



VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS KARTOGRAFIJOS IR
GEOINFORMATIKOS KATEDRA

Dovydas Rutkauskas

**AUGALŲ BIOCHEMINIŲ RODIKLIŲ KARTOGRAFAVIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS
TAIKANT NUOTOLINIUS TYRIMUS**

**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES FOR PLANTS BIOCHEMICAL PARAMETERS
CARTOGRAPHING USING REMOTE SENSING**

Baigiamasis magistro darbas

Studijų programa – Kartografija

Vadovas: dr K. Papšys

Vilnius 2018

Turinys

ANOTACIJA	3
SAVOKŲ ŽODYNAS	4
ĮVADAS	5
1. ANKSTESNIŲ TYRIMŲ APŽVALGA	6
2. DARBO METODOLOGIJA	11
2.1 Augalų struktūrinių ir aplinkos spektrinių savybių analizė	12
2.2 Faktoriai veikiantys augalo spektrines savybes	12
2.3 Dirvožemio šviesos atspindėjimas	13
2.4 Augalo parametrų optinės savybės	14
2.5 Hiperspektrinių duomenų panaudojimas augalijos parametrų analizei	15
3. REZULTATAI	18
3.1 Chlorofilo nustatymo metodai	18
3.2 Karotinoidų ir Antocianinų nustatymo metodai	27
IŠVADOS	31
LITERATŪRA	32
Santrauka lietuvių kalba	34
Santrauka anglų kalba	35

ANOTACIJA

Šiame darbe aptariamos spekcinės augalų ir su jų kartografavimų susijusių aplinkos veiksnių savybės, dėl kurių nuotolinis augalų rodiklių kartografavimas tampa patrauklia niša perimti brangiai kainuojančių lauko ir laboratorinių tyrimų dalį. Pigiausias ir lengviausiai prieinamas duomenų šaltinis nuotoliniams tyrimams yra palydoviniai duomenys, jų tikslumo pakanka atlikti apytikslią fizikinių ir biocheminių rodiklių analizę ir priimti sprendimą dėl tolimesnių veiksmų. Praktiniam palyginimui buvo pasirinkti: „irikampinis chlorofilo indeksas“ ir „augalijos chlorofilo indeksas“, o jų palyginimui: antrasis chlorofilo absorbcijos indeksas ir normalizuotas augalijos indeksas. Taip pat naudoti ortofoto žemėlapiai reljefo ir objektų identifikavimui. Duomenų apdorojimui buvo imamos sentinel-2A ir spot-4 sensorių nuotraukos. Sentinel-2A duomenys atnaujinti 2018 gegužės mėn., o spot-4 - 2008 birželio mėn. Abiejų palydovų nuotraukų centrai yra į rytus nuo Marijampolės 20-25km. Karotinoidų nustatymui panaudotas „Karotinoidų atspindėjimo antrasis indeksas“, o antocianinam „Antocianinų atspindėjimo indeksas“

Tekstas 35psl., Darbe panaudota: 3 lentelės, 9pav. 3lentelės. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Reikšminiai žodžiai: Nuotolinis kartografavimas, augalų biocheminiai rodikliai, žemės ūkis.

SĄVOKŲ ŽODYNAS

Chlorozė - augalo audinių žūtis.

Ksantofilai - augalo pigmentų rūšis, kuri dažniausiai turi geltoną arba rausvą spalvą ir kurių cheminėje sudėtyje yra deguonies atomas.

IR - infraraudonieji spinduliai.

RS - regimosios šviesos spektras.

Albedo - santikinis dydis procentais, nurodantis paviršiaus atspindėtą elektromagnetinių spindulių dalį.

Antocianinai - pigmentų grupė, priklausanti flavanoidams ir pasižyminti raudonai mėlyna spalva.

Inversija- apvertimas, kurį atlikus esama loginė reikšmė pakeičiama priešinga.

Redukcioniztinis- sudėtingo proceso supaprastinimas išskaidžius į paprastesnius, mažesnius procesus.

Euristika – tyrimo, ieškojimo būdų ir metodinių taisyklių visuma.

Invariantas – objektas, kuris pritaikant tam tikras matematinės formules nekinta.

