

Atskaite par zālāju atjaunošanai būtisku faktoru novērtēšanu ar aviācijā bāzētu attālo izpēti

Jevgēnijs Filipovs, Rūta Abaja

2022. gada decembris

Atskaite ir sagatavota Eiropas Savienības LIFE programmas līdzfinansēta projekta "GrassLIFE: Zālāju atjaunošana un to dažādas izmantošanas veicināšana" (LIFE16NAT/LV/262) ietvaros.

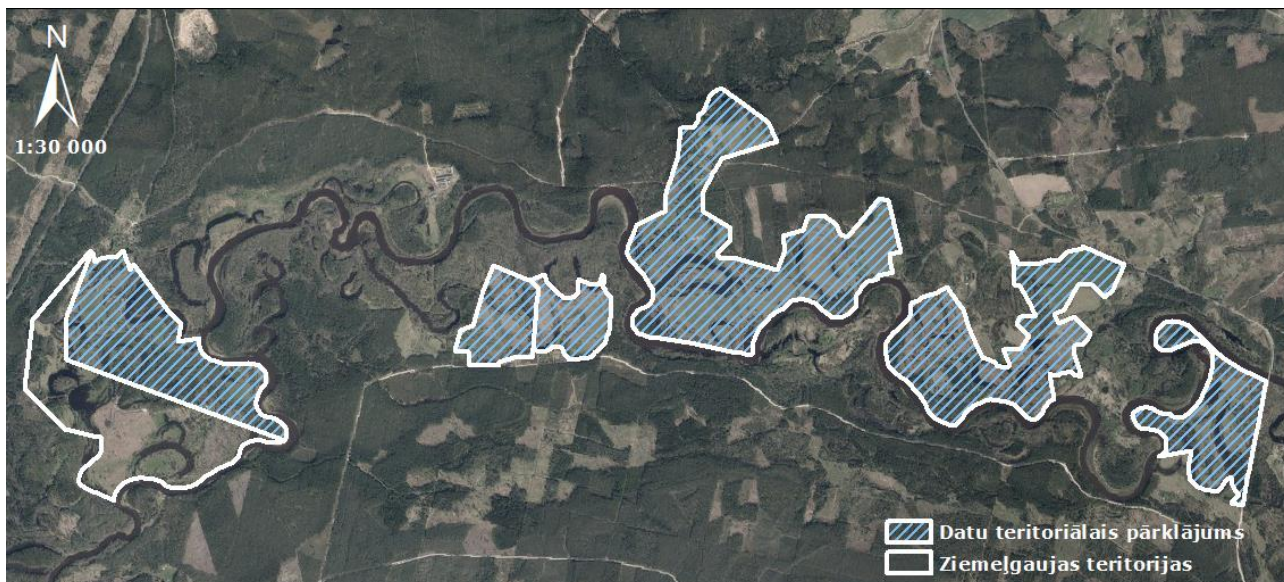
Saturs

Saturs	3
Ievads	4
Izmantotie attālās izpētes dati, to raksturojums	6
Vērtību aprēķina telpiskās vienības	7
Kokaugu un lakstaugu segums	9
Secinājumi	11
Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvums	11
Secinājumi	13
Kokaugu augstums	13
Secinājumi	15
Veģetācijas homogenitāte	15
Secinājumi	17
Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasa	17
Secinājumi	20
Normalizētais veģetācijas indekss	20
Nobeigums	23
Literatūras saraksts	24

Ievads

Aviodati un to produkti GrassLIFE projektā vākti ar mērķi novērtēt atsevišķus projektā sasniegtos rezultātus, kurus objektīvāk iespējams noteikt ar attālo izpēti, nekā izmantojot lauka izpētes metodes. Līdztekus minētajam iegūtie attālās izpētes dati nodrošina arī uzskatāmu vizuālo materiālu, kas noderīgs projekta demonstrācijas saimniecības darbībā.

Sākotnēji projektā bija plānoti divi lidojumi – tā sākumā un beigās (t.i. 2018. un 2022. gadā). Darba gaitā pirmo aviodatu ievākšanas misiju atcēla, jo Vides risinājumu institūtam bija pieejami jau 2014. gadā Ziemeļgaujas apkārtnē vākti aviodati, kas atbilda visām GrassLIFE projekta prasībām. Ietaupītie resursi, atceļot 2018. gadā paredzēto aviodatu ievākšanas misiju, tika novirzīti uz 2022. gadā plānoto datu ievākšanas misiju, paplašinot datu ievākšanas areālu. Šo izmaiņu rezultātā sagatavotā atskaite un iegūtie aviodatu produkti reprezentē situāciju izpētes teritorijās: Ziemeļgaujas saimniecības "Vekši" un "Vētras", demonstrāciju saimniecība "Bekas", kā arī vairākas GrassLIFE projektā ar mobilo ganāmpulku vai citādi papildus apsaimniekotās dabisko zālāju teritorijas, kas atrodas netālu no demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijas. Šīs papildus teritorijas ir "Lēnupes", "Lejzemnieki" un "Marsi". Kopā tā ir ap 2500 ha liela platība. Aviodati šajā teritorijā savstarpējai salīdzināšanai ir iegūti 2014. gada 26. jūlijā (sākotnējais teritorijas stāvoklis pirms GrassLIFE projekta) un 2022. gada 13. jūlijā (GrassLIFE projekta noslēguma sezona). Projektā apsaimniekotās Ziemeļgaujas teritorijas, kurām pārlidojot, ievākti attālās izpētes dati, apskatāmas 1. attēlā.



1. attēls. GrassLIFE projektā apsaimniekotās Ziemeļgaujas teritorijas, kurām pārlidojot, ievākti attālās izpētes dati. Zili strīpotajā teritorijā aviodati vākti gan 2014., gan 2022. gadā, bet ar Ziemeļgaujas teritoriju apzīmētajā platībā aviodati iegūti tikai 2022. gadā. Fona karte: Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras 6. cikla ortofotokarte.

Saskaņojot ar GrassLIFE projektā iesaistīto partneru – Latvijas Dabas fonda, Latvijas Universitātes un demonstrācijas saimniecības "Bekas" – pārstāvjiem, Vides risinājumu institūts projekta vajadzībām sagatavoja un šajā atskaitē aprakstījis sekojošus datu produktus un to ieguves metodiku:

- 1) Kokaugu un lakstaugu stāva segums;
- 2) Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvums;
- 3) Kokaugu augstums;
- 4) Veģetācijas homogenitāte;
- 5) Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasa;
- 6) Normalizētais veģetācijas indekss.

Turpmāk atskaitē aprakstīta attālās izpētes datu ieguves metodika un atšķirības izmantotajos izejas datos minēto datu produktu sagatavošanā starp 2014. un 2022. gadā iegūtajiem aviodatiem. Aprakstīti arī saistošie papildus izmantotie attālās izpētes dati atsevišķu datu produktu sagatavošanā. Pēc tam

aprakstīta metodika, dots kartogrāfisks piemērs iegūtajam rezultātam un īsi aprakstīti secinājumi par katru minēto datu produktu.

Šī darba gala nodevums sastāv no metodiskā apraksta atskaites, kartogrāfiskajiem datu produktu nodevumiem izpētes teritorijai gan 2014., gan 2022. gadam, kā arī divas datubāzes iegūto datu produktu tālākai statistiskajai analīzei GrassLIFE projekta monitoringa gala atskaites izstrādātājiem. Datubāzēs kartogrāfiskā informācija strukturēta pēc katra uzskaitītā datu produkta vērtībām. Viena datubāze satur informāciju par augstāk minēto sešu datu produktu vērtībām projekta apsaimniekošanas poligonos, turpmāk tekstā saukta par apsaimniekošanas poligonu datubāzi. Otrā datubāze, turpmāk tekstā saukta par kvadrātrežģa datubāzi, satur informāciju par visu sagatavoto (izņemot zaļās lakstaugu veģetācijas biomasu) datu produktu vērtībām katrā 5x5m kvadrātu režģa šūnā. Šādu 5x5m kvadrātu režģi projicēja pār projektā apsaimniekotām parkveida pļavu un ganību platībām ar mērķi iegūt detalizētāku informāciju tieši par šīm biotopu platībām un veikto pasākumu ietekmi uz tām GrassLIFE projektā.

Izmantotie attālās izpētes dati, to raksturojums

Vides risinājumu institūts (VRI) izmanto GrassLIFE projekta uzdevumā izmantoja tā rīcībā esošos ar lidojošo laboratoriju ARSENAL (<https://www.vri.lv/lidojosa-laboratorija-arsenal/>) iegūtos augstas izšķirtspējas attālās izpētes datus 1. attēlā norādītajai Ziemeļgaujas teritorijai. Projekta laikā notikušo izmaiņu salīdzinājumam par sākotnējā (pirms projekta uzsākšanas) stāvokļa datiem izvēlējās izmantot 2014. gada uzlidojuma datus, kurus savulaik VRI ieguva projekta "Inovatīvas attālās izpētes metodes adaptēšana ES nozīmes aizsargājamo biotopu kartēšanai un stāvokļa novērtēšanai" (Reģ. Nr. 1-08/159/2014) ietvaros. Aktuālos datu GrassLIFE projekta sekmju novērtējumam ievāca 2022. gada veģetācijas sezonā.

Vēsturisko datu iegūšanas datums ir 2014. gada 26. jūlijs. Toreiz ar lidojošo laboratoriju ARSENAL ievāca LIDAR (*Light Detection and Ranging*) lāzerskenēšanas datus, augstas izšķirtspējas RGB aerofoto attēlus jeb ortofoto attēlus un hiperspektrālos datus. GrassLIFE projekta mērķiem bija nepieciešams izmantot tikai lāzerskenēšanas un hiperspektrālos datus. No RGB attēliem 2014. gadā izveidotā ortofoto karte nodrošināja nepieciešamo datu produktu validācijai. Lai iegūtu salīdzināmu rezultātu ar 2022. gadā ievāktajiem datiem, bija nepieciešams priekšapstrādāt redzamās gaismas un tuvā infrasarkanā diapazona hiperspektrālā sensora datus CASI-1500 un LIDAR lāzerskenēšanas datus. Vēsturiskie spektrālie dati bija ievākti 27 visinformatīvākajās gaismas diapazona joslās, ko uztver CASI-1500 sensors (380 – 1050 nm). VRI iegūtie LIDAR punktu mākoņa dati pēc priekšapstrādes tika pārveidoti standartattēlos, tas ir zemes reljefa modeli (DTM) un normalizētā zemes virsmas objektu augstuma modeli (NDSM). Vienlaikus datu priekšapstrādes laikā gan spektrālajiem, gan lāzerskenēšanas datiem piešķīra vienādu telpisko izšķirtspēju – 1m/pix. Šāda telpiskā izšķirtspēja bija pietiekoša GrassLIFE projekta monitoringa mērķu sasniegšanai – sešu ievadā minēto datu produktu izstrādei un to savstarpējai salīdzināšanai. Saimniecības "Vekši" teritorija 2014. gada uzlidojumā bija tikai daļēji iekļauta (1. attēls). Lai šai teritorijai iegūtu trūkstošo pārklājumu, tai jau esošajiem 2014. gada VRI iegūtajiem attālās izpētes datiem pievienoja Latvijas Ģeoinformācijas aģentūras (LĢIA) nacionālo uzlidojumu brīvpieejas datus. LĢIA lāzerskenēšanu ir veikusi tikai vienu reizi visā Latvijas teritorijā. Attiecīgajā teritorijā pārlidojums veikts 2019. gada 19. maijā. Savukārt spektrālā informācija "Vekšu" teritorijai tika papildināta ar LĢIA 5. cikla 2015. gada 1. jūnija pārlidojuma infrasarkanajiem ortofoto datiem.

