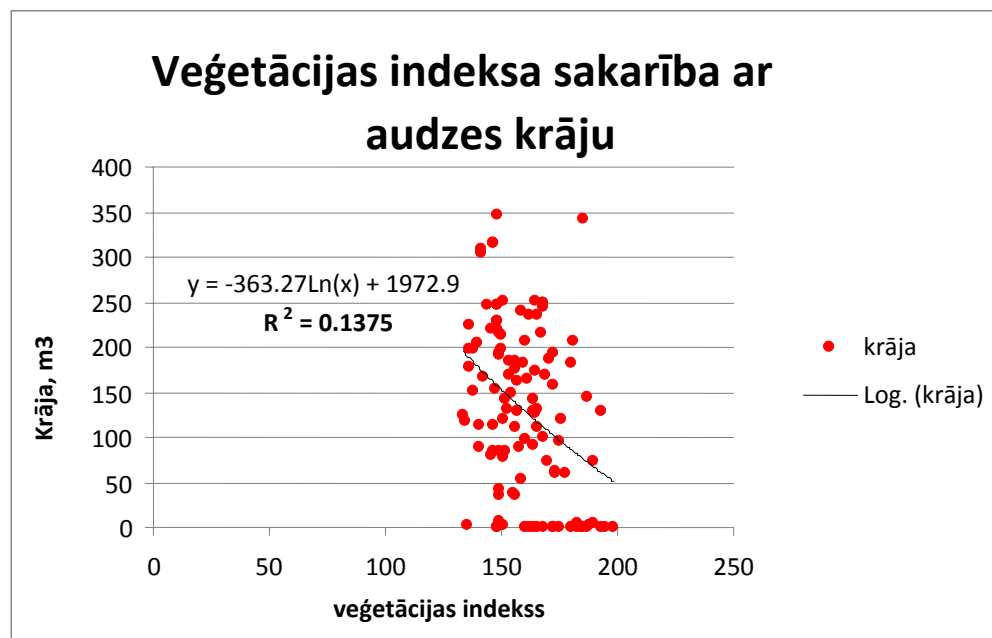
1. R. Nemani, L. Pierce, S. Running, L. Band. Forest ecosystem processes at the watershed scale: sensitivity to remotely-sensed Leaf Area Index estimate. International Journal of Remote Sensing. Nr. 14, izdots 13 Septembrī 1993. 2519 – 2534 lpp. (<http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a777644233~db=all>) Resurss apskatīts 11.06.2008.

2. J. Zhangyan, R. Huete, J. Chen, Y. C. Jing Li, G. Yan, X. Zhang. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Research of Education Ministry of China, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China. 24 Maijs 2005.
(http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4JCBNJ5-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d71a811687fff4fd3c0a65be6552eaf6) Resurss apskatīts 11.06.2008.
3. N. Toby, A. Carlson. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Ripley Department of Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park, USA. 23. Decembris 1996.
(http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-3T7HM33-4&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=87dfa3207f41f109f955a0943c09e6c6) Resurss apskatīts 11.06.2008.
4. L. Dengsheng, P. Mausel, E. Brondizio, E. Moran. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. Journal of Forestry Research. Nr. 18, izdots 3. Septembrī 2007, 241-244 lpp. (<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=18333777>) Resurss aprakstīts 11.06.2008.
5. P. G. Ruiliang, P. Biging, G.S. Larrieu, Estimation of forest parameters based on TM imagery and statistical analysis. Journal of Geoscience and Remote Sensing . Nr. 41, izdots jūnijā 2003, 1355- 1362 lpp. (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1220243) Resurss aprakstīts 11.06.2008.
6. T.W. Ray. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing. Geological and Planetary Sciences California Institute of Technology. 1994. 12 lpp. (<http://www.kepler.gps.caltech.edu>) Resurss apskatīts 11.06.2008.

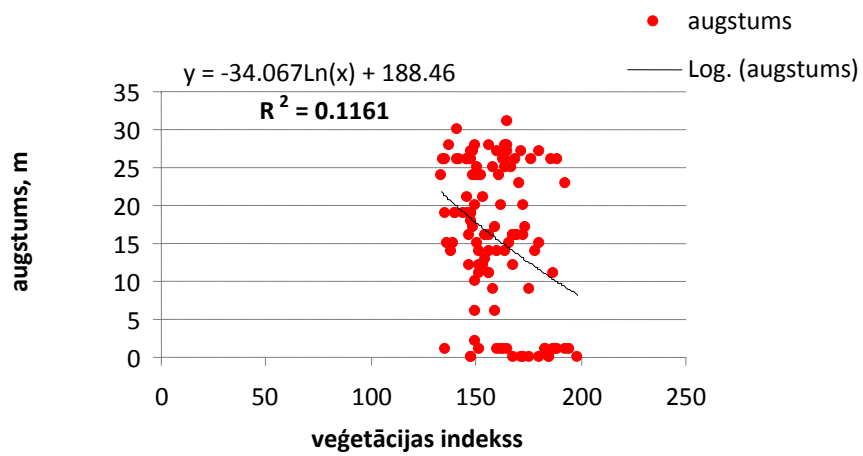
1. PIELIKUMS

Bojājumu nosaukums – vējgāze (SNDVI)