IVADAS

Daugiau kaip trečdalį žemės paviršiaus užima žemės ūkio naudmenos. Šią žemę galima apibrėžti kaip žmogaus paveiktas ekosistemas su tikslu gauti naudos iš maisto ar kitų gamtos resursų, kaip medis, naudingosios iškasenos ir kt. (Coleman. 1988) Skirstant žemės naudmenų dalį, 30% sudaro pasėliai arba intensyviai naudojamos ganyklos. Geografinė apimtis gali varijuoti nuo vieno lauko iki modernių fermų ar kompleksinių žemdirbystės regionų. Didėjantis žemės ūkio produktų poreikis paskutinius 60 metų ir efektyvių metodų žemdirbystei optimizuoti paieškos ir kūrimas lėmė neatpažįstamai pakitusį žemės ūkį ir tuo pačiu iš to kylančias ekologines problemas. Skaičiavimai rodo, kad dirbamų laukų plotai neišvengiamai auga kaip ir tinkamų žemdirbystei plotų praradimai dėl netinkamo ūkininkavimo. Nuolatinis greitas ir sąlyginai pigus būdas stebėti augalų rodiklius leistų efektyviau valdyti žemdirbystę, padidinti produktyvumą, sumažintų ekologinę taršą ir dirbamų laukų praradimą (Peden 1998).

Pastaraisiais dešimtmečiais didėja distancinių duomenų prieinamumas ir kokybė, todėl atrandami vis tikslesni ir išsamesni metodai gebantys kartografuoti augmenijos parametrus. Aukštos spektrinės rezoliucijos daugiaspektrinės nuotraukos, gali pakeisti įprastus spektrinės analizės tyrimus atliekamus laboratorijose. Gauti duomenys gali būti naudojami kartografuojant kraštovaizdžius, kuriami nauji sluoksniai žemėlapyje ir gauti duomenys panaudojami efektyviau valdyti žemės ūkį.

Tikslas: Naudojant palydovų nuotraukas įvertinti chlorofilo, karotinoidų ir antocianino kartografavimo galimybes.

Uždaviniai:

- Palyginti praktinį pasirinktų metodų pritaikomumą Lietuvoje.
- Vizualizuoti gautus duomenis pasitelkiant GIS programinę įrangą ArcGIS.
- Palyginti rezultatus gautus naudojant palydovines nuotraukas.

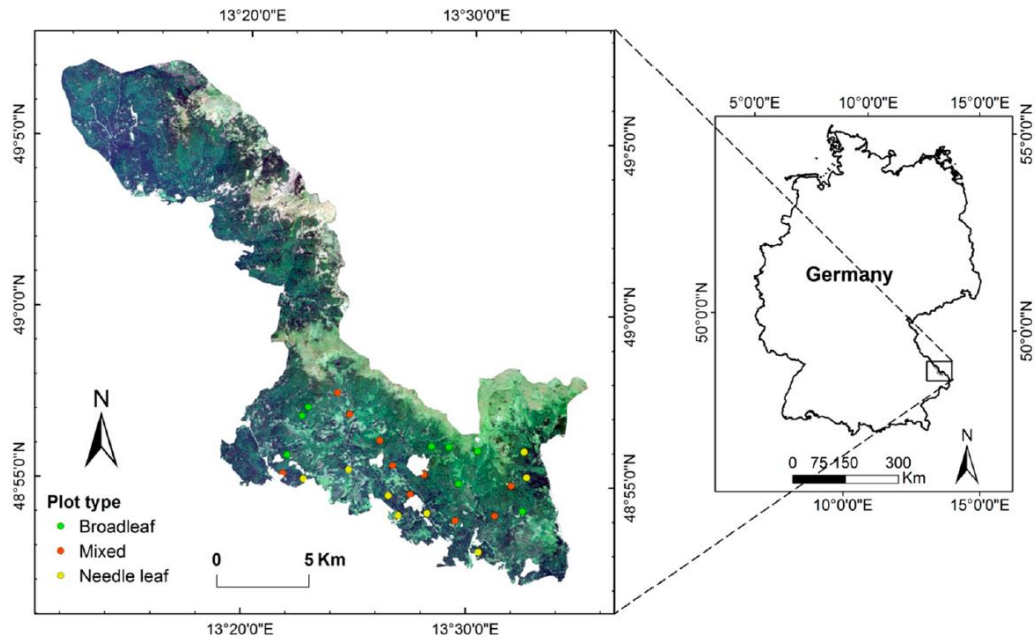
ANKSTESNIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

MEDŽIŲ LAPŲ AZOTO NUSTATYMO IR KARTOGRAFAVIMO MODELIS

Wang 2016m. publikavo metodą, kuriame aprašomas mišraus miško lapų azoto koncentracijos apskaičiavimo ir kartografavimo metodas. Šiam tyrimui naudoti multispektriniai duomenys. Medžių lapuose esančio azoto koncentracija svyruoja nuo 0,2 iki 6,4%. Naudojant multispektrinius duomenis galima apskaičiuoti azoto koncentraciją naudojant artimojo spektro juostą. Pagrindinis šio metodo privalumas yra lengvai prieinami duomenys ir maža tyrimo kaina. Visgi pagrindinis trūkdis apskaičiuojant azoto koncentraciją yra azoto ir vandens bangos ilgių panašumai, dėl kurių spinduliai absorbuojami tiek azoto tiek vandens. Šiame tyrime daugiausiai naudotos empiriškai grįstos inversijos tokios kaip vegetacijos indeksas, regresijos technikos, tokios kaip daugiapakopė laipsniška linijinė regresija, „least square“ regresija.