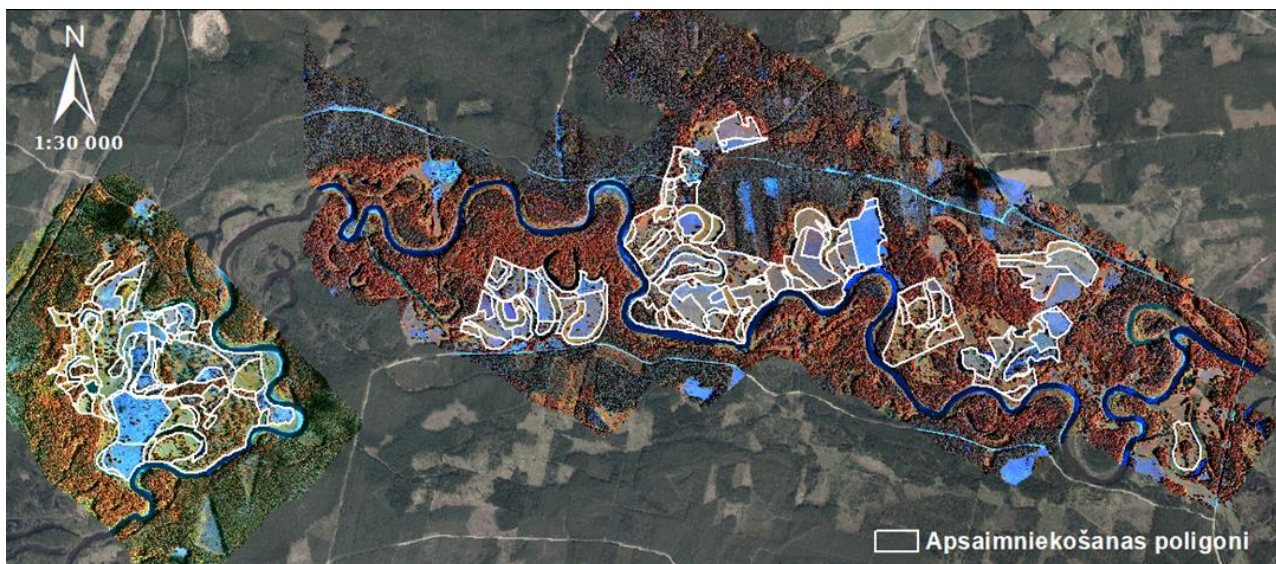
GrassLIFE projektā veikt darbību novērtēšanai aktuālo aviodatu iegūšanu veica 1. attēlā norādītās teritorijas pārlidojot divas reizes 2022. gada veģetācijas sezonā. Iemesls divreizējai lidošanai bija piemērotas lidmašīnas iztrūkums paredzētajā datu ievākšanas laikā, kuru varētu vienlaikus aprīkot gan ar augstas izšķirtspējas RGB kameru un CASI-1500 sensoru. Pirmajā datu ievākšanas misijā 2022. gada 1. jūlijā ieguva augstas izšķirtspējas RGB aerofoto datus. Iegūtos RGB redzamās gaismas sensora datus pēc apstrādes procesā pārvērtā augstas izšķirtspējas ortofoto kartē ar telpisko izšķirtspēju 15 cm/pix, kas turpmākajā datu produktu sagatavošanā kalpoja kā labs vizuālās novērtēšanas un validācijas materiāls. Galvenais ar RGB sensoru iegūto datu pielietojums bija objektu augstuma informācijas iegūšanai. Šim mērķim RGB datus mērķtieciīgi uzņēma ar iespējami lielāko kadru pārklājumu, lai, izmantojot fotogrammetrijas metodi, būtu iespējams izveidot pēc iespējas kvalitatīvāku uz zemes esošu objektu virsmas punktu mākonī. Pēc apstrādes rezultātā iegūto objektu virsmas punktu mākonī pielietoja zemes virsmas standartattēla jeb digitālā virsmas modeļa (DSM) iegūšanai. Datu produktu sagatavošanai nepieciešamā zemes reljefa modeļa (DTM) izstrādei izmantoja LĢIA 2019. gada 19. maija datus - brīvpieejas punktu mākoņa zemes reljefa punktus. Šādā ceļā ieguva normalizētā zemes virsmas objektu augstuma modeli (NDSM) 2022. gada attainojumam, kas ir viens no svarīgākajiem datiem mērķa datu produktu ieguvei un to salīdzināšanai. Savukārt otrajā datu ievākšanas misijā 2022. gada 13. jūlijā ieguva redzamās gaismas un tuvā infrasarkanā diapazona hiperspektrālā sensora datus ar CASI-1500 sensoru. Aktuālās datu kopas spektrālie dati tika ievākti 400 – 991 nm diapazonā 48 nepārtrauktu, vienāda platuma (12,4 nm) spektrālo joslu konfigurācijā. Izmantojot speciālu programmatūru, 48 joslas pārveidoja vēsturiskās (2014. gada) datu kopas 27 joslu konfigurācijā, ievērojot telpiskās izšķirtspējas vienību 1 m/pix, lai kvalitatīvi varētu veikt abu datu kopu produktu salīdzināšanu.

CASI - 1500 hiperspektrālā sensora informācija gan 2014. gada, gan 2022. gada datiem tika apstrādāta ar atmosfēras korekcijas algoritmu FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*). Pamatojoties uz šī algoritma datubāzē ievietotiem MOTRAN-4 atmosfēras modeļiem un spektrālajos datos esošās ūdens tvaika joslas 820 nm viļņa garuma vērtību, katru spektrālo datu joslu vērtības pārrēķināja, kompensējot atmosfēras daļiņu ietekmi (Cooley *et al.* 2002). Šis datu apstrādes process ir nepieciešams, lai objektīvi salīdzinātu dažādos datumos ievāktu spektrālo datu vērtības.

Vērtību aprēķina telpiskās vienības

Izstrādātā metodika augšņu izpētei skolās sastāvēja no septiņiem augsnes un veģetācijas izpētes GrassLIFE projektam gatavotajiem sešiem attālās izpētes datu produktiem vērtību aprēķina telpiskās pamatvienības ir divas. Visai izpētes teritorijai Ziemeļgaujā telpiskā pamatviedība ir projektā izveidotie apsaimniekošanas poligoni (2. attēls). Atsevišķi sīkāks un atšķirīgs telpisko vienību dalījums ir tiem apsaimniekošanas poligoniem, kuros veikta parkveida biotopu atjaunošana. Šīm platībām sagatavoto datu produktu telpiskā pamatvienība, turpmāk tekstā dēvēta par detālvienību, ir teritorijai pārklātā 5x5m kvadrāta režģa šūna. Attiecīgi darba gaitā sagatavoja divas datubāzes, kurās strukturēja aplūkotajām teritorijām kartogrāfisko informāciju. Apsaimniekošanas poligonu datubāzē sagatavoto datu produktu kartogrāfiskā informācija norādīta atbilstoši katra datu produkta vidējai vērtībai unikālajā telpiskajā pamatvienībā – apsaimniekošanas poligonā. Savukārt, apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzē datu produktu informācija norādīta atbilstoši to vērtībai detālvienībās – proti, katrā parkveida biotopiem pārklātā 5x5m kvadrātveidīgā šūnā.

No projekta partneriem saņemot telpisko vektordatu informācija abās datubāzēs strukturēta pēc individuālā identifikācijas teksta lauka ("Polig_kods"), kas norāda attiecīgās saimniecības piederību un vietvārds. Katram apsaimniekošanas poligonam aprēķināja un datubāzē norādīja platību. Mazākā datos aprēķinātā apsaimniekošanas platības vienība bija 0,2 ha un lielākā - 16 ha. Katra datu produkta vērtība gan par 2014. gadu, gan par 2022. gadu datubāzēs norādīta blakus un pēc kārtas sekojot vienam datu produktam pēc otra. Kokaugu un lakstaugu seguma un to lapojuma blīvuma mērvienību izteica procentos uz attiecīgo telpiskās vienības laukumu (apsaimniekošanas poligonu vai kvadrātveidīgā šūnu). Kokaugu augstums aprēķināts kā visizplatītākais augstuma lielums metros attiecīgajā telpiskās vienības laukumā, kurā atrodas koki. Veģetācijas homogenitātes vērtības, kas varētu raksturot noganišanas veidoto telpisko rakstu zemeszemes veģetācijā, un NDVI (normalizētā veģetācijas indeksa) vērtības gan kokaugiem, gan lakstaugiem segtajām platībām aprēķinos izteica relatīvo vērtību izteiksmē t.i. vērtību diapazonā no nulles līdz viens (0...1). Datu produkti, kurus ieguva no spektrālajiem datiem, negatīvi ietekmēja apēnojums, kas datos veidojās no ainavā augstāk novietotiem objektiem (piemēram, meža malas veidotā ēna robežojoties ar zālājiem). Ēnas, kā arī tumšos objektus spektrālajos datos izdalīja atsevišķā klasē, kuras aizņemto procentuālo platību aprēķināja katrai telpiskajai vienībai (apsaimniekošanas poligonam/detālvienībai), kurā šo klasi konstatēja.



2. attēls. GrassLIFE projektam gatavoto attālās izpētes datu produktu aprēķina telpisko pamatvienību – apsaimniekošanas poligonu izvietojums Ziemeļgaujā.

GrassLIFE demonstrāciju saimniecībā "Bekas" projektā līdzās citām dabisko zālāju apsaimniekošanas un atjaunošanas darbībām, īpašu uzmanību un darbības vērša parkveida pļavu un ganību atjaunošanai. Šīs saimniecības teritorijā esošajiem projekta parkveida biotopu apsaimniekošanas poligoniem iegūtajos telpiskajos datos pārklāja pāri jau minēto 5x5m kvadrātveidīgi, sadalot sīkāk konkrēto apsaimniekošanas poligonu analizējamās telpiskās vienības 5x5m detālvērtībās (3. attēls). Šādi ieguva iespēju detalizētāk analizēt projekta sekmes "Beku" saimniecības parkveida biotopu apsaimniekošanas poligonos. Katrai kvadrātveidīgā detālvienībai piešķīra unikālu identifikācijas kodu ("unique"), kura ciparu kombinācijā

ietvēra gan unikālās šūnas kodu, gan apsaimniekošanas poligona kodu un saimniecības numuru. Kvadrātrežģa un apsaimniekošanas poligonu pārklāšanās robežvietās daļu no kvadrātrežģa šūnām izslēdza no tālākās datu aprēķināšanas (attiecas uz visu zemāk aprakstīto datu produktu sagatavošanu). Tās bija kvadrātrežģa šūnas, kurām ar apsaimniekošanas poligoniem to iekšpusē pārklājās tik maza laukuma daļa, ka tai nebija iespējams izvilkt nevienu datu produktu pikseļa vērtību. Šādām kvadrātrežģa detālvienībām automātiski piešķīra vērtību "NaN" un nošķīra no tālākas datu aprēķināšanas. Kopskaitā konstatējā 328 "NaN" detālvienības (no visām 13618 kvadrātrežģa detālvienībām). To kopējā platība sastādīja 0,093 ha (0,4%) no kopējiem 24 ha apsaimniekoto parkveida biotopu "Beku" saimniecībā projektā. Princips, kā aprēķinātas katras detālvienības datu produktu vērtības, aprakstītas iepriekšējā rindkopā. Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasu "Beku" parkveida biotopu poligonu detālvienībās nerēķināja. Pārējie piecu datu produktu vērtības rēķināja un apkopoja parkveida biotopu datubāzē.



3. attēls. GrassLIFE projektam gatavoto attēlās izpētes datu produktu aprēķina 5x5m kvadrātrežģa jeb detālrežģa pārklāto demosntrācijas saimniecības "Bekas" parkveida biotopu apsaimniekošanas poligonu izvietojums Ziemeļgaujā.

Kokaugu un lakstaugu segums

Kokaugu un lakstaugu segums ir viens no kvantitatīviem parametriem, kas labi parāda veģetācijas telpiskās izmaiņas, kas radušās dažādu dabisku un cilvēka radītu apstākļu ietekmē. GrassLIFE projektā bija interese novērtēt projektā veikto apsaimniekošanas darbību – tādu kā ciršanas, frēzēšanas, aršanas, ganīšana un pļaušanas izmaiņas attālās izpētes datos attiecībā uz ainavas izmaiņām kokaugu un lakstaugu stāva segumā. Kokaugu un lakstaugu seguma kartogrāfiskais datu produkts iegūts, kombinējot normalizētu zemes virsmas objektu augstuma modeli (NDSM) un NDVI.