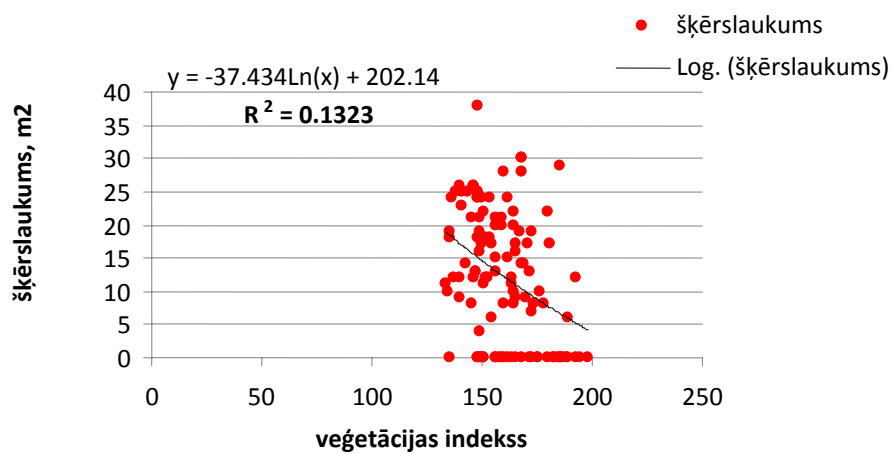
Valdošā suga – egle



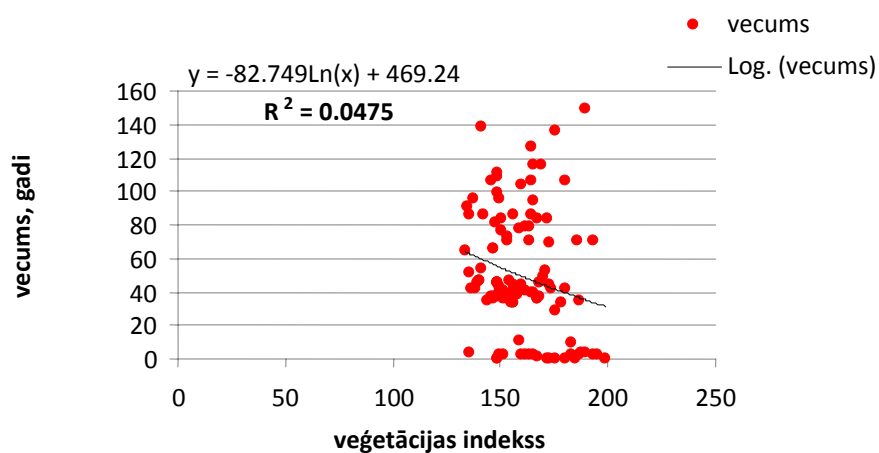
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



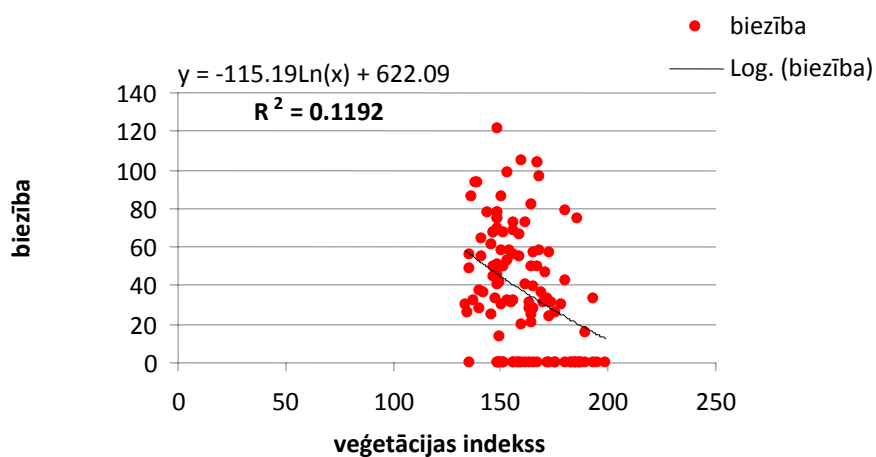
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu

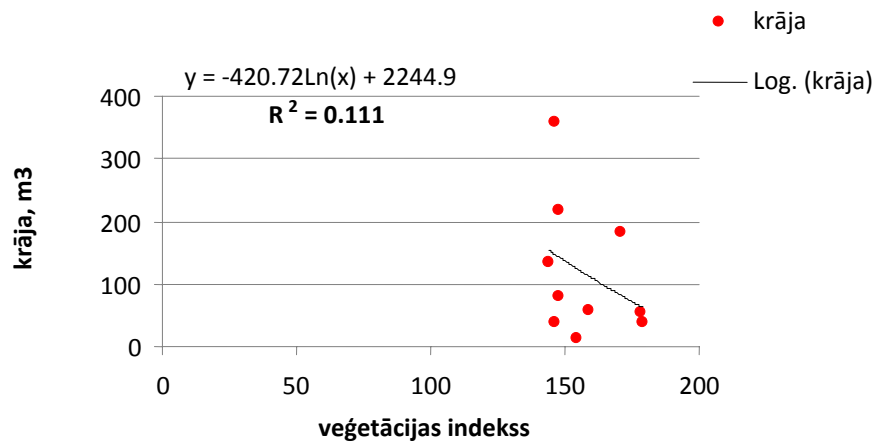


Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību

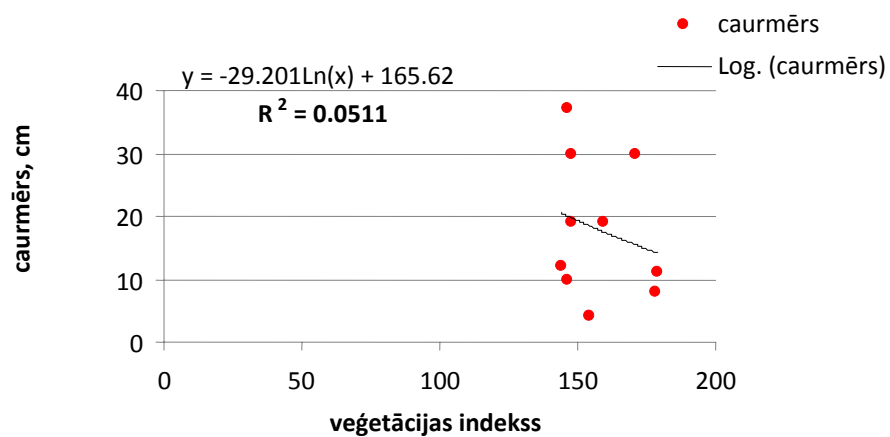


Bojājumu nosaukums – **ūdens**
Suga – **egle**

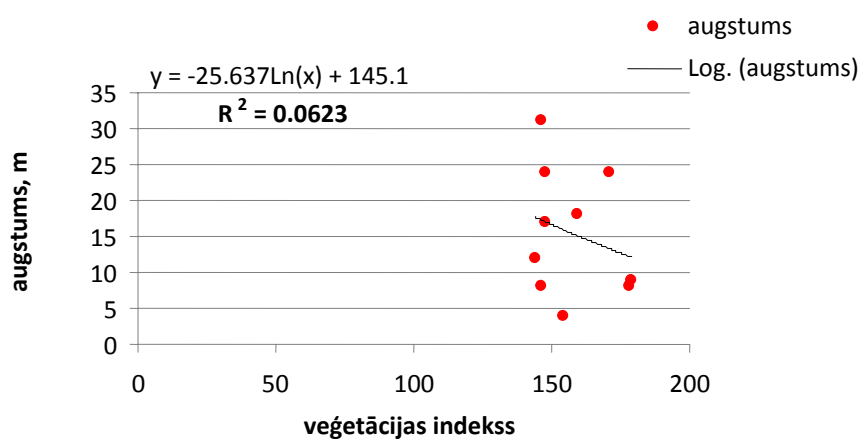
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes krāju