METODIKA

Analizės vieta parinkta 24,218ha ploto vieta Bavarijos nacionaliniame parke Vokietijoje (49°3'19"N, 13°12'9"E). Pagrindinės miško pagrindo uolienas sudaro granitas ir gneso uolienos. Dirvožemį sudaro rudasis dirvožemis, liosas ir rudasis jaurinis dirvožemis. Miško aukštis svyruoja nuo 600m iki 1453m. Vidutinis metinis kritulių kiekis svyruoja nuo 1200 iki 1800mm, o metinė temperatūra 5,1°C. Pagrindinės medžių rūšys: paprastoji eglė (67%), paprastasis bukas (24,5%) ir pilkasis kėnis (2,6%). Tyrimui atsitiktinai parinkti 26 plotai su skirtingomis medžių rūšimis. Rezultate gauti 8 lapuočių, 8 spygliuočių ir 10 mišrių medžių plotai. Kiekvienas plotas apima 30m x 30m teritoriją. Plotų centrai apskaičiuoti pagal Šveicarų GPS1200 koordinačių sistemą su apytiksliai 1m. paklaida. Laboratoriniams tyrimams paimta nuo 1 iki 3 medžių iš kiekvieno tiriamo ploto. Iš viso metodo patikimumui nustatyti paimti 34 lapuočių mėginiai ir 27 spygliuočių. Kiekvieną bandinį sudarė ne mažiau 20 lapų iš vieno medžio. Laboratorijoje apskaičiuota lapo masė plote (LMA, g/cm²), lapo ploto ir tūrio santykis (SLA, cm²/g) ir lapo azoto koncentracija (% sausa masė).



1pav. Medžių lapų azoto nustatymo vieta. (žali taškai žymi lapuočius, raudoni mišrius ir geltoni spigliuočius miškus (Wang 2016m).

Iš kiekvieno ploto surinkti duomenys apie paviršiaus struktūriniai duomenys tokie kaip lapų ploto indeksas (LAI). Medžių aukštis, kamieno skersmuo ir aukštis (DBH), bei medžių skaičius plote duomenys panaudoti medžių lapų biomasei apskaičiuoti. Lapų paviršiaus plotas %N (paviršiaus plotas) apskaičiuotas kiekvienos rūšies vidutinei azoto koncentracijai:

$$\%N = \sum_{i=1}^k n_i fM_i,$$

Čia n_i atitinka vidutinę azoto koncentracijos dalį i augalo vienam masės vienetui, fM_i yra sausų lapų masė i augalo (g/ug), k yra rūšių skaičius tiriamame plote. fM_i apskaičiuojamas pagal formulę:

$$fM_i = \frac{m_i fLAI_i}{\sum_{i=1}^k m_i fLAI_i},$$

Čia mi yra vidutinė lapo masė tiriamoje teritorijoje, I – augalo rūšis tiriamame plote.

fLAI_i – lapo ploto ir sausos masės santykis, I - augalo rūšis tiriamame plote. Šis rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$fLAI_i = \frac{fBiomass_i SLA_i}{\sum_{i=1}^k fBiomass_i SLA_i},$$

Čia fBiomass_i - lapo biomasės dalis, tiriamo augalo (i) SLA_i - vidutinis lapo plotas rūšies i, tiriamame plote.

Lapų ploto indeksas kiekvienam plotui apskaičiuotas imant centrą ir 10m. atstumą aplink jį visomis kryptimis. Vaizdas gautas naudojant Canon 5D su plačiu objektyvu „fishery lens“, kamieno aukštyje ties 1,3m nuo žemės paviršiaus. Nuotraukos darytos aušros arba saulėlydžio metu.