NDSM iegūts, veicot starpības aprēķinu starp zemes virsmas objektu (DSM) un zemes reljefa virsmas (DTM) standartattēliem. DSM un DTM pikseļu vērtības atbilst augstumam virs jūras līmeņa, kas izteikta metros, tādēļ NDSM pikseļa vērtība ir metri. Kokaugu seguma kartējums no NDSM datiem iegūts, tajos nošķirot tikai tās pikseļu vērtības, kas lielākas par 2 (objekti, kas augstāki par 2 m no zemes virsmas).

NDVI aprēķināts, izmantojot spektrālo datu sarkanās un infrasarkanās gaismas diapazonam atbilstošo joslu pikseļu vērtības. Hiperspektrālo datu gadījumā NDVI aprēķināšanai izmanto konkrētus spektrālā viļņa joslu garums, kas norādīti NDVI aprēķina formulā:

$$\text{NDVI} = (\text{R850} - \text{R670}) / (\text{R850} + \text{R670})$$

Iegūto NDVI pikseļu vērtību diapazons ir robežās no -1 līdz 1. Tajā vērtības, kas mazākas par nulli, ir raksturīgas ūdenim. Zemās, pozitīvās vērtības diapazonā no 0...0,2 parasti atbilst zemes segumam bez veģetācijas. NDVI vērtības 0,2...0,4 nošķir ūdenstilpju apauguma veģetāciju un zemes virsmu ar ļoti skraju veģetācijas apaugumu (dominē kailas augsnes spektrālā nevis zemsedzes veģetācija). Vērtības no 0,4...1 raksturo pikseļus, kuros veģetācija sāk dominēt vai sedz augsni pilnībā. Pārklājot NDSM un NDVI klasifikācijas rezultātus, ieguva septiņas zemes seguma klases. Klašu aprēķinu apkopojums ir norādīts 1. tabulā.

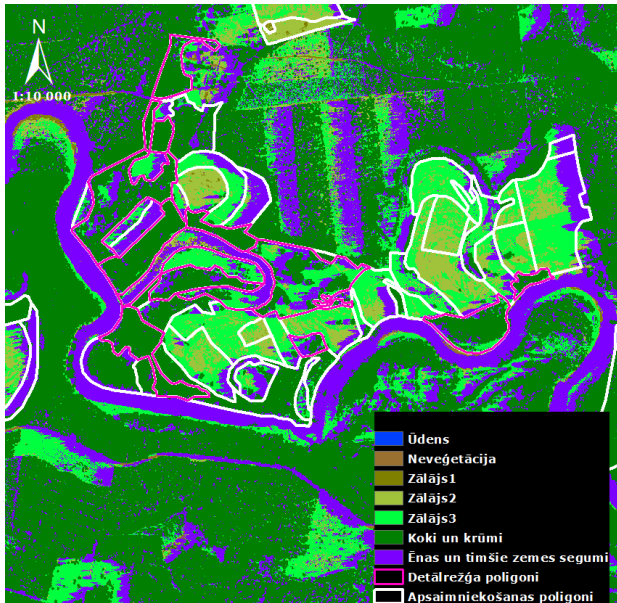
1. tabula. GrassLIFE projekta Ziemeļgaujas teritorijai aprēķināto zemes seguma klašu vērtības attālās izpētes datos un šo klašu raksturojums (Apzīmējumi: NDVI – normalizēts veģetācijas indekss; NDSM – normalizēts zemes virsmas objektu augstuma modelis).

Klases nosaukums	Klases_id	Klasifikācijas nosacījums attālās izpētes datos	Raksturojums
Ūdens	1	NDVI = < 0	Ūdens objekti, kuriem cauri spīd grunts
Neveģetācija	2	NDVI > 0 and NDVI = < 0,2	Visas būves, atklāta zeme
Zālāji1	3	NDVI > 0,2 and NDVI = < 0,4	Ļoti skraja lakstaugu stāva klase, ietilpst arī ūdens apauguma veģetācija
Zālāji2	4	NDVI > 0,4 and NDVI = < 0,65	Skraja lakstaugu stāva klase
Zālāji3	5	NDVI > 0,65 and NDVI = < 1	Bieža lakstaugu stāva klase
Koki un krūmi	6	NDSM >= 2	Kokaugu stāva un būvju klase augstāka virs 2m
Ēnas un tumšie objekti	7	*Mean_image = < 10%	Apēnotās vietas, necaurspīdīgi ūdens objekti

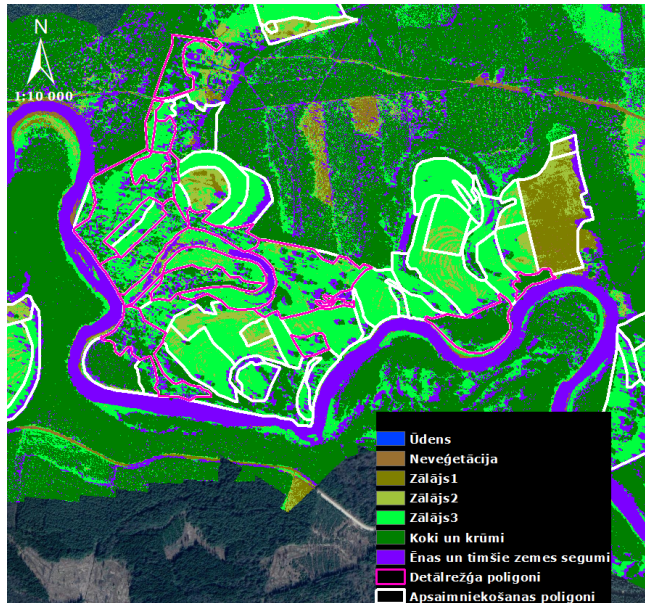
*Mean_image – visu spektrālo joslu attēlu summa, dalīta ar joslu skaitu.

Klasi "Ēnas un tumšie objekti" noklasificēja, iekļaujot apēnotās vietas zālajos, lielāko daļu ūdens objektu un ūdens apauguma veģetāciju. Klasē "Ūdens" iedalīja seklo ūdens objektu teritorijas. Šīs klases izdalīta ar nolūku, lai izslēgtu neatbilstības zālāju klasēs. Datus apēnotās vietas zālajos uzrāda zemākas vērtības nekā vajadzētu būt, tādēļ šajās zālāju vietās, nav iespējams noteikt patieso noēnotā zālāja daļas piederību kādai no zālāju klasēm.

Kopumā kokaugu segumu izdalītajās septiņās klasēs raksturo klase "Koki un krūmi", bet lakstaugu segumu trīs klases "Zālāji1, Zālāji2 un Zālāji3". Visu izdalīto zemes seguma klašu piemēru telpiskā atveidojumā 2014. un 2022. gada datos saimniecības "Bekas" teritorijai var aplūkot 4. un 5. attēlā zemāk.



4. attēls. 2014. gada zemes virsmas seguma klasifikācija GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātorežģa jeb detālrežģa poligoni).



5. attēls. 2022. gada zemes virsmas seguma klasifikācija GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātorežģa jeb detālrežģa poligoni).

Lai salīdzinātu iegūto kļāšu vērtību atšķirības visos apsaimniekošanas poligonos un ar kvadrātorežģi pārklātajās detālvienībās parkveida biotopiem, kokaugu un lakstaugu segumiem atbilstoši kļāšu vērtības pārrēķināja procentuāli. Proti, aprēķināja, cik lielu daļu no apsaimniekošanas poligona vai kvadrātorežģa detālvienības platības aizņem katra no zemes seguma klāēm un izteica to procentos pret visu poligona vai detālvienības platību. Klases "Ēnas un tumšie zemes segumi" platības abu gadu datus salīdzināmo slāņu teritorijās apvienoja, lai no aprēķiniem izslēgtu platības, kuras neatbilst adekvātai salīdzināšanai. Iegūtos zemes seguma aprēķinu rezultātus iekļāva abās datubāzēs. Zemāk dots aprēķināto zemes seguma datu piemērs no projektā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes (6. attēls).

cell_id	cell_area	ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvārds	Polig_kods	unique	noveg14	noveg22	ccov_14	ccov_22	grass1_14	grass1_22	grass2_14	grass2_22	grass3_14	grass3_22
4	1,86713	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	4-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
5	1	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	5-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
6	0,947526	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	6-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
7	3	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	7-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
8	7,72207	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	8-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
9	11,0945	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	9-22-1	0	0	100	79	0	0	0	0	0	21
10	0,701394	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	10-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
11	0,030434	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	11-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
12	0,62575	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	12-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
15	4,33894	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	15-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
16	6,33071	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	16-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
17	12,042	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	17-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
18	19,553	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	18-22-1	0	0	100	82	0	0	0	0	0	18
19	24,9139	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	19-22-1	0	0	100	12	0	0	0	16	0	72
20	14	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	20-22-1	0	0	100	21	0	0	0	0	0	79
21	1	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	21-22-1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
23	6	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
24	23	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	24-22-1	0	0	100	83	0	0	0	0	0	17
25	21,9041	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	25-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
26	9,1165	22	1	3,287898	Krastīni	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	26-22-1	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0

6. attēls. GrassLIFE projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes fragmentu ar kokaugu un lakstaugu seguma procentuālajām vērtībām, aprēķinātām biotopa poligoniem pārklātā 5x5m kvadrātorežģa detālvienībās.

Datubāzes (6. attēls) tabulā attiecīgo kolonu virsraksti apzīmē sekojošas ieraksta lauka vērtības:

- cell_id – 5x5m kvadrātorežģa šūnas unikālais kods (pilnīgi visas režģa šūnas, arī no aprēķiniem izslēgtās)
- cell_area – 5x5m kvadrātorežģa šūnas platība bez ēnu un ūdens seguma aizņemtās platības šūnā, m²
- ID – apsaimniekošanas poligona unikālais kods
- Numurs – saimniecības unikālais kods
- ha – apsaimniekošanas poligona pilnā platība, ha
- Saimn_nos – saimniecības nosaukums
- Vietvārds – apsaimniekošanas poligonam dotais nosaukums
- Polig_kods – unikālais apsaimniekošanas poligona kods (Koda kombinācija vienlaikus šifrēti ietver gan saimniecības, gan vietvārda informāciju)
- unique – aprēķinos iekļauto 5x5m kvadrātorežģa šūnu unikālais kods
- **noveg14** – neveģetācijas 2014. gada procentuālais segums

- **noveg22** – neveģetācijas 2022. gada procentuālais segums
- **ccov_14** – kokaugu 2014. gada procentuālais segums
- **ccov_22** – kokaugu 2022. gada procentuālais segums
- **grass1_14** – zālāju1 klases 2014. gada procentuālais segums
- **grass1_22** – zālāju1 klases 2022. gada procentuālais segums
- **grass2_14** – zālāju2 klases 2014. gada procentuālais segums
- **grass2_22** – zālāju2 klases 2022. gada procentuālais segums
- **grass3_14** – zālāju3 klases 2014. gada procentuālais segums
- **grass3_22** – zālāju3 klases 2022. gada procentuālais segums
- **enas_14** – ēnas un tumšie objekti (necaurspīdīgs ūdens) klases 2014. gada procentuālais segums
- **enas_22** – ēnas un tumšie objekti (necaurspīdīgs ūdens) klases 2022. gada procentuālais segums

Secinājumi

No attālās izpētes datiem iegūtā informācija par kokaugu un lakstaugu seguma izmaiņām izpētes teritorijā liecina, ka GrassLIFE projektā teritorijā ir vērojamas zemes seguma izmaiņas, laika posmā starp 2014. un 2022. gadu. Piemēram, projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" projektā apsaimniekotajos parkveida biotopu poligonos, kuros telpisko informāciju strukturēja 5x5m kvadrāt režģa šūnu iedalījumā jeb detālvienībās, 2022. gadā koku segums samazināts par aptuveni 50%. Rezultātā šajās platībā palielinājies koku lapotnes atvērums, radot lielāku gaismas pieejamību zemsedzes veģetācijai. Lakstaugiem klāto platību apmērs šīs pašas saimniecības minētajos parkveida biotopu poligonos palielinājies par aptuveni 60% procentiem. Šis palielinājums nedaudz pārsniedz kokaugu seguma samazinājumu un, iespējams, veidojies papildus apaugot ar lakstaugu veģetāciju bez veģetācijas esošajām platībām. Lakstaugu seguma iedalījums trīs (pēc NDVI vērtībām nošķirtām veģetācijas relatīvo skrajumu raksturojošām vērtībām – skatīt 1. tabulu) apakšklasēs parāda, ka GrassLIFE demonstrācijas saimniecības parkveida biotopu platībās 2022. gadā dominē "Zālāji3", kas atbilst biežam lakstaugu stāva segumam, kuram spektrāli cauri nevīd atklāta augsne. Izvēsta analīze par abās sagatavotajās datubāzēs un kartogrāfiski attēlotajos kokaugu un lakstaugu seguma datus sniegta GrassLIFE projekta monitoringa atskaitē.

Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvums

Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvuma izmaiņas ir faktors, kas palīdz novērtēt zemsedzei pieejamās gaismas daudzumu. Šo izmaiņu informācija var papildus kalpot GrassLIFE projektā veikto zālāju un parkveida biotopu atjaunošanas un apsaimniekošanas sekmju novērtējumam.

Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvumu attālās izpētes datus apraksta lapu platības indekss jeb angļiski Leaf Area Index (LAI) vērtība. Lapu platības indekss ir lielums, kas raksturo augu lapojuma blīvumu. To definē kā vienas pusējo zaļo laukumu vienību attiecību pret zemes virsmas laukumu vienību. LAI var aprēķināt, atvasinot to no spektrālajiem indeksiem, kuri raksturo veģetāciju. Zinātnieks D. Haboudane un citi (2004) pētījumā LAI aprēķināšanai izmantoja CASI-1500 sensora hiperspektrālos datus, no kuriem dažādi iegūtos LAI analizēja un validēja, izmantojot laukā iegūtos in-situ datus. Labāko korelāciju parādīja LAI rezultāts, kas iegūts, izmantojot MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*) veģetācijas indeksu. MSAVI aprēķina, izmantojot spektrālo datu sarkanās 670 nm un infrasarkanās gaismas joslas 800 nm viļņa garumu pikseļu vērtības. CASI-1500 hiperspektrālo datu MSAVI formula (R apzīmē konkrēto gaismas viļņa garuma joslu):

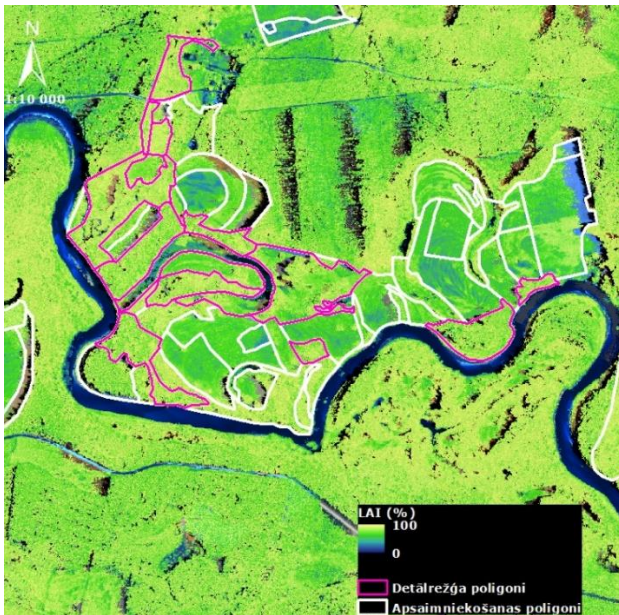
$$\text{MSAVI} = 0.5 * (2 * R800 + 1 - \sqrt{(2 * R800 + 1)^2 - 8 * (R800 - R670)})$$

LAI empīrisko vērtību eksponentfunkcijas novērtēšanas vienādojums, atkarībā no MSAVI:

$$\text{LAI} = 0.1663 * \exp(4.2731 \text{MSAVI})$$

LAI vērtības parasti izkārtojās no vienas līdz desmit, blīvai lapojuma veģetācijai ar augstu vitalitāti atbilst vērtības, kas augstākas par septiņi (Haboudane *et al.* 2004). Šajā gadījumā iegūtās LAI vērtības pārveidoja procentuālā izteiksmē, kur maksimālā pikseļa vērtība atbilst 100% lapu klājam uz vienu kvadrātmetru. Pārējās vērtības sekojoši pārrēķināja proporcionāli maksimālajai vērtībai. Šādi iespējams iegūt niansētāku rastra attēla un sekojoši no tā aprēķināto datu vērtības. LAI rastra attēla pikseli var saturēt tikai viena vesela skaitļa vērtību. Ja LAI attēla vērtības ir 1-10, tad iegūtais attēls vizuāli ir graudaināks, jo tajā ir tikai 10 vērtību klasēs izkārtotas pikseļu vērtības, savukārt 1-100 LAI vērtības saturošs attēls ir izlīdzinātāks, jo pikseļu vērtības tajā pārstāv 100 vērtību klases. Zemāk dots iegūto LAI

datu kartogrāfiski attēlots piemērs GrassLIFE demonstrācijas saimniecības teritorijai "Bekas" (7., 8. attēls).



7. attēls. 2014. gada LAI karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrāt režģa jeb detālrežģa poligoni).



8. attēls. 2022. gada LAI karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrāt režģa jeb detālrežģa poligoni).

Iegūtais kartogrāfiskais materiāls reprezentē zāļu lapu blīvumu 1x1m pikselī. Gan apsaimniekošanas poligoni, gan parkveida biotopu datubāzēs LAI vidējās vērtības aprēķināja datubāzei atbilstošajai telpiskai pamatvienībai (t.i. apsaimniekošanas poligonam vai parkveida biotopu kvadrāt režģa detālvienībai). Kā jau iepriekš minēts, visos datu produktos (arī šajā), ēnu un tumšo zemes objektu (necaurspīdīgs ūdens) klases platības netika iekļautas aprēķinos. Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvuma vērtības datubāzēs norādītas atsevišķi. Zemāk dots aprēķināto LAI datu piemērs no projektā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzēs (9. attēls).

cell_id	cell_area	ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvards	Polig_kods	unique	tdensity14	tdensity22	gdensity14	gdensity22
4	1,86713	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	4-22-1	92	0	0	70
5	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	5-22-1	97	0	0	78
6	0,947526	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	6-22-1	92	0	0	79
7	3	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	7-22-1	66	0	0	82
8	7,72207	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	8-22-1	86	0	0	75
9	11,0945	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	9-22-1	80	68	0	12
10	0,701394	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	10-22-1	92	92	0	0
11	0,030434	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	11-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN
12	0,82575	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	12-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN
15	4,33684	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	15-22-1	81	92	0	0
16	6,33071	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	16-22-1	73	87	0	0
17	12,042	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	17-22-1	91	89	0	0
18	19,553	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	18-22-1	82	66	0	14
19	24,9139	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	19-22-1	81	10	0	60
20	14	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	20-22-1	88	16	0	66
21	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	21-22-1	92	0	0	88
23	6	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23-22-1	78	89	0	0
24	23	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	24-22-1	85	74	0	16
25	21,9041	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	25-22-1	90	92	0	0
26	9,1165	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	26-22-1	92	92	0	0

9. attēls. GrassLIFE projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes fragmentu ar kokaugu un lakstaugu LAI vidējām procentuālajām vērtībām, aprēķinātām biotopa poligoniem pārklātā 5x5m kvadrāt režģa detālvienībās.

Datubāzes tabulā (9. attēls) attiecīgo lauku nosaukumi ar LAI vidējām vērtībām interesējošiem zemes seguma veidiem:

- **tdensity_14** – kokaugu stāvā 2014. gada LAI procentuālais lielums
- **tdensity_22** – kokaugu stāvā 2022. gada LAI procentuālais lielums

- **gdensity_14** – lakstaugu stāvā 2014. gada LAI procentuālais lielums
- **gdensity_22** – lakstaugu stāvā 2022. gada LAI procentuālais lielums

Būtiski piebilst, ka lakstaugu stāva vērtības zem koku lapotnes ar aviācijā bāzētiem risinājumiem nav iespējams izdalīt (jo koki no augšas aizsedz lakstaugu stāvu), tādēļ lakstaugu stāvam aprēķinātās LAI vērtības attiecas tikai uz atklātu lakstaugu veģetāciju izpētes teritorijā.

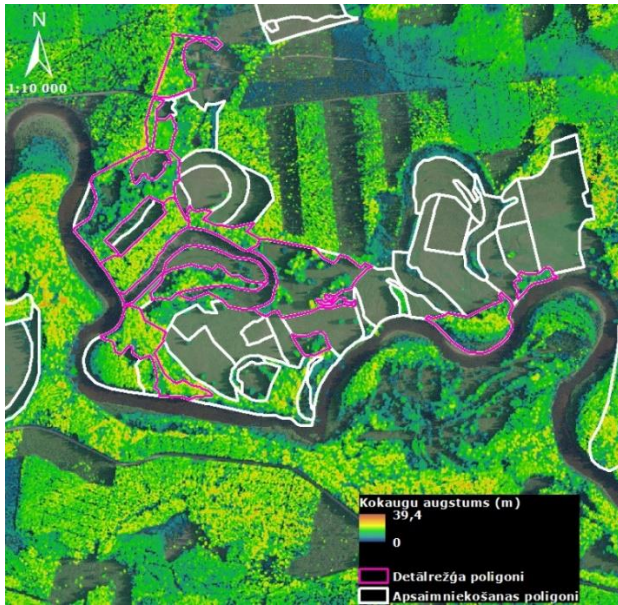
Secinājumi

Kokaugu un lakstaugu stāvam piekļūstošās gaismas daudzuma izmaiņas attālās izpētes datos iespējams novērtēt aprēķinot lapu platības indeksu jeb anglicki *Leaf Area Index* (LAI) vērtības. Salīdzinot procentuāli izteiktās un iegūtās LAI vērtības, piemēram, GrassLIFE projekta demonstrāciju saimniecības "Bekas" projektā apsaimniekotajos parkveida biotopu poligonos, kuros telpisko informāciju strukturēja 5x5m kvadrāt režģa šūnu iedalījumā jeb detālvienībās, 2022. gadā iegūtās LAI vērtības kokaugiem ir samazinājušās. Tas liecina, ka šajos poligonos zemesdzes veģetācijai ir radušies labāki apgaismojuma apstākļi, jo samazinājies koku lapojuma blīvums. Izvērstā analīze par abās sagatavotajās datubāzēs (apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu) un kartogrāfiski attēlotajos kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvumu raksturojošajos LAI datos sniegta GrassLIFE projekta monitoringa atskaitē.

Kokaugu augstums

Kokaugu augstuma izmaiņas ir faktors, kas palīdz novērtēt kokaugu pieaugumu vai zudumu laikā. Tās notiek dabisko procesu ietekmē un var būt ietekmētas cilvēka radītu apstākļu dēļ. Šajā gadījumā interesējoša ir GrassLIFE projekta veikto apsaimniekošanas darbību ietekme, tai skaitā uz kokaugu augstuma izmaiņām teritorijā. Attālās izpētes datu standartattēls - NDSM (*Normalized Digital Surface Model*) tiek iegūts no lāzerskenēšanas punktu mākoņa datiem un vislabāk raksturo kokaugu augstuma izmaiņas. NDSM datus katrā 1x1m pikseļa vērtība reprezentē zemes virsmas objekta augstumu, kas ir izteikts metros. Klasificējot NDSM datus, pieņēma, ka visi objekti, kas augstāko par 2 metriem atbilst zemes seguma klasei, kurā dominē kokaugi. Faktiski iegūtais NDSM klasifikācijas rezultāts kopējās platības un ārējo robežu ziņā identiski atbilst augstāk aprakstītajai un iegūtai zemes seguma klasei "Koki un krūmi" (skatīt nodaļu: Kokaugu un lakstaugu segums). Atšķirība tikai tā, ka šeit minētās klases ietvaros saglabāta informācija par objektu t.i. šajā gadījumā kokaugu augstuma vērtībām pikseļos. Tālāk no iegūtā kokaugu augstuma attēla aprēķināja vidējo koku augstuma vērtību apsaimniekošanas poligonos un kvadrāt režģa detālvienībās, šīs vērtības rēķināja tikai tai apsaimniekošanas poligona vai parkveida biotopu kvadrāt režģa detālvienības platības daļai, kuru tajā aizņēma kokaugu segums (klase "Koki un krūmi"). Iegūto vērtību datubāzēs attiecināja uz visu attiecīgo apsaimniekošanas poligonu vai kvadrāt režģa detālvienību. Kokaugu augstuma vidējo vērtību attiecīgajai aprēķina telpiskajai pamatvienībai (apsaimniekošanas poligonam vai kvadrāt režģa detālvienībai) tajā esošajā kokaugu seguma platības daļā aprēķināja 5x5 pikseļu grupā jeb kernelī, izvelkot tā 75. procentiles vērtību. Šis statistiskais vērtību manipulācijas paņēmiens ļauj novērtēt visizplatītāko kokaugu augstuma vērtību 75. procentiles līmenī, izvēlētajā pikseļu apkopošanas grupā (5x5 kernelis), tādā veidā raksturojot laukuma vienības valdošo kokaugu augstumu.