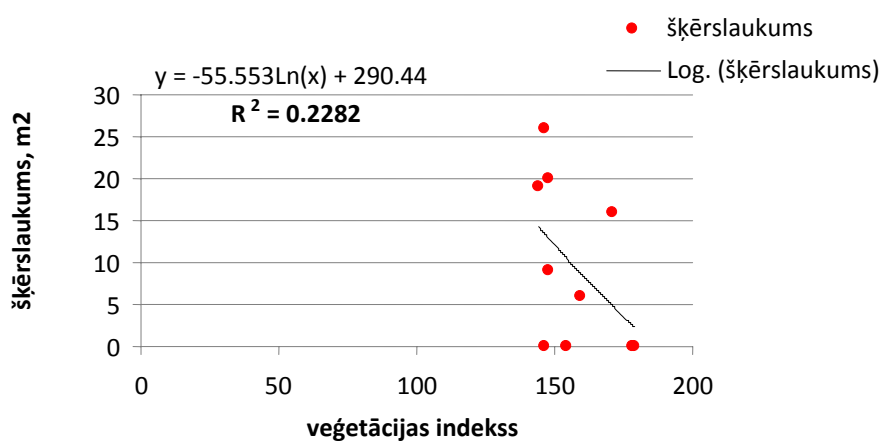
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes caurmēru



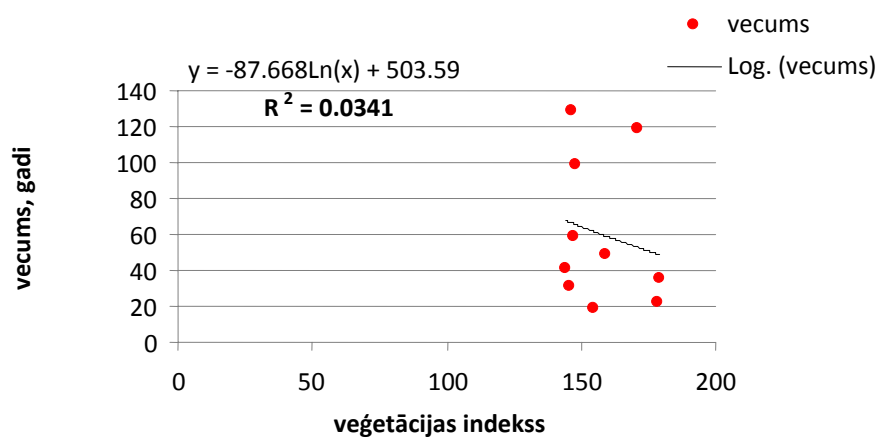
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



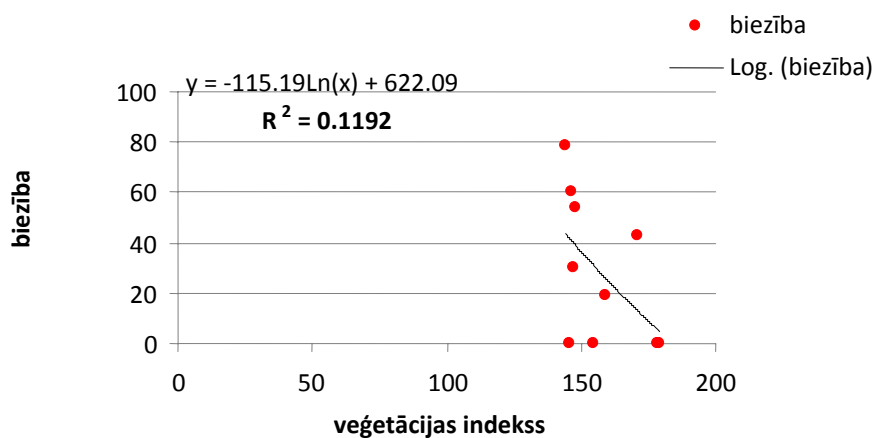
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu

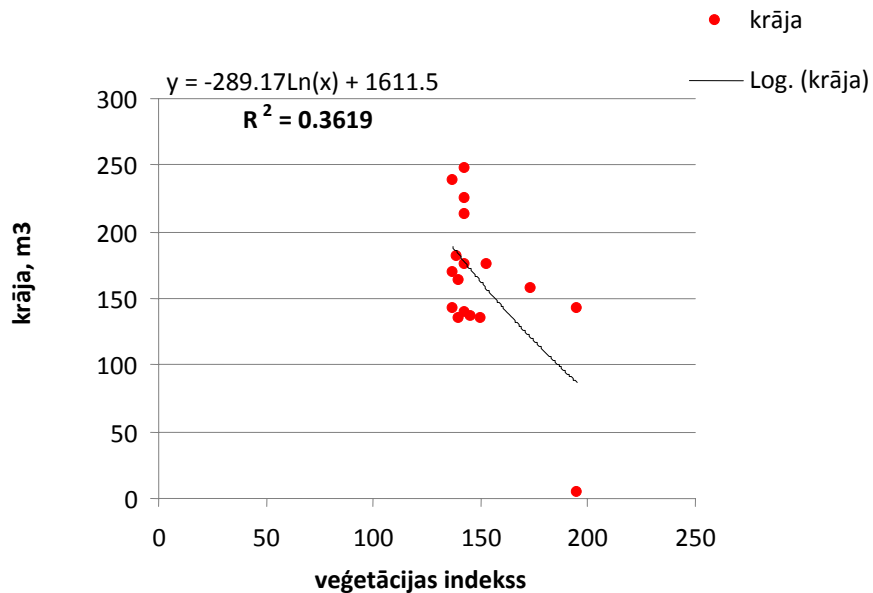


Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību

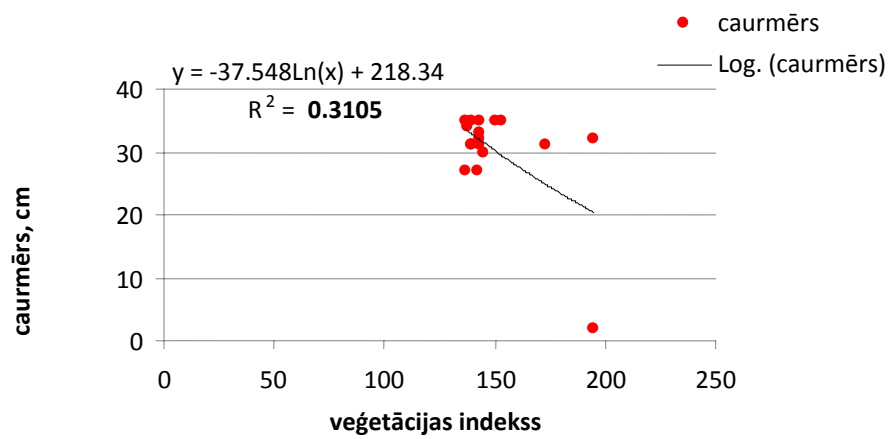


Bojājumu nosaukums – **slimības**
Suga – **egle**

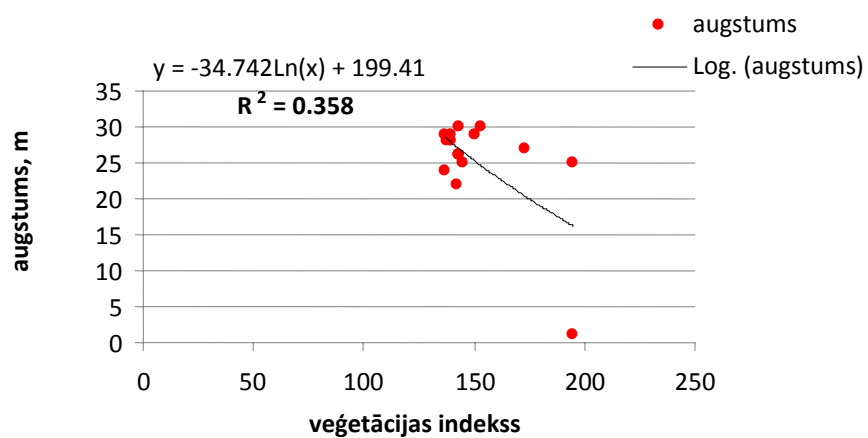
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes krāju



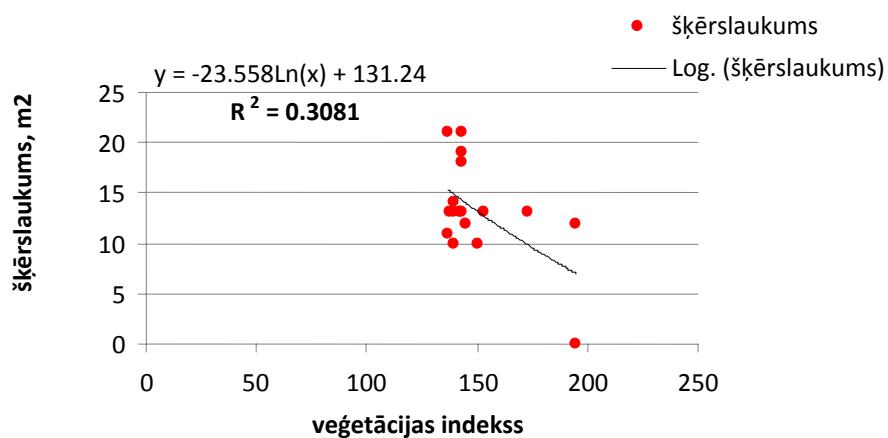
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes caurmēru



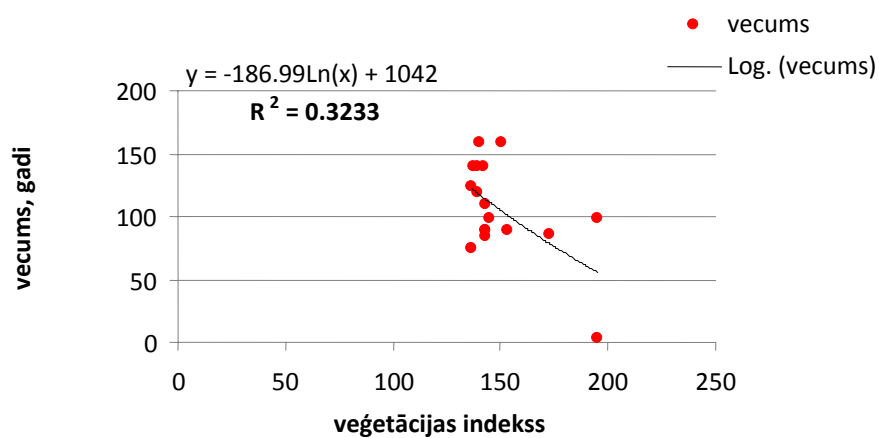
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



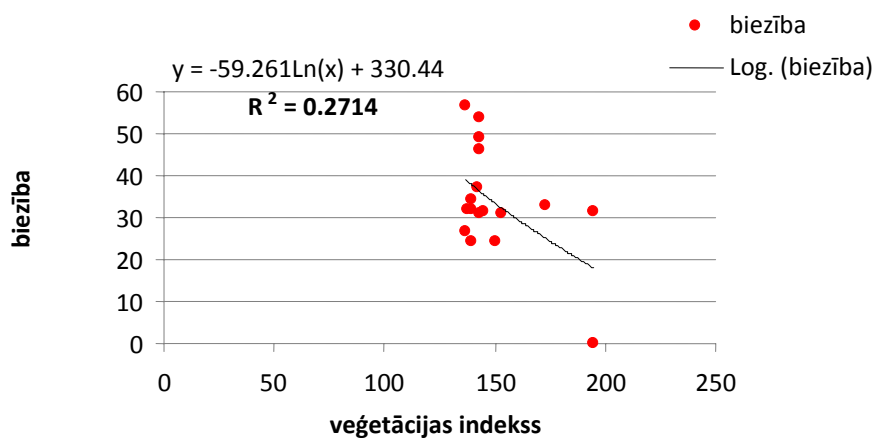
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu



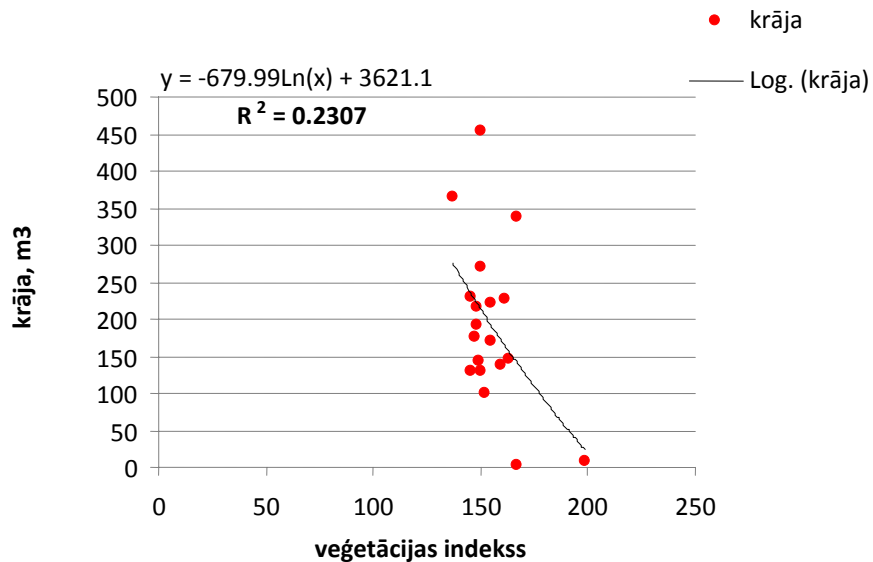
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību



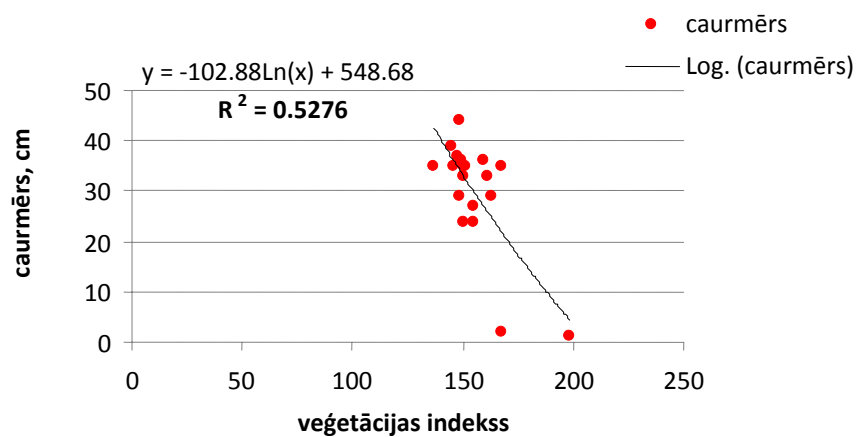
Bojājumu nosaukums – **kaitēkļi**

Suga – **egle**

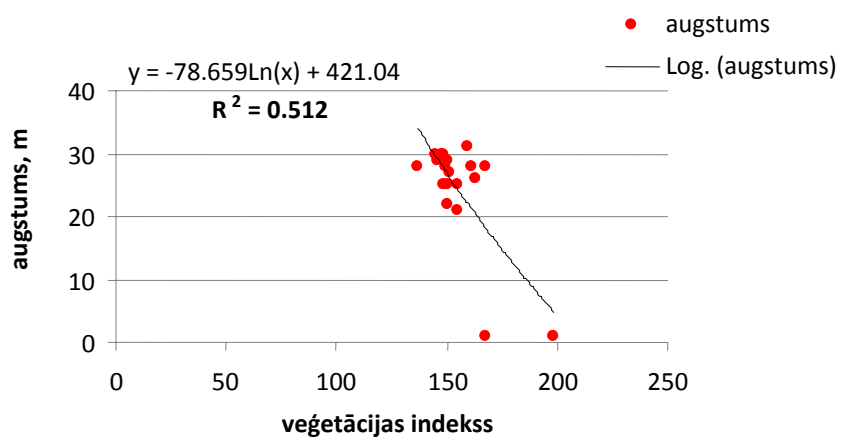
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes krāju



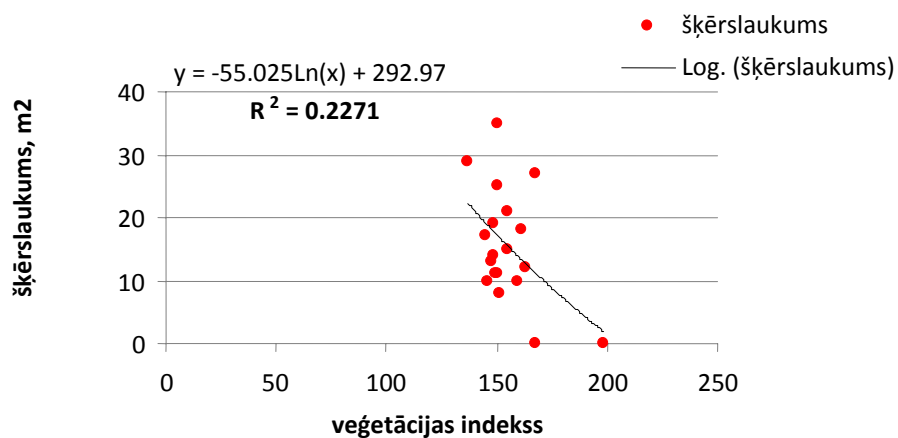
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes caurmēru



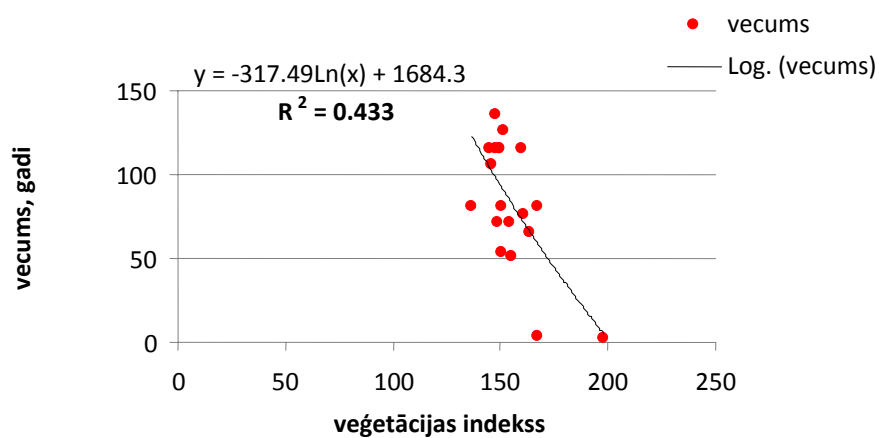
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