Hiperspektriniai duomenys gauti su HySpex sensoriumi, kurie daryti Vokietijos aerokosmoso centro (DLR) 2013 liepos 22d. HySpec sensorius sudarytas iš dviejų spektrometrų, kurių spektrinė aprėptis 415-1000nm (VNIR) ir 1000-2500nm (SWIR). Tai pasyvus jutiklis kuris priima saulės spindulius atspindėtus nuo žemės paviršiaus. HySpex spektrometrai turi atitinkamai 160 VNIR ir 256 SWIR spektrinius kanalus (juostas). Spektrinė rezoliuciją 3,7 ir 6nm bei 1,65 ir 3,3m atitinkamai VNIR ir SWIR. Duomenys rinkti tarp 9:00 ir 11:00 bei vidutinio aukščio ties 3000m virš žemės paviršiaus. Analizės plotui aprėpti buvo paimta 19 nuotraukų, kurių persidengimas sudarė 30%. Kiekviena nuotrauka padengia apie 1,1km x 11km. plotą. Skrydžio trajektorija yra iš šiaurės į pietus, dauguma nuotraukų darytos giedru oru ir nei vienas plotas nebuvo uždengtas debesų. Nuotraukų juostos buvo iš anksto apdorotos Vokietijos aerokosmoso centro (DLR). Duomenys konvertuoti iš skaitmeninių numerių į sensoriaus spinduliuotę, naudojant laboratorinę radiometrinę kalibruotę. Orto taisymas atliktas remiantis parametriniu modeliu, naudojant aukštį ir skrydžio duomenis iš kelių skirtingų GPS įrenginių apdorotų remiantis skaitmeniniu reljefo modeliu (DEM). Taip pat atlikta duomenų korekcija dėl atmosferos veiksnių iškreipties, duomenų kalibracijai naudojant ATCOR4 modelį ir jį generalizavus pagal MODTRAN4 modelį. Atlikus pirminę korekcija duomenyse išlieka sistemingų atsitiktinių neatitikimų, kurie vėliau pašalinti naudojant iteratyvinį adaptyvų erdvinį filtravimo įrankį (IAS). Šis erdvinų duomenų metodas taiko branduolinę gradiento funkciją pagal šalia esančių duomenų panašumą. IAS

modeliu pašalinti trikdžiai atsiradę po atspindžio sklidimo per atmosferą iškreipties. Toliau naudotas „Savitzky Golay“ metodas pašalinti galutiniams sisteminiams neatitikimams.

Duomenų atspindėjimo vertės kiekvienam plotui išskirtos iš anksto išskirtų spektro juostų. VNIR spektrometrui naudoti 17x17 pikselių (27,2x27,2m) langai centruoti pagal tiriamo ploto vidurio tašką. Tuo tarpu SWIR spektrometrui naudoti 9x9 pikselių (28,8m x 28,8m) langai. Plotui apibūdinti apskaičiuota vidutinė į langą patenkančių duomenų vertė. Iš viso išskirtos 26 spektrinės vertės iš 415-2500nm. Tyrimui nebuvo imamos spektrinės vertės ties 1350-1450, 1800-1950 ir 2400-2500nm, nes ties šiomis vertėmis yra itin didelė augale esančio vandens ir atmosferos sugertis iškreipianti duomenis.

Naudojant sklypo hiperspektrinius duomenis išskirti trys vegetacijos indeksai, labiausiai koreliuojantys su augalo biocheminiais ir fiziniais parametrais, tokiais kaip azotas, augalo struktūra ir chlorofilas. Išskirti vegetacijos indeksai adaptuoti HySpex bangos ilgiams naudojant artimiausia spektrinę juostą.

Index	Formula	Reference
1. Nitrogen Index		
NDNI ₁₅₁₀	$[\log_{10}(1/R_{1510}) - \log_{10}(1/R_{1680})] / [\log_{10}(1/R_{1510}) + \log_{10}(1/R_{1680})]$	Serrano <i>et al.</i> [49]
NI_Tian	$R_{705} / (R_{717} + R_{491})$	Tian <i>et al.</i> [46]
NI_Wang	$(R_{924} - R_{703} + 2R_{423}) / (R_{924} + R_{703} - 2R_{423})$	Wang <i>et al.</i> [47]
NI_Ferwerda	$(R_{693} - R_{1770}) / (R_{693} + R_{1770})$	Ferwerda <i>et al.</i> [75]
PALI	$\frac{\sum_{i=1}^n (R_{NIR} - R_i)}{\sum_{i=1}^n (R_{NIR} + R_i)}$	Mobasheri and Rahimzadegan [76]
Modified PALI	$\frac{\sum_{i=1}^n (\log(1/R_{NIR}) - \log(1/R_i))}{\sum_{i=1}^n (\log(1/R_{NIR}) + \log(1/R_i))}$	This study