Kokaugu augstuma izmaiņu novērtēšanai augstāk minētos datu apstrādes soļus veica gan 2014. gada, gan 2022. gada NDSM attēlos. Lāzerskenēšanas datus neietekmē noēnojums, tādēļ šī datu produkta izstrādē iepriekš izdalīto zemes seguma klasi "Ēnas un tumšie zemes objekti jeb necaurspīdīgs ūdens" neizmantoja telpisko pamatvienību aprēķina platības koriģēšanai, kā tas darīts iepriekšējo datu produktu sagatavošanās, strādājot ar spektrālajiem datiem. Zemāk dots no NDSM 75. procentiles vērtību starppapstrādes iegūto kokaugu augstuma kartogrāfiski attēlots piemērs GrassLIFE demonstrācijas saimniecības teritorijai "Bekas" (10., 11. attēls).



10. attēls. 2014. gada kokaugu augstuma karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).



11. attēls. 2022. gada kokaugu augstuma karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).

Iegūtās augstumu karte, kas reprezentē kokaugu valdošo augstumu laukuma vienībā, izmantoja, lai aprēķinātu augstuma vērtības apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu kvadrātrežģa detālvienību platībās, izvelkot vidējo aritmētisko vērtību attiecīgās vienības laukumā. Iegūtās kokaugu augstuma vērtības 2014. un 2022. gadam ievietoja datubāzēs atsevišķos laukos. Detālvienībās, kurās kokaugu seguma platības tajās bija nepietiekamas (t.i. pārāk mazas), lai veiktu aprēķinus, parkveida biotopu datubāzē satur vērtību "NaN". Zemāk dots aprēķināto kokaugu augstuma datu piemērs no projektā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes (12. attēls).

cell_id	cell_area	ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvards	Polig_kods	unique	theight14	theight22
4	1,86713	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	4-22-1	6	0
5	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	5-22-1	5	0
6	0,947526	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	6-22-1	2	0
7	3	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	7-22-1	5	0
8	7,72207	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	8-22-1	11	0
9	11,0945	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	9-22-1	16	20
10	0,701394	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	10-22-1	20	29
11	0,030434	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	11-22-1	NaN	NaN
12	0,82575	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	12-22-1	NaN	NaN
15	4,33684	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	15-22-1	11	16
16	6,33071	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	16-22-1	13	20
17	12,042	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	17-22-1	16	23
18	19,553	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	18-22-1	13	18
19	24,9139	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	19-22-1	8	1
20	14	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	20-22-1	5	3
21	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	21-22-1	3	0
23	6	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23-22-1	16	10
24	23	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	24-22-1	20	18
25	21,9041	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	25-22-1	22	27
26	9,1165	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	26-22-1	23	27

12. attēls. GrassLIFE projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes fragmentu ar kokaugu augstuma vidējām vērtībām, aprēķinātām biotopa poligoniem pārklātā 5x5m kvadrātrežģa detālvienībās.

Datubāzes tabulā (12. attēls) attiecīgo lauku nosaukumi ar kokaugu valdošo augstumu vidējām vērtībām:

- **theight_14** – kokaugu vidējais augstuma 2014. gadā, izteikts metros
- **theight_22** – kokaugu vidējais augstuma 2022. gadā, izteikts metros

Izvērtējot datubāzēs iegūto augstumu starpību skaitlisko precizitāti, tika pamanīta brīžiem stipri pārspīlēta kokaugu augstuma pieauguma vai zudumu starpība pie vienāda kokaugu procentuālā seguma attiecīgajā aprēķina telpiskajā vienībā. Šīs lielās starpības var būt skaidrojamas ar to, ka dažviet izejas datus vērojama attālās izpētes datu pārklājuma nobīde līdz 2 m, kura visvairāk ietekmē rezultējošās starpībās, kuras iegūtas mazās aprēķina platībās. Piemēram, 5x5 m detālrežģa vienas vienības maksimālais laukums ir 25 m², kas var atbilst viena liela koka lapotnes platībai.

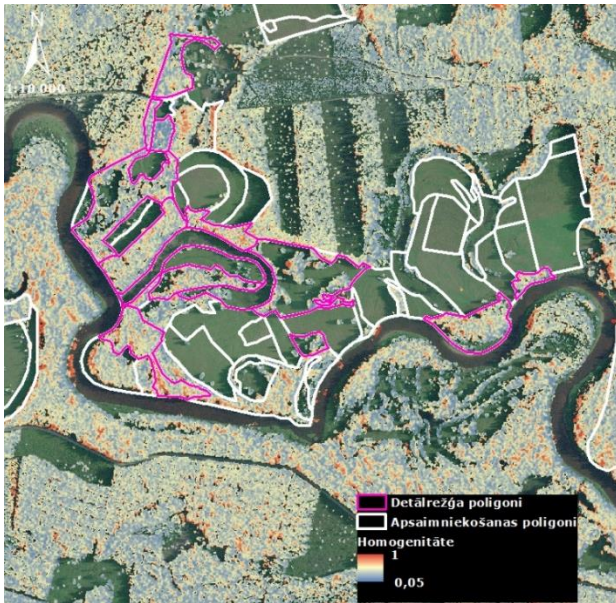
Secinājumi

Kokaugu augstuma izmaiņas ir faktors, kas palīdz novērtēt kokaugu pieaugumu vai rukumu laikā, kas ir noticis dabisko procesu ietekmē, kā arī šajā gadījumā arī GrassLIFE projekta veikto apsaimniekošanas darbību rezultātā. Attālās izpētes datu standartattēlus - NDSM (*Normalized Digital Surface Model*) ieguva gan 2014. gadā, gan 2022. gadā, apstrādājot lāzerskenēšanas punktu mākoņa datus, kas vislabāk raksturo tieši kokaugu augstuma izmaiņas. Ar NDSM attēlapstrādi iegūto kartogrāfisko informāciju pielietoja kokaugu augstuma vidējo vērtību kalkulācijai apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu kvadrāt režģa detālvienību platībās, kuras norādīja atbilstošajās datubāzēs. Izvērtējot datubāzēs iegūto kokaugu augstumu skaitliskās vērtības, novērojama kokaugu augstuma pieauguma tendence vietās, kur abos analizētajos gados ir saglabāties vienāds koku un krūmu segums (virs 2 m). Aprēķina vienību platībās, kur kokaugu segums ir izpētes periodā samazinājies vai neeksistē vispār, novēroja kokaugu augstuma zudumu. Izvērtēta analīze par abās sagatavotajās datubāzēs (apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu) un kartogrāfiski attēlotajos kokaugu augstuma 2014. un 2022. gada datus sniegta GrassLIFE projekta monitoringa atskaite.

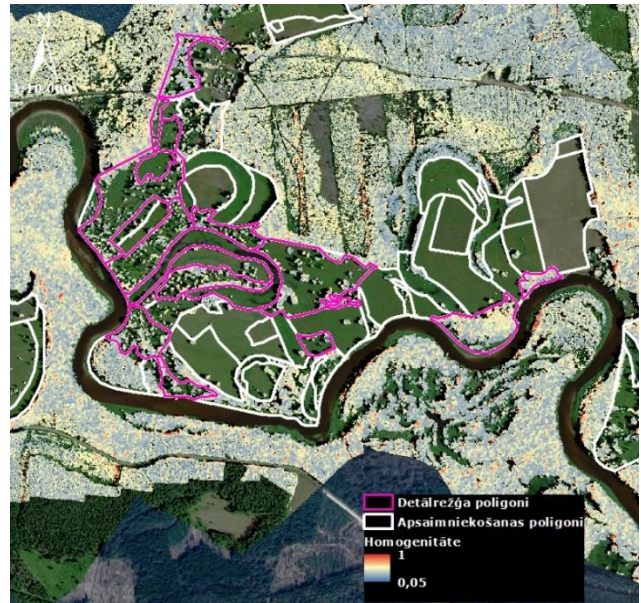
Veģetācijas homogenitāte

Veģetācijas homogenitāte, arī kailas augsnes un skraja lakstaugu seguma izmaiņas ir parametri, kas no attālās izpētes datiem var palīdzēt raksturot pārganišanas un ganiņu dzīvnieku radītas nobradāšanas ietekmi teritorijā. Kailas augsnes (1. tabula, 2. klase) un skraja lakstaugu (1. tabula, 3. un 4. klase) seguma datu ieguve aprakstīta iepriekš nodaļā "Kokaugu un lakstaugu segums", taču pārganišanas ietekmes novērtēšanai ir vērts ņemt vērā ne tikai šo abu segumu skaitliskās vērtības, bet arī telpisko izvietojumu. Vizuāli attēlota šī informācija palīdz novērtēt pārganišanas vai nobradāšanas telpisko rakstu ainavā.

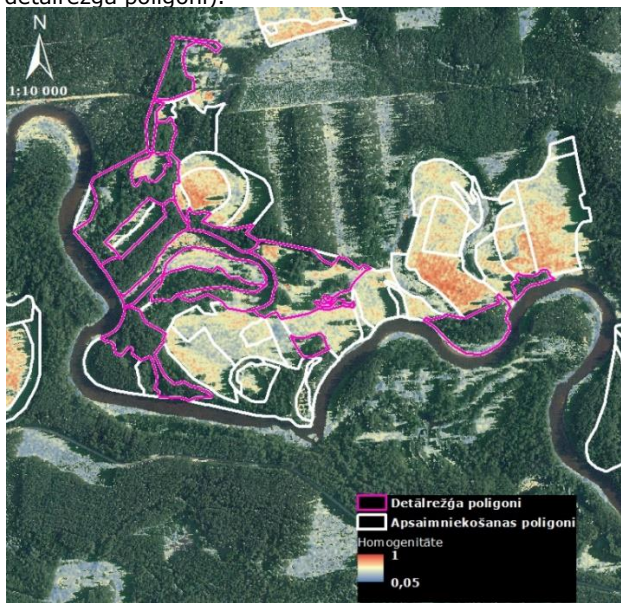
Veģetācijas homogenitātes aprēķināšanai kokaugiem un lakstaugiem segtajās platībās izmantoja ievāktos attālās izpētes hiperspektrālos datus. Vispirms no visām iegūtajām hiperspektrālo datu spektra joslām aprēķināja vienu vidējo aritmētisko vērtību. Vienīgā spektra josla ko izslēdza no šiem aprēķiniem bija 940 nm viļņa garums, kas sniedz informāciju par ūdens absorbciju un mērķa datu produkta aprēķināšanā varēja radīt nevēlamu ietekmi. Iegūto spektrālo datu vidējās vērtības starppapstrādes attēlu tālāk pārrēķināja izmantojot ENVI programmatūrā (5.3. versija) piedāvāto homogenitātes filtru, kas pēc noteikta algoritma (Haralick *et al.* 1973) pārrēķināja ievades attēlu par veģetācijas homogenitātes datu produktu. Homogenitātes filtra algoritms pārrēķinu veica 5x5 pikseļu grupas jeb kerneļa ietvaros. Iegūtā veģetācijas homogenitātes attēla pikseļu vērtības izkārtotās relatīvo vērtību diapazonā 0...1, kur vērtība viens atbilst pilnīgi homogēnai virsmai un nulle pilnīgi nehomogēnai virsmai. Tālāk iegūto veģetācijas homogenitātes attēlu sadalīja divos atsevišķos attēlos, kas atsevišķi reprezentē kokaugu un lakstaugu veģetācijas homogenitāti. To paveica izmantojot nodaļā "Kokaugu un lakstaugu segums" izdalītās klases. Kokaugu veģetācijas homogenitātes attēlu ieguva no kopējā veģetācijas homogenitātes attēla, izdalot tikai tos apgabalus, kas pārklājās ar zemes seguma klasi – "Koki un krūmi" (1. tabula, 6. klase). Līdzīgi rīkojās, lai iegūtu lakstaugu veģetācijas homogenitātes attēlu. To ieguva no kopējā veģetācijas homogenitātes attēla, izdalot vienkopus sekojošus zemes seguma klašu apgabalus – "Zālāji1, Zālāji2, Zālāji3" (1. tabula, 3.-5. klases). Jāņem vērā, ka šādi iegūtajos kokaugu un lakstaugu veģetācijas homogenitātes datu produktos nav iekļautas noēnotās platības, kuras atrodamas iepriekš klasificētā "Ēnas un tumšie objekti" zemes seguma klasē. Zemāk doti kokaugu un lakstaugu veģetācijas homogenitātes kartogrāfiski attēloti piemēri GrassLIFE demonstrācijas saimniecības teritorijai "Bekas" (13., 14., 15., 16. attēli).