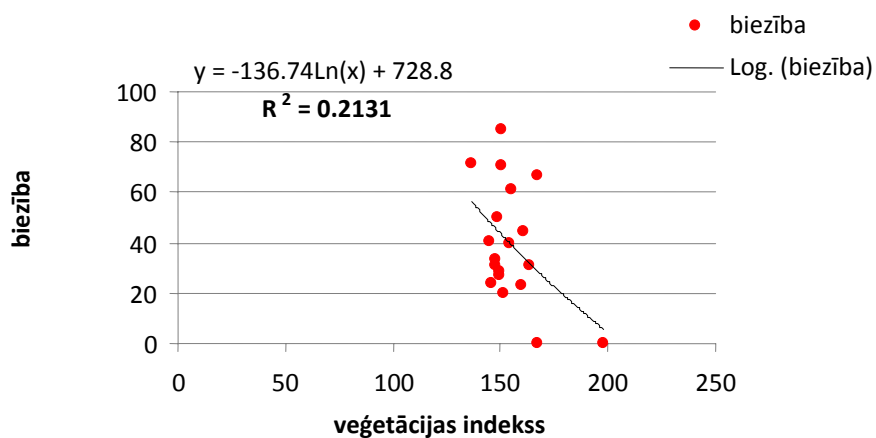
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu



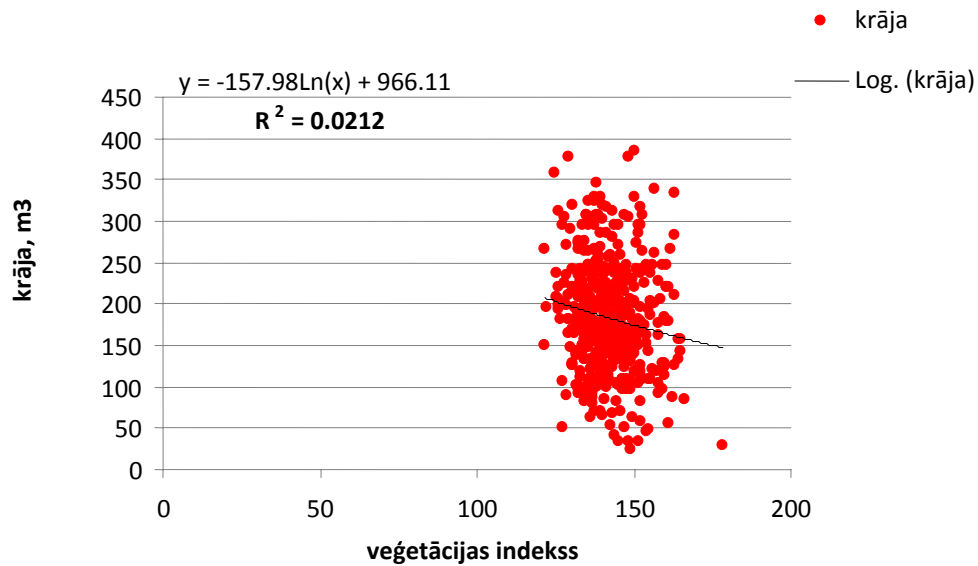
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību



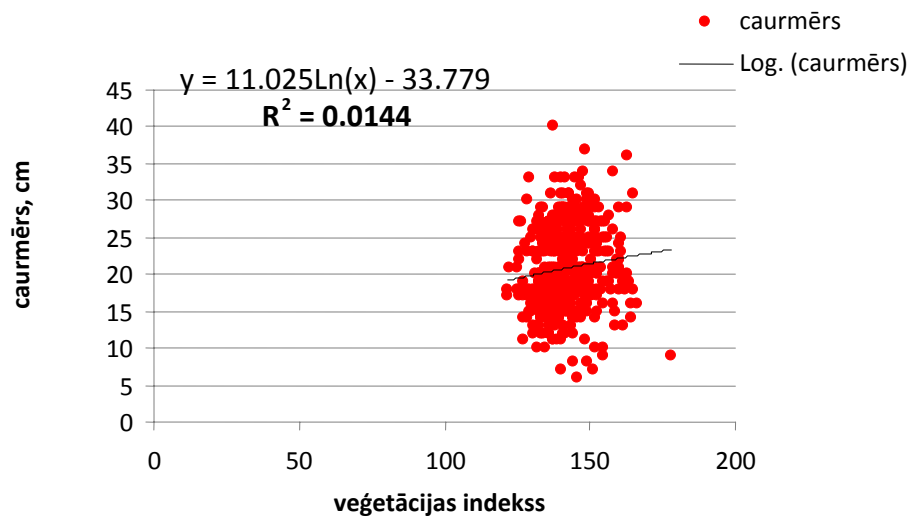
Bojājumu nosaukums – **dzīvieki**

Suga – **egle**

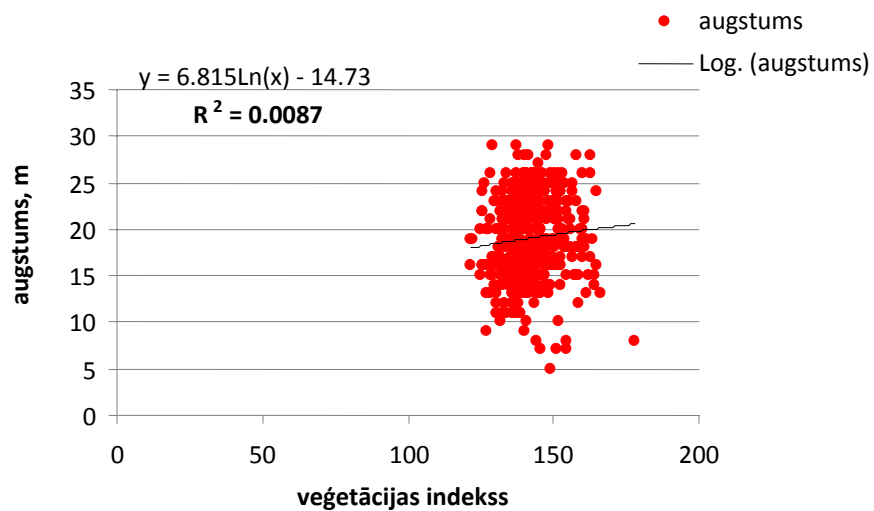
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes krāju