Index	Formula	Reference
2. Structural Index		
NDVI	$(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Tucker [77]
RVI	R_{800} / R_{670}	Jordan [78]
TVI	$0.5 [120(R_{750} - R_{550}) - 200(R_{670} + R_{550})]$	Broge and Leblanc [79]
RDVI	$(R_{800} - R_{670}) / (\text{SQRT}(R_{800} + R_{670}))$	Roujean and Breon [80]
MSAVI	$0.5 (2R_{800} + 1 - \text{SQRT}((2R_{800} + 1)^2 - 8(R_{800} - R_{670})))$	Qi <i>et al.</i> [81]
D _{LAI}	$R_{1725} - R_{970}$	le Maire <i>et al.</i> [41]
DASF	See Knyazikhin <i>et al.</i> (2013)	Knyazikhin <i>et al.</i> [50]
NIR Reflectance	Mean reflectance in the near infrared (800–850 nm) spectral range	Ollinger <i>et al.</i> [7]
3. Canopy Chlorophyll Index		
Boochs	D_{703}	Boochs <i>et al.</i> [82]
Boochs2	D_{720}	Boochs <i>et al.</i> [82]
DDn	$2R_{710} - R_{(710 - \Delta)} - R_{(710 + \Delta)}$	le Maire <i>et al.</i> [41]
GI (Green Index)	R_{554} / R_{677}	Smith <i>et al.</i> [83]
Green NDVI	$(R_{800} - R_{550}) / (R_{800} + R_{550})$	Gitelson <i>et al.</i> [84]
OSAVI	$(1 + 0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux <i>et al.</i> [85]
OSAVI[705,750]	$(1 + 0.16)(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} + 0.16)$	Wu <i>et al.</i> [42]
MCARI	$((R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})) / (R_{700} / R_{670})$	Daughtry <i>et al.</i> [86]
MCARI/OSAVI	MCARI/OSAVI	Haboudane <i>et al.</i> [87]
MCARI[705,750]	$((R_{750} - R_{705}) - 0.2(R_{750} - R_{550})) / (R_{750} / R_{705})$	Wu <i>et al.</i> [42]
MCARI/OSAVI[705,750]	MCARI[705,750]/OSAVI[705,750]	Wu <i>et al.</i> [42]
TCARI	$3((R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})) / (R_{700} / R_{670})$	Haboudane <i>et al.</i> [87]
TCARI[705,750]	$3((R_{750} - R_{705}) - 0.2(R_{750} - R_{550})) / (R_{750} / R_{705})$	Wu <i>et al.</i> [42]
TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI	Haboudane <i>et al.</i> [87]
TCARI/OSAVI[705,750]	TCARI[705,750]/OSAVI[705,750]	Wu <i>et al.</i> [42]
MTCI	$(R_{754} - R_{709}) / (R_{709} - R_{681})$	Dash and Curran [88]
SPVI	$0.4 \times 3.7(R_{800} - R_{670}) - 1.2\text{SQRT}((R_{530} - R_{670})^2)$	Vincini <i>et al.</i> [89]
Sum_Dr1	Sum of first derivative reflectance between R_{625} and R_{795}	Elvidge and Chen [90]

1.lent Augalų rodiklių nustatymo formulės.

Struktūrinių augmenijos parametrų indeksas

Naudoti aštuoni parametrai augalo fiziniams parametrms nustatyti, dauguma metodų sukurti būtent lapų ploto indeksui apskaičiuoti. Papildomai prie šių rodiklių naudotas kryptingo ploto skaidymo faktorius (DASF), kuris pagrįstas spektrine invariacijos teorija ir yra skirtas charakterizuoti augalų paviršiaus struktūrą. Nors kryptingo ploto skaidymo faktorius (DASF) nėra augalo struktūrinis parametras, jis nusako, kaip išskaidytos bangos atspindėtos nuo augalo toliau kinta. Taip pat nustatyta, kad azoto koncentracija priklauso nuo artimojo infraraudonųjų spindulių spektro dvikrypčio atspindėjimo koeficiento (BRF), todėl taip pat tirtas atspindėjimas ties 800-850nm.

Augmenijos chlorofilo koncentracijos indeksas

Darbe panaudota 18 indeksų susijusių su biocheminiais augalo parametrais. Chlorofilo koncentracijos nustatymo indeksai darbe naudoti siekiant juos adaptuoti azoto koncentracijos nustatymui dėl koreliacijos tarp chlorofilo ir azoto. Chlorofilo koncentracijos indeksai daugiausiai apima bangos spektro ilgį ties (660-680nm), šiame elektromagnetinių bangų spektre

chlorofilas geriausiai sugeria spindulius. 680-780nm įvardijamas kaip barjeras tarp raudonos (670nm) ir artimojo infraraudonųjų spindulių spektro (800nm), kuriame chlorofilas taip pat gerai sugeria raudonus spindulius, o tuo tarpu lapai išsklaido artimuosius infraraudonuosius spindulius. Barjeras tarp raudono bangos ilgio ir NIR yra jautrus chlorofilo ir azoto koncentracijoms, todėl įtrauktas į augmenijos indeksą, chlorofilo koncentracijai nustatyti.