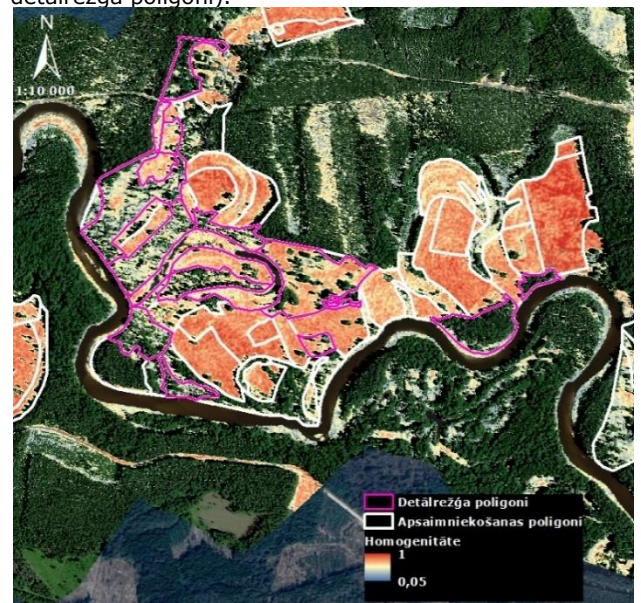
13. attēls. 2014. gada kokaugu veģetācijas homogenitātes karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).



14. attēls. 2022. gada kokaugu veģetācijas homogenitātes karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).



15. attēls. 2014. gada lakstaugu veģetācijas homogenitātes karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).



16. attēls. 2022. gada lakstaugu veģetācijas homogenitātes karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).

Iegūtos homogenitātes kartogrāfiskos materiālus izmantoja, lai aprēķinātu kokaugu un lakstaugu veģetācijas homogenitātes vērtības apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu kvadrātrežģa detālvienību platībās, izvelkot vidējo aritmētisko vērtību attiecīgajā laukuma vienībā. Iegūtās vērtības gan 2014. gada, gan 2022. gada datiem ievietoja attiecīgajās datubāzēs atsevišķos laukos. Gadījumos, kad kokaugu vai lakstaugu veģetācijas homogenitātes datus pārstāvētā platība bija pārāk niecīga – nepietiekama vidējās vērtības aprēķināšanai apsaimniekošanas poligona vai kvadrātrežģa detālvienības platībā, to vērtību datubāzē norādīja ar "NaN". Situācijās, kad apsaimniekošanas poligonus vai kvadrātrežģa vienību platībās attiecīgais veģetācijas segums neeksistēja, arī tad datubāzē norādīja

vērtību "NaN". Zemāk dots aprēķināto veģetācijas homogenitātes datu piemērs no projektā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes (17. attēls).

cell_id	cell_area	ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvards	Polig_kods	unique	thomog14	thomog22	ghomog14	ghomog22
4	1,86713	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	4-22-1	0,76	NaN	NaN	0,27
5	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	5-22-1	0,77	NaN	NaN	0,29
6	0,947526	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	6-22-1	0,82	NaN	NaN	0,33
7	3	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	7-22-1	0,74	NaN	NaN	0,4
8	7,72207	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	8-22-1	0,73	NaN	NaN	0,37
9	11,0945	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	9-22-1	0,76	0,36	NaN	0,35
10	0,701394	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	10-22-1	0,72	0,39	NaN	NaN
11	0,030434	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	11-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN
12	0,82575	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	12-22-1	NaN	NaN	NaN	NaN
15	4,33684	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	15-22-1	0,74	0,3	NaN	NaN
16	6,33071	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	16-22-1	0,65	0,39	NaN	NaN
17	12,042	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	17-22-1	0,51	0,37	NaN	NaN
18	19,553	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	18-22-1	0,63	0,31	NaN	0,28
19	24,9139	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	19-22-1	0,74	0,24	NaN	0,29
20	14	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	20-22-1	0,79	0,29	NaN	0,32
21	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	21-22-1	0,87	NaN	NaN	0,42
23	6	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23-22-1	0,73	0,48	NaN	NaN
24	23	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	24-22-1	0,53	0,35	NaN	0,36
25	21,9041	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	25-22-1	0,5	0,34	NaN	NaN
26	9,1165	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	26-22-1	0,56	0,31	NaN	NaN

17. attēls. GrassLIFE projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes fragmentu ar veģetācijas homogenitātes vidējām vērtībām, aprēķinātām biotopa poligoniem pārklātā 5x5m kvadrāt režģa detālvienībās.

Datubāzes tabulā (17. attēls) attiecīgo lauku nosaukumi ar veģetācijas homogenitātes vērtībām:

- **thomog_14** – kokaugu 2014. gada homogenitātes relatīvā vidējā vērtība
- **thomog_22** – kokaugu 2022. gada homogenitātes relatīvā vidējā vērtība
- **ghomog_14** – zālāju 2014. gada homogenitātes relatīvā vidējā vērtība
- **ghomog_22** – zālāju 2022. gada homogenitātes relatīvā vidējā vērtība

Secinājumi

Veģetācijas homogenitātes datu produktu iegūva, izmantojot hiperspektrālo datu spektrālajās joslās ietvertos vidējās vērtības aprēķinu. Iegūtais rezultāts sniedz iespēju vērtēt ganību dzīvnieku nobradāšanas vai pārganīšanas radīto telpisko rakstu ganību platībās, kā arī potenciāli analizēt izpētes teritorijā veiktās parkveida ainavu apsaimniekošanas pazīmes attiecībā uz kokaugu veģetāciju. Homogenitātes attēlus izveidoja katram interesējošam veģetācijas segumam (t.i. kokaugu un lakstaugu segumam) gan 2014. gada, gan 2022. gada situācijai. Ēnu un tumšo zemes objektu jeb necaurspīdīga ūdens klases platības izslēdza no aprēķiniem, lai izvairītos no neatbilstībām homogenitātes vērtībās apēnotajās platībās. Kopējās homogenitātes aprēķini rāda, ka atklātu zālāju platības ir homogēnākas 2022. gada datus, bet apsaimniekotajos parkveida biotopu poligonos vērojama nehomogēnāka situācija 2022. gadā, salīdzinot ar novērojamo 2014. gada datus. Izvērtētais iegūto veģetācijas homogenitātes rezultātu analīze sniegta GrassLIFE projekta monitoringa atskaitē.

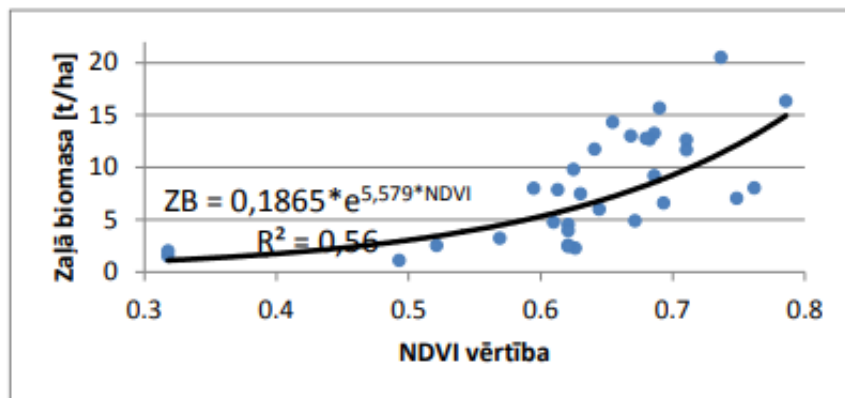
Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasa

Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasa ir datu produkts, ko var iegūt no attālās izpētes datiem. Pēc zaļās lakstaugu stāva biomasas aprēķiniem var vērtēt zālāju ražības izmaiņas izpētes teritorijā un to saistību ar GrassLIFE projektā veiktajām apsaimniekošanas darbībām. Visprecīzākā pieeja biomasas kvantitatīvo vērtību noteikšanai ir attālās izpētes datu apstrāde ar laukā ievāktām zaļās biomasas references vērtībām. Šādā situācijā lauka datus iegūst pēc iespējas tuvu attālās izpētes datu iegūšanas uzlidojumam. Iecere ievāktajos attālās izpētes datus analizēt arī zaļās lakstaugu veģetācijas biomasu radās pēc tam, kad GrassLIFE projektā jau bija veikti uzlidojumi attālās izpētes datu ieguvei. Šajā gadījumā lauka apstākļos ievākta references datu kopa nebija pieejama datu produkta izstrādei. Tāpēc kā iespējamo alternatīvu biomasas datu produkta izstrādei izvēlējās izmantot Vides risinājumu institūta (VRI) reiz izstrādāto aprēķina algoritmu zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas novērtēšanai no attālās izpētes datiem. Aprēķina algoritmu VRI savulaik izstrādāja iepriekšējā LIFE+ projektā „Alternatīvas biomasas izmantošanas iespējas zālāju bioloģiskās daudzveidības un ekosistēmu pakalpojumu uzturēšanai” (LIFE12 BIO/LV/001130 GRASSSERVICE).

Pēc LIFE+ GRASSSERVICE projekta pētnieciskajiem secinājumiem zālajos lakstaugu veģetācijas zaļā biomasa ZB (t/ha) ir izsakāma no šaurjoslas NDVI vērtībām ar eksponentfunkciju. Biomasas

vienādojumu, kuru izmantoja GRASSSERVICE projekta mērķiem, kā arī funkcijas grafiku, no kura iegūts vienādojums, var apskatīt 18. attēlā.

$$ZB = 0,1865 \cdot e^{5,579 \cdot NDVI}$$

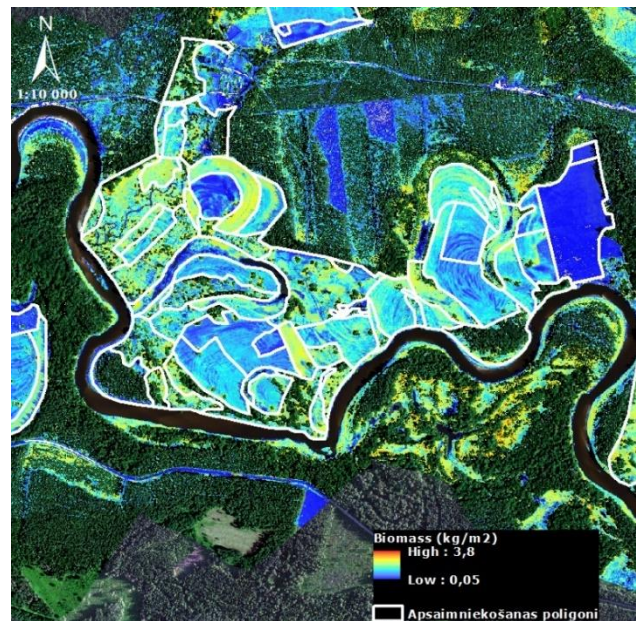


18. attēls. LIFE+ GRASSSERVICE projektā iegūtais zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas vienādojums un funkciju raksturojošais vienādojuma grafiks. Apzīmējumi: ZB – zaļā lakstaugu veģetācijas biomasas; NDVI – normalizēts veģetācijas indekss. (Avots: Vides risinājumu institūts, 2015).

Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas vērtību salīdzināšanai izmantotie attālās izpētes aviodati iegūti veģetācijas maksimuma periodā ar 13 dienu starpību. Ievāktie aviodati ar augstu precizitāti parāda kāda ir biomasas situācija konkrētajā dienā, ļaujot precīzi nokartēt zālāju teritorijas. Tomēr šāda veida dati biomasas izmaiņas nevar atspoguļot pilnībā, jo teritorijā var būt notikusi nesena saimnieciskā darbība, piemēram, pļaušana, aršana vai ganīšana datu uzlidojuma brīdī, kas var radīt salīdzināšanai neatbilstošu situāciju biomasas novērtēšanai. Izmantojot 18. attēlā norādīto vienādojumu, katras sezonas NDVI skaitliskos lielumus pārrēķināja, izsakot tās t/ha mērvienībā. Ņemot vērā izejas datu telpisko izšķirtspēju, piegādātie biomasas datu produkti tika pārrēķināti kg/m² mērvienībā, lai datu produkta lietotājs varētu novērtēt biomasas lielumu katrā pikselī individuāli. 2014. un 2022. gadu zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas kartes, pārklātas ar GrassLIFE apsaimniekošanas poligoniem izpētes teritorijas daļā, kas ataino projekta demonstrācijas saimniecību "Bekas", var apskatīt 19. un 20. attēlos.

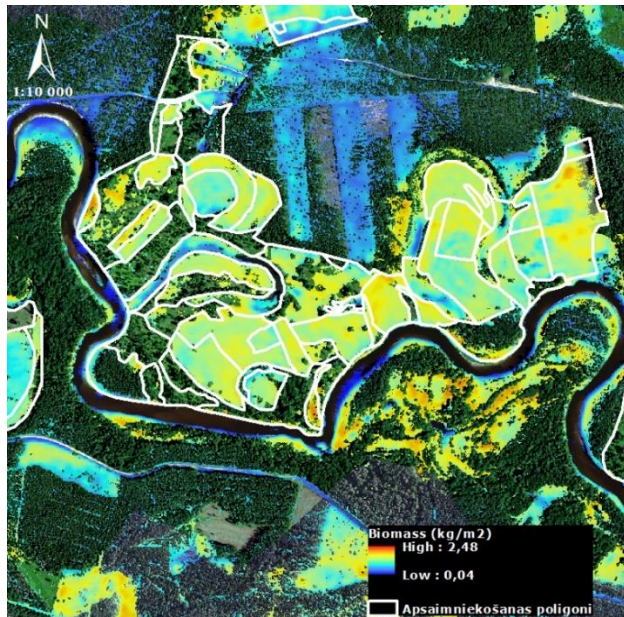


19. attēls. 2014. gada 26. jūlija zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem.

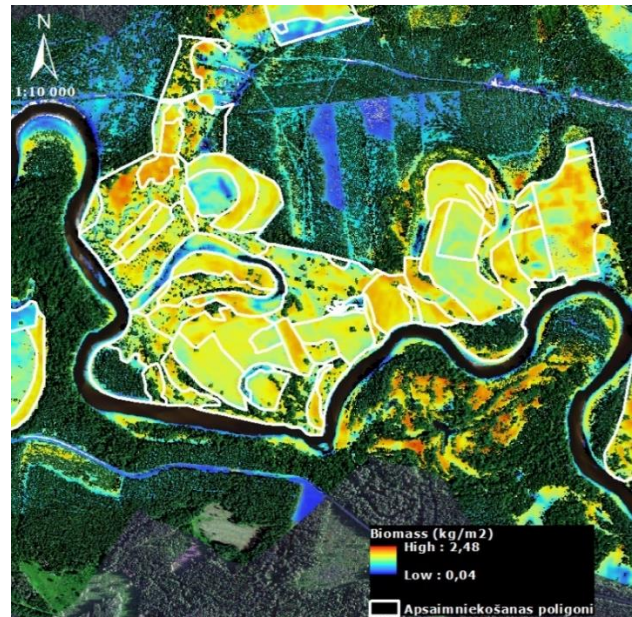


20. attēls. 2022. gada 13. jūlija zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem.

Mūsdienu brīvpieejas satelītu datu biežie pārlidojumi ļauj iegūt vairākas multispektrālās ainas veģetācijas sezonas laikā, no kurām var aprēķināt NDVI, paverot iespēju iegūt sezonas maksimālo NDVI vērtību katram pikselim. Šāda veida produkts ļauj novērtēt maksimālo biomasas apjomu, neatkarīgi no tā, vai teritorijās ir veikta saimnieciskā darbība. Maksimālais NDVI produkts tika iegūts no Sentinel-2 vasaras mēnešu periodā pieejamajām satelītainām. Pirmo Sentinel-2 satelītu orbītā palaida 2015. gada vasarā. Tādēļ par pamatu satelītdatos balstītam biomasas aprēķinu salīdzinājumam izvēlējās 2016. gada sezonu. Izmantojot augstāk GRASSSERVICE projektā izstrādāto biomasas aprēķina izteiksmi, katras sezonas maksimuma NDVI skaitliskais lielums pārrēķināja, izsakot t/ha mērvienībā. Izejas satelītdatu telpiskā izšķirtspēja bija 10m/pix, tāpēc to pārrēķināja atbilstošu pārējiem sagatavotajiem datu produktiem 1m/pix izšķirtspējā un jau minētajā lietotajām ērtajā kg/m² biomasas mērvienībā. Iegūtās 2016. un 2022. gada veģetācijas sezonas kartes zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas kartes, pārklātas ar GrassLIFE apsaimniekošanas poligoniem izpētes teritorijas daļā, kas ataino projekta demonstrācijas saimniecību "Bekas", var apskatīt 21. un 22. attēlos.



21. attēls. 2016. gada veģetācijas sezonas maksimālā zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem.



22. attēls. 2022. gada veģetācijas sezonas maksimālā zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem.

Abējādi iegūtos datu produktus (gan no aviācijas datiem, gan satelītdatiem aprēķinātos zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas rādījumus) izmantoja, lai aprēķinātu biomasas vērtības apsaimniekošanas poligonu platībās, izvelkot vidējo aritmētisko vērtību attiecīgajā laukuma vienībā. Parkveida biotopu kvadrātveidīgā detālvienībās šo datu produktu nerēķināja. Būtiski ņemt vērā, ja rodas vēlme novērtēt biomasas faktisko apjomu kādā no poligoniem, datubāzē norādītā biomasas vērtība ir jāpareizina ar attiecīgo poligona platību (bez noņēnotās platības daļas). Zālāju apēnotās vietas nav iekļautas datubāzē norādītajos biomasas aprēķinos. Datubāzes fragmentu, kur parādās biomasas vērtību lauki, var apskatīt 9. attēlā.

ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvards	Polig_kods	area	unique	biomMAX16	biomMAX22	biomass14	biomass22
1	3	1,036737	Vekši	Uga plava	Vek_UgPl	5693,02	1-Vek_UgPl	1,21	1,71	1,99	1,54
2	3	16,368159	Vekši	Lielais mežs	Vek_LM	120365	2-Vek_LM	1,2	1,3	1,13	1,14
3	3	1,33399	Vekši	Pārceļtuves plava	Vek_Ppl	7323,72	3-Vek_Ppl	1,33	1,09	0,86	0,51
4	3	2,186117	Vekši	Zirgu rennis	Vek_ZR1	18521,6	4-Vek_ZR1	1,47	1,54	1,2	0,64
5	3	1,765501	Vekši	Apalās attekas aploks	Vek_AAA_2	15245,9	5-Vek_AAA_2	1,59	1,85	2,03	1,77
6	3	1,094454	Vekši	Pārceļtuves atmata	Vek_Patm	8683,55	6-Vek_Patm	1,39	1,41	0,72	0,63
7	1	2,325948	Krastiņi	Lāčmuižas kaks	Kr_Lacm3	23105,2	7-Kr_Lacm3	1,34	1,37	0,67	0,89
8	1	0,988781	Krastiņi	Rātes tūrumi	Kr_Rate3	9803,27	8-Kr_Rate3	1,24	1,64	0,8	1,02
9	1	7,284978	Krastiņi	Rātes tūrumi	Kr_Rate2	54595,8	9-Kr_Rate2	1,39	1,61	0,99	0,13
10	1	1,963173	Krastiņi	Rātes tūrumi	Kr_Rate4	18367,5	10-Kr_Rate4	1,16	1,49	0,88	1,05
11	1	0,502555	Krastiņi	Rātes tūrumi	Kr_Rate1	1326,34	11-Kr_Rate1	1,19	1,22	1,12	0,24
12	1	2,667222	Krastiņi	Lāčmuižas kaks	Kr_Lacm1	24470	12-Kr_Lacm1	1,39	1,64	1,09	1,56
13	1	0,541325	Krastiņi	Lāčmuižas kaks	Kr_Lacm2	4522,72	13-Kr_Lacm2	1,41	1,82	1,1	1,41
14	1	4,823539	Krastiņi	Lāčmuižas kaks	Kr_Lacm4	44117,9	14-Kr_Lacm4	1,26	1,49	0,66	1,06
15	1	0,188014	Krastiņi	Priedīša tūrumi	Kr_PrT2	1594,42	15-Kr_PrT2	1,06	1,23	1,29	1,26
16	1	0,701827	Krastiņi	Apsīšu tūrumi	Kr_Aps2	3464,36	16-Kr_Aps2	1,47	1,55	1,24	1,65
17	1	5,368911	Krastiņi	Krācīšu ozoli	Kr_KrOz	41297,7	17-Kr_KrOz	1,51	1,49	1,54	1,78
18	2	5,85129	Vētras	Lipšu plava	Vet_Lip3	53067,8	18-Vet_Lip3	1,3	1,3	0,96	1,15
19	2	5,019857	Vētras	Lipšu plava	Vet_Lip2	41493,2	19-Vet_Lip2	1,36	1,41	0,88	1,05
20	2	2,517542	Vētras	Gaujmalas A plava	Vet_GaApI1	19013,7	20-Vet_GaApI1	1,2	1,22	0,67	0,49
21	1	3,482504	Krastiņi	Vecās Gaujas priedes	Kr_VGPr	28557,7	21-Kr_VGPr	1,02	1,53	1,26	1,61
22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23554,3	22-Kr_JGPr	1,2	1,49	1,28	1,53
23	1	0,387805	Krastiņi	Bozes plava	Kr_Bozes3	2802,82	23-Kr_Bozes3	0,88	1,37	1,55	1,42
24	1	0,738976	Krastiņi	Pūhula plava	Kr_Puh2	5716,15	24-Kr_Puh2	1,45	1,6	1,52	1,94

23. attēls. Datubāzes fragments biomasas vērtību raksturojošiem laukiem. GrassLIFE projekta Ziemeļgaujas teritorijā esošo saimniecību apsaimniekoto poligonu datubāzes fragmentu ar zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas vidējām vērtībām.