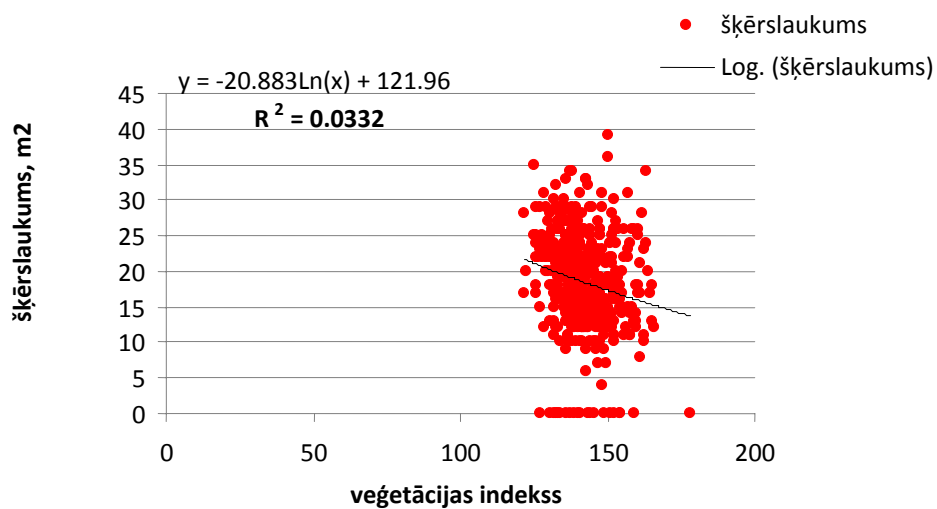
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes caurmēru



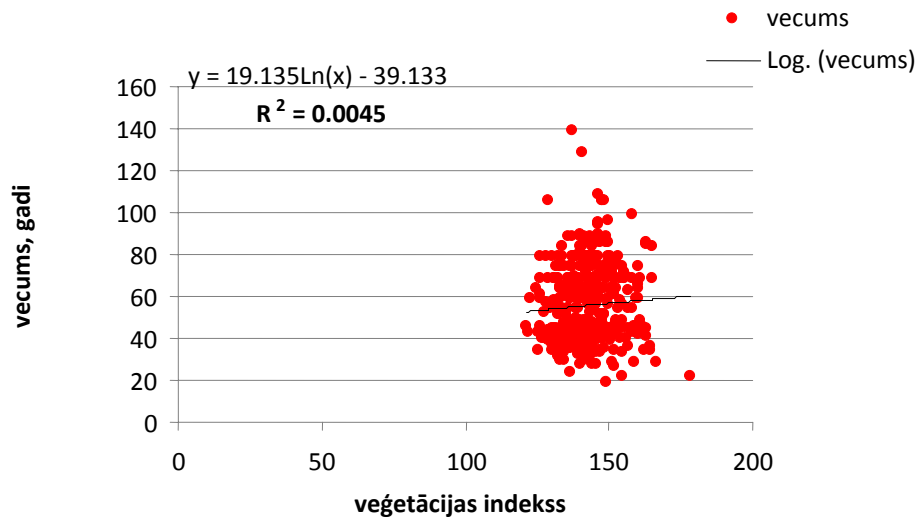
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



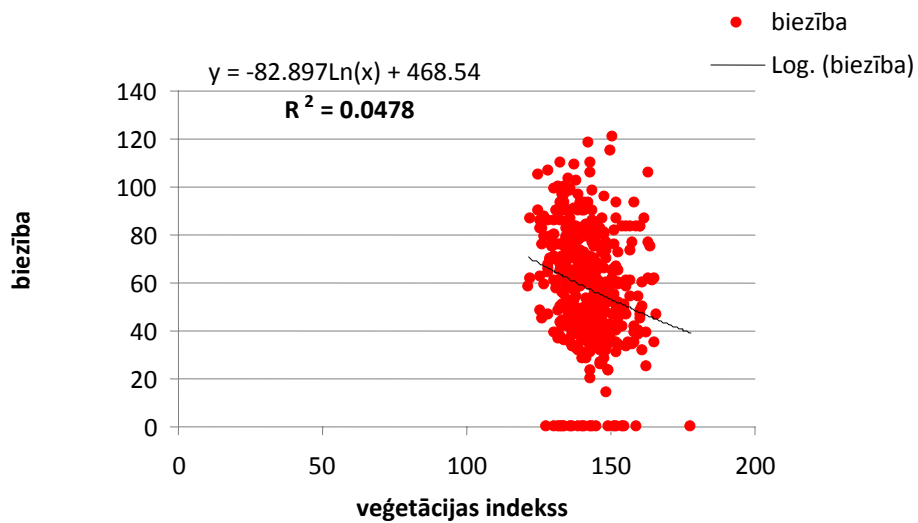
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu



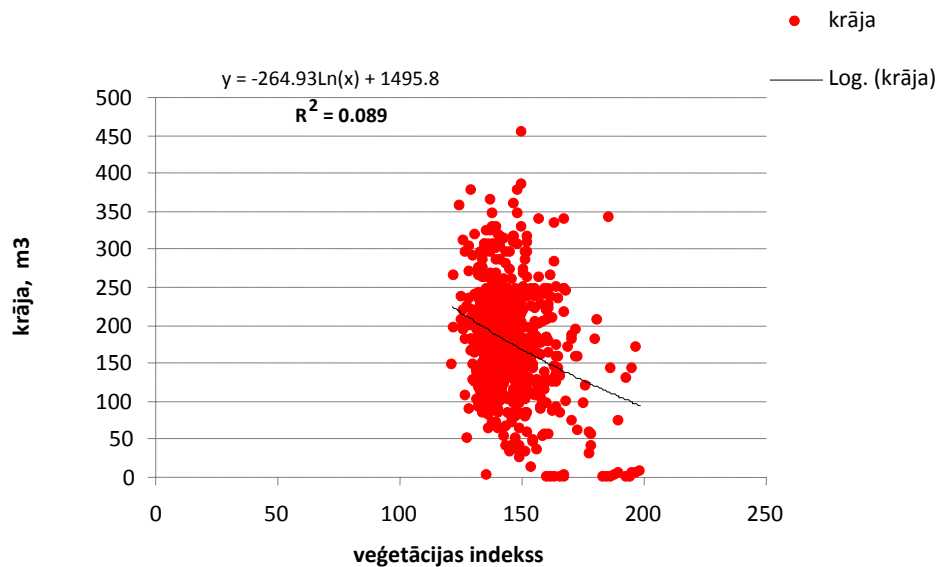
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību



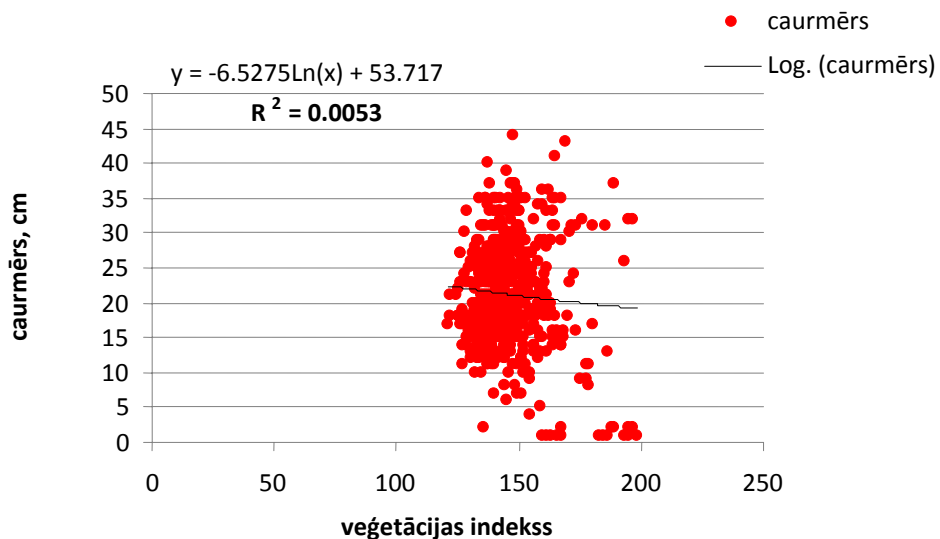
Bojājumu nosaukums – visi

Suga – egle

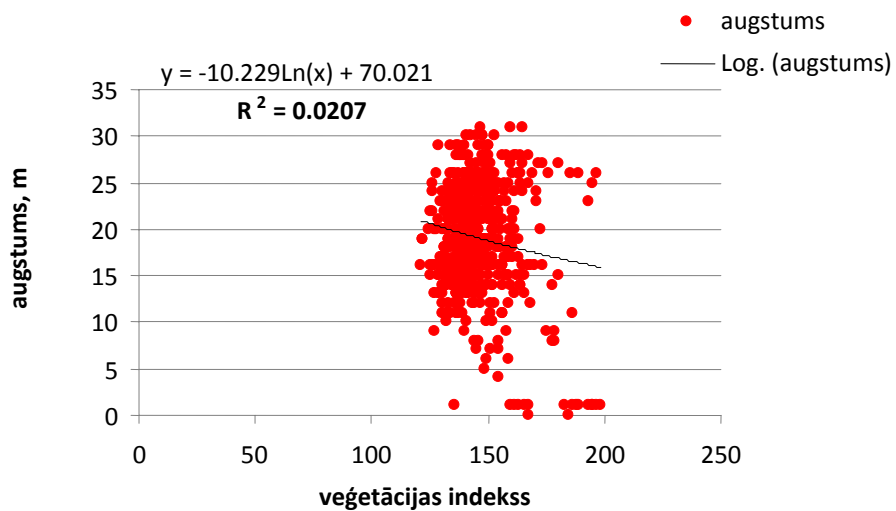
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes krāju



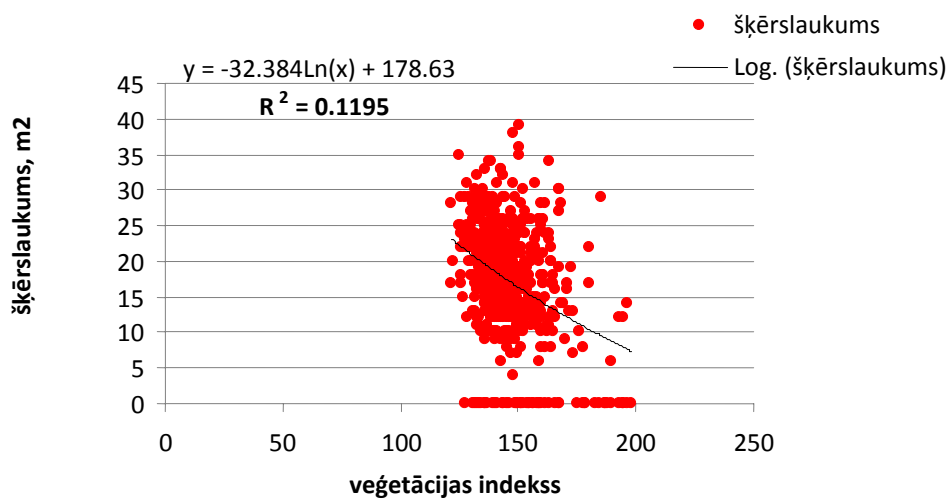
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes caurmēru



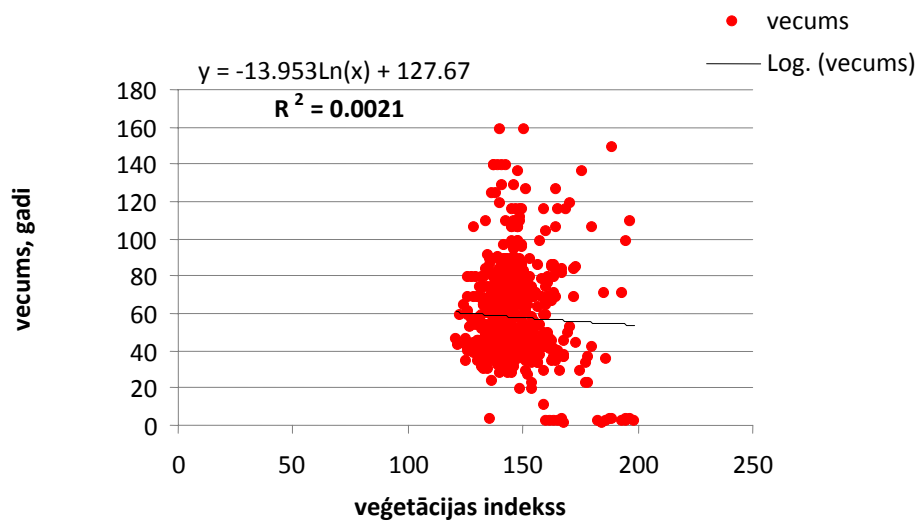
Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes augstumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes šķērslaukumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes vecumu



Veģetācijas indeksa sakarība ar audzes biezību