Statistinė analizė

Dispersinė analizė (ANOVA) naudota apskaičiuoti dispersijos proporciją tarp rūšių ir azoto koncentracijos, prie skirtingos lapijos ir tirtų plotų. Vidutinės azoto koncentracijos palyginimas tarp rūšių ir funkcinių tipų atliktas naudojant Tukey's reikšmių testą. Taip pat atliktas vidutinės azoto koncentracijos palyginimas tarp skirtingų plotų ir funkcinių plotų tipų.

Lapų azoto koncentracijos ir augmenijos indeksai regresuojami tiesinėmis ir eksponentinėmis funkcijomis. Eksponentinė funkcija naudota apskaičiuoti tiksliai azoto koncentracijai didėjant spindulių sugėrimai, priskiriant tinkamas azoto koncentracijos vertes, taip modelis papildytas, kad azoto koncentracija būtų apskaičiuojama pagal indeksus. Visi modeliai patvirtinti naudojant „leave-one-out“ kryžminio patvirtinimo analizę (LOOCV), kurio galutinis modelis sukurtas naudojant visus 26 bandinius. LOOCV leidžia sąlyginai tiksliai analizuoti duomenis su mažu bandinių skaičiumi. Kiekvienam priklausomam kintamajam sukurtas modelis naudojant nepriklausomus kintamuosius iš 25 mėginių, kurie naudoti apskaičiuojant left-out mėginių vertes. Metodika kartota 26 kartus siekiant apskaičiuoti visus mėginius. Dalinė mažiausiųjų kvadratų regresija (PLSR) mažina pradinius duomenis nepriklausomų veiksnių rinkiniams, tai naudinga, kai nepriklausomų kintamųjų skaičius yra daug didesnis nei priklausomų kintamųjų. Lyginant su daugialiniu regresijos modeliu PLSR išvengia nesklandumų kintamųjų bendrinimui, kuris yra būdingas naudojant hiperspektrinius duomenis. PLSR taip pat naudojamas kituose nuotoliniuose tyrimuose apskaičiuojant augmenijos parametrus įskaitant azotą. Be augmenijos indeksų, PLSR buvo naudojamas spektriniam duomenims susieti su tirtų plotų augalijos lapų procentine azoto koncentracija.

Statistinė analizė atlikta naudojant IBM SPSS Statistics 20 ir MATLAB.

DARBO METODOLOGIJA

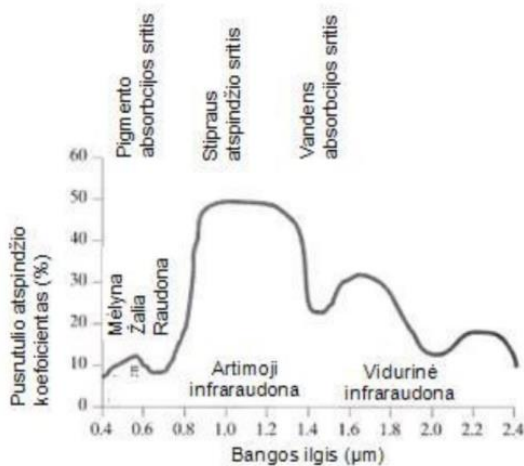
Augalų struktūrinių ir aplinkos spektrinių savybių analizė

Faktoriai veikiantys augalo spektrines savybes

Spektrinės analizės matavimai turi būti tikslūs ir tiksliai vaizduoti tiriamą augalo parametą, tačiau yra daug faktorių, veikiančių spektrinės analizės rezultatus. Reikia atsargiai apmąstyti taikomus metodus, jų adaptacijas ir atsižvelgti į faktorių, galinčių paveikti rezultatus visumą.

Augalo šalutinių elementų poveikis spektrinei analizei

Žali augalų lapai paprastai turi labai mažą albedo ir šviesos pralaidumą (2pav.) Tai lemia žalia augalo lapo spalva, didelė šviesos absorbcija dėl fotosintezėje dalyvaujančių ir kitų augalo pigmentų. (Chappelle et al., 1992). Šviesos atspindėjimas ir pralaidumas didėja artėjant prie infraraudonųjų spindulių ir yra didžiausias ties 700nm-1300nm. Taip yra todėl, kad augalo ląstelės struktūriniai elementai ir pigmentai sugeria labai mažai krentančios šviesos, taip pat dėl palyginti didelės mezofilio ląstelės sienelių sąsajų sklaidos (Slaton et al., 2001). Šis ryškus atspindžio koeficiento skirtumas tarp skirtingų bangos ilgių lemia susidomėjimą distancinių



2 pav. EM spindulių atspindys nuo lapų.

metodų pritaikymui agronomijoje ir natūralios augmenijos stebėjimams (Bauer, 1975).

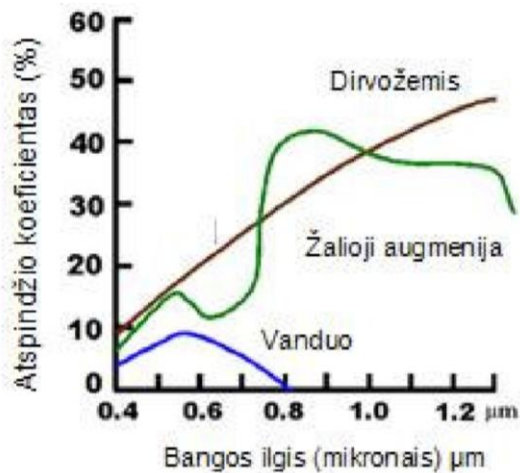
Sezono pabaiga, stresas, natūralus augalo senėjimas reiškia sumažėjusią chlorofilo koncentraciją ir tuo pačiu fotosintezės pigmentų, karotinoidų, ksantofilų koncentracijos sumažėjimą augale. Tai lemia padidėjusį albedo ties konkrečiu bangos ilgiu. Tai priklauso nuo pigmento, kurio koncentracija augale sumažėjo spalvos (kuri šiuo atveju yra artima (550nm)).

Didėjantis bangos ilgis reiškia didesnę regimosios šviesos atspindėjimą (Adams et al., 1999) ir augalo audinių chlorozę. Tuo pat metu artimas IR atspindėjimas mažėja, tačiau proporcingai lėčiau nei RS atspindėjimas didėja. Toliau stiprėjant augalo stresui pasiekama riba, kai įvyksta staigūs pokyčiai tarp regimosios šviesos ir artimo infraraudoniesiems spinduliams šviesos spektro. RS atspindėjimas mažėja ir gali visiškai išnykti, jei augalija žūsta (Paul. et al., 2014)

Optinės augalo lapų savybės ties artimosiomis IR 1300 ir 2500nm stipriai priklauso nuo vandens koncentracijos. Atspindėjimas palyginti aukštas sparčiai augančioje augalijoje, tačiau audiniams dehidratuojant mažėja. Visgi eksperimentiškai patikrinus šią teoriją, rezultatai parodė, jog praktikoje šios augalų savybės pritaikyti kol kas nėra galimybės. Taip yra todėl, kad atspindėjimo pokyčiai nėra statistiškai reikšmingi lyginant su biologiškai reikšmingu augalo vandens praradimu. Tai reiškia jog pokyčiai gali būti pastebimi tik praradus tiek vandens, kad augalas žūtų (Carter, 1991).

Dirvožemio šviesos atspindėjimas

Dirvožemis taip pat atspindi šviesą priklausomai nuo dirvožemio rūšies, atspindėtos šviesos bangos ilgiai nežymiai skiriasi. Visgi tipinių žemės ūkio dirvožemių šviesos atspindėjimas lyginant su augalais yra daug paprastesnis ir lengviau prognozuojamas (3pav.) Dažniausiai atspindėjimas tolygiai didėja nuo RS iki artimo IR (Price, 1990). Didelis vandens, organinių medžiagų kiekis lemia mažesnę albedo lyginant su šviesesniu, sausu ir lygesniu dirvožemiu (Daughtry, 2004). Taip pat nustatyta, kad specifiniai dirvožemio mineralai savitai atspindi šviesą. Pavyzdžiui, geležies oksidai stipriai atspindi raudoną spalvą. Dirvožemis trumpasias mikrobangas atspindi kiek įvairiau nei regimąją šviesą ir tai lemia daugiau faktorių, tačiau didžiausią poveikį daro vanduo, priemaišos ir mineralai (Daughtry, 2004). Augalų liekanos ir šviežios augalijos lapai daro reikšmingą poveikį atspindėjimui lyginant su švairiu dirvožemiu. Todėl reiktų atsižvelgti į dirvožemio liekanas jei stebėjimai atliekami skirtingame dirvožemio spektre su skirtinga apšvietimo istorija lauke (Nagler et al., 2000).



3 pav. Vidutinės vandens, dirvožemio ir augmenijos atspindžio koeficiento priklausomybė nuo bangos ilgio (Nagler et al., 2000)..

Augalo parametrų optinės savybės

Pigmentai absorbuoja energiją elektromagnetinių spindulių RS tarp 400-700nm. Spektrinės juostos atkarpose tarp 540-560nm, 630-690nm ir 700-730nm yra glaudžiai susiję su chlorofilo koncentracija. Karotinoidai ir antocinai absorbuoja energiją atitinkamai 510-520nm ir 540-560nm. (Ustin et al., 2009). Struktūriniai elementai celiuliozė ir ligninas yra randami trumposiose bangose infraraudonųjų spindulių dalyje 1680nm, 1750nm ir nuo 2100nm iki 2300nm (Kokaly et al. 2009). Šie metabolitai yra pagrindiniai ląstelės sienelės elementai (Sjostom, 1993) (3pav.) Tuo tarpu celiuliozė yra makromolekulė, kuri sudaro pirminės sienelės sandaros dalį, o ligninas yra sintetinamas vidinėje sienelėje ir atlieka atraminę funkciją. Šių elementų santykio pakitimai gali būti dėl aplinkos sąlygų poveikio augalui, sezono apšviestumo, nitratų koncentracijos dirvožemyje (Novaes et al., 2010). Taigi šie pokyčiai gali būti matomi šviesos atspindėjimo pakitime. Pigmentai, tokie kaip chlorofilas, karotinoidai, antocianinai, buvo tyrinėjami ilgą laiką ir naudojami distancinių tyrimų metodams kurti, kad būtų galima nustatyti šių rodiklių koncentracijas (Ustin et al., 2009). Celiuliozės ir lignino indeksai, tokie kaip celiuliozės absorbcijos indeksas ir normalizuotas lignino skirtumas, buvo patikimai modeliuojami sudėties nustatymui pagal atspindžio pokyčius (Heim et. al., 2015). Duomenų apie vašką albedo nėra daug. Vaškai atlieka augalo apsauginę funkciją, o šviesos atspindėjimas matomas tarp 400-750nm (Heim et. al., 2015). Šiame darbe didžiausias dėmesys skirtas distancinio modelio sukūrimui, kuris atsižvelgtų į vašką koncentraciją augale. Kadangi vašakai yra lapo paviršiuje, tai gali daryti didelį poveikį šviesos atspindėjimui ir sugerčiai ir galutiniam

rezultatui	tiriant	augalo	vidinius	darinius.		
Vegetation type	<i>n</i>	Biochemical concentration (%), mean (std. dev.), minimum to maximum				
		Water (% fresh leaf weight)	Nitrogen (% dry leaf weight)	Cellulose (% dry leaf weight)	Cellulose (% fresh leaf weight)	Cellulose:lignin
Deciduous	366	59.9 (4.9) 41.9 to 79.3	2.20 (0.53) 1.02 to 3.51	21.47 (4.36) 12.42 to 33.41	38.50 (7.05) 24.20 to 67.57	1.86 (0.53) 0.96 to 3.87
Coniferous	268	55.6 (4.04) 35.4 to 66.3	1.18 (0.31) 0.62 to 2.09	23.56 (3.77) 13.75 to 31.00	36.83 (4.26) 23.69 to 49.89	1.56 (0.15) 1.22 to 2.26
Cultivated grass	69	–	0.91 (0.19) 0.54 to 1.29	14.70 (1.06) 11.62 to 16.65	56.19 (3.05) 50.83 to 62.69	3.84 (0.40) 3.16 to 5.40
Wild grass	8	–	0.57 (0.18) 0.26 to 0.85	17.38 (1.57) 15.10 to 20.73	65.49 (5.45) 58.76 to 74.73	3.79 (0.41) 3.16 to 4.28

2lent. Vidutinė biocheminių elementų sudėtis (%) skirtinguose augaluose ir didžiausios, mažiausios nustatytos vertės (Heim et. al., 2015)..

Hiperspektrinių duomenų panaudojimas augalijos parametrų analizei

1997m. paleistas komercinis žemės stebėjimo palydovas aprūpino išskirtinės rezoliucijos ir aukštos kokybės fotografijomis iš reikiamos vietovės. Šis veiksnys leido analizuoti trumpųjų bangų daugiaspektrines nuotraukas iš konkrečios vietovės augalijos ir tapo pranašesnis už tradicinius