Datubāzes tabulā (23. attēls) attiecīgo lauku nosaukumi ar zaļās biomasas salīdzināšanai paredzētām vidējām vērtībām aviodatu un satelītdatu produktiem ir norādītas kā:

- **biomMAX16** – zaļās lakstaugu veģetācijas 2016. gada veģetācijas sezonas maksimālās biomasas vērtības kg/m²
- **biomMAX22** – zaļās lakstaugu veģetācijas 2022. gada veģetācijas sezonas maksimālās biomasas vērtības kg/m²
- **biomass14** – zaļās lakstaugu veģetācijas 2014. gada 26. jūlija biomasas vērtības kg/m²
- **biomass22** – zaļās lakstaugu veģetācijas 2022. gada 13. jūlija biomasas vērtības kg/m²

Secinājumi

Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas ir parametrs, kas no attālās izpētes datiem var parādīt zaļās biomasas ražības izmaiņas GrassLIFE projekta Ziemeļgaujas saimniecību apsaimniekotajās platībās. Ņemot vērā lauka datu neesamību, kas kalpotu precīzākiem kalibrācijas aprēķiniem, biomasas vērtību iegūšanai izmantoja eksponenciālfunkcijas vienādojumu no cita LIFE projekta rezultātiem, kas ir bāzēts uz NDVI veģetācijas indeksu. Iegūtās biomasas vērtības salīdzināja ar sausā siena ruļļu uzskaites datubāzi, kas bija pieejama tikai dažām plavām. Lai pārrēķinātu sausās biomasas vērtības uz zaļās biomasas vērtībām, pielietoja koeficientu x3. Salīdzināšanas rezultāti parādīja augstu pārvērtēšanu aprēķinātajās biomasas vērtībās. Piemēram, 2022. gada sezonā Rātes tūrumā D daļā ievāktā siena ruļļu pārrēķinātā sausā biomasas sastāda 8,64 t/ha (ZB). Turpretī, attālās izpētes datus aprēķinātā maksimālā biomasas vērtība šim apgabalam ir 16,1 t/ha. Savstarpēji salīdzinot iegūtos biomasas aprēķinus, kas ir balstīti gan uz aviodatiem, gan uz satelītdatiem, ir novērojams neliels pieaugums zaļās biomasas kontekstā 2022. gadā, kas var būt tieši saistīts ar projektā veiktām apsaimniekošanas darbībām. Izvērstā iegūto zaļās lakstaugu veģetācijas biomasas rezultātu analīze sniegta GrassLIFE projekta monitoringa atskaitē.

Normalizētais veģetācijas indekss

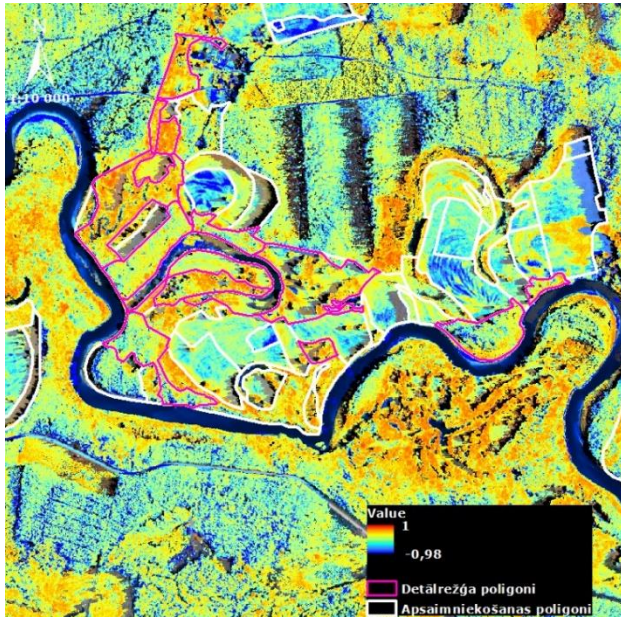
NDVI kā atsevišķu datu produktu piegādāja pēc GRASSLIFE projekta monitoringa aktivitāšu vadītāju lūguma. NDVI ir viens no būtiskiem izejas informācijas datiem, kuru izmantoja vairumam augstāk minēto datu produktu sagatavošanā, tāpēc, doma ir šo datu produktu izmantot atsevišķi nepārrēķinātā un neinterpretētā veidā projektā gūto sekmju analizēšanai. Iespējams, ka šāds datu produkts var labāk noderēt atsevišķu projektā gūto sekmju skaidrošanai par iepriekš norādītajiem datu produktiem.

Lai iegūtu salīdzināšanai derīgus NDVI kartogrāfiskos attēlus, hiperspektrālo sensoru informācija gan 2014. gada, gan 2022. gada datiem apstrādāja ar atmosfēras korekcijas algoritmu FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*). Pamatojoties uz algoritma izstrādātāju datubāzē ievietotiem

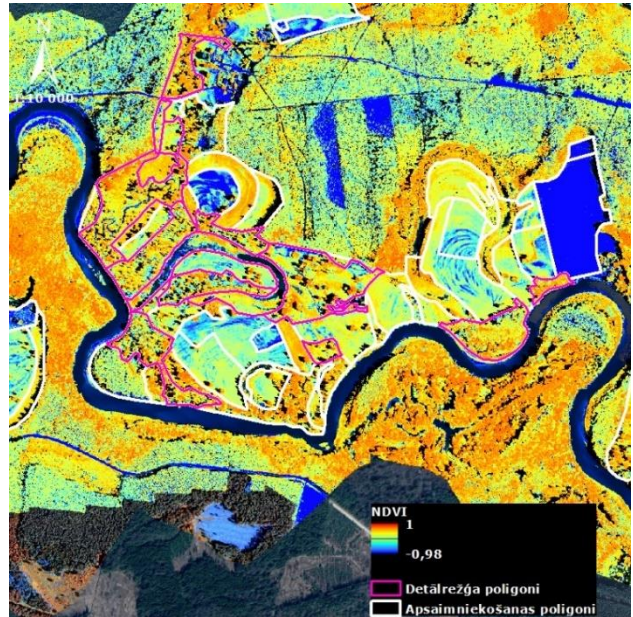
MOTRAN-4 atmosfēras modeļiem un spektrālo datu ūdens tvaika joslas 820 nm viļņa garumā esošo vērtību, katras spektrālo joslu vērtības pārrēķināja, kompensējot atmosfēras daļiņu ietekmi.

NDVI aprēķināja, izmantojot spektrālo datu sarkanās un infrasarkanās gaismas diapazona attiecīgo joslu pikseļu vērtības. Hiperspektrālo datu gadījumā izmantotā NDVI aprēķina formula dota nodaļā "Kokaugu un lakstaugu segums".

NDVI pikseļu skaitliskais diapazons izkārtotās no $-1...1$, kur vērtības mazākas par 0 ir raksturīgas ūdenim. Zemās, pozitīvās vērtības $0...0,2$ parasti atbilst zemes segumam bez veģetācijas. NDVI vērtības no $0,2...0,4$ segmentē ūdenstilpju apauguma veģetāciju, kā arī zemes virsmas ar retu veģetācijas apaugumu. Vērtības virs $0,4...1$ raksturo pikseļus, kur veģetācija sāk dominēt vai dominēt pilnībā. Pēc šādām vērtībām vadījās izstrādājot kokaugu un lakstaugu veģetācijas seguma datu produktu (skatīt nodaļu "Kokaugu un lakstaugu segums"). Neklasificētas NDVI vērtību attēlus, pārklātus ar izpētes teritorijas apsaimniekošanas un detālrežģa plātībām var apskatīt 24. un 25. attēlos zemāk.



24. attēls. 2014. gada normalizētā veģetācijas indeksa (NDVI) karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).



25. attēls. 2022. gada normalizētā veģetācijas indeksa (NDVI) karte GrassLIFE demonstrāciju saimniecības "Bekas" teritorijai, pārklāta ar apsaimniekošanas poligoniem un apsaimniekoto parkveida biotopu poligoniem (kvadrātrežģa jeb detālrežģa poligoni).

Aprēķināto NDVI indeksu kartogrāfisko materiālu izmantoja, lai aprēķinātu NDVI vidējās aritmētiskās vērtības apsaimniekošanas poligonu un parkveida biotopu kvadrātrežģa detālvienību platībās. Iegūtās vērtības gan 2014. gada, gan 2022. gada datiem ievietoja atbilstošajās datubāzēs atsevišķos laukos. NDVI aprēķina vienības, kuras pēc savas struktūras un platības bija nepietiekamas, neiekļaujot sevī neviena pikseļa centroīdu izvēlētajā telpiskajā pamatvienībā, datubāzē norādītas ar vērtību "NaN". Datubāzes fragmentu, kur parādās attiecīgie lauki aizpildīti ar vērtībām, var apskatīt 8. attēlā zemāk.

	cell_id	cell_area	ID	Numurs	ha	Saimn_nos	Vietvards	Polig_kods	unique	ndvi14	ndvi22
▶	4	1,86713	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	4-22-1	0,41	0,74
	5	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	5-22-1	0,47	0,78
	6	0,947526	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	6-22-1	0,01	0,75
	7	3	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	7-22-1	0,24	0,78
	8	7,72207	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	8-22-1	0,51	0,75
	9	11,0945	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	9-22-1	0,48	0,78
	10	0,701394	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	10-22-1	0,83	0,88
	11	0,030434	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	11-22-1	NaN	NaN
	12	0,82575	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	12-22-1	NaN	NaN
	15	4,33684	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	15-22-1	0,5	0,88
	16	6,33071	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	16-22-1	0,31	0,89
	17	12,042	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	17-22-1	0,73	0,85
	18	19,553	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	18-22-1	0,57	0,8
	19	24,9139	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	19-22-1	0,5	0,73
	20	14	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	20-22-1	0,55	0,79
	21	1	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	21-22-1	0,59	0,8
	23	6	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	23-22-1	0,48	0,75
	24	23	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	24-22-1	0,66	0,85
	25	21,9041	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	25-22-1	0,76	0,88
	26	9,1165	22	1	3,287898	Krastiņi	Jaunās Gaujas priedes	Kr_JGPr	26-22-1	0,85	0,9

26. attēls. GrassLIFE projekta demonstrācijas saimniecības "Bekas" teritorijā apsaimniekoto parkveida biotopu datubāzes fragmentu ar normalizētās veģetācijas indeksa (NDVI) vidējām vērtībām, aprēķinātām biotopa poligoniem pārklātā 5x5m kvadrāt režģa detālvienībās.

Datubāžu tabulās (piemērs 26. attēls) attiecīgo lauku nosaukumi ar NDVI vidējām vērtībām pret interesējošām zemes seguma klasēm apzīmēti sekojoši:

- **ndvi14** – NDVI 2014. gada vidējās vērtības
- **ndvi22** – NDVI 2022. gada vidējās vērtības

Nobeigums

GrassLIFE projekta monitoringa vajadzībām Vides risinājumu institūts, izmantojot tā rīcībā esošos 2014. gada un 2022. gadā ievāktos aviācijā bāzētos attālnāpētes datus virs projekta saimniecībām Ziemeļgaujas apvidū, ir sagatavojis sešus datu produktus: Kokaugu un lakstaugu stāva segums; Kokaugu un lakstaugu stāva lapojuma blīvums; Kokaugu augstums; Veģetācijas homogenitāte; Zaļās lakstaugu veģetācijas biomasa; Normalizētais veģetācijas indekss. Visu sagatavoto datu produktu telpiskā izšķirtspēja ir 1m/px. Tāpat ir sagatavotas divas minēto datu produktu datubāzes, kurās uzskaitīto datu produktu vērtības pārrēķinātas, attiecinot tās uz projekta apsaimniekošanas poligonu platībām vai projekta demonstrācijas saimniecībā "Bekas" apsaimniekoto parkveida biotopu 5x5m kvadrātrežģa detālvienību platībām. Datubāzēs ietvertu informāciju paredzēts tālāk izmantot GrassLIFE projekta monitoringa datu statistiskajā analīzē, lai varētu sagatavotu izvērstu un pamatotu projektā rezultātu atskaiti. Šis sagatavotais materiāls galvenokārt kalpo, kā papildinājums GrassLIFE projekta monitoringa noslēdzošajai atskaitei, kas izvērsti apraksta projekta monitoringa rezultātu analīzē izmantoto attālnāpētes datu produktu izstrādes metodiku.

Literatūras saraksts

Cooley, T., Anderson, G.P., Felde, G.W., Hoke, M.L., Ratkowski, A.J., Chetwynd, J.H., Gardner, J.A., Adler-Golden, S.M., Matthew, M.W., Berk, A. and Bernstein, L.S. **2002, June**. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In IEEE international geoscience and remote sensing symposium (Vol. 3, pp. 1414-1418). IEEE.

Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J. and Strachan, I.B. **2004**. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 90(3), pp.337-352.

Haralick, R. M., Shanmugam, K., Dinstein, I. H. **1973**. Textural features for image classification. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, (6), 610-621 effects on litter decomposition in forest ecosystems. *Chemistry and Ecology*, 29(6), 540-553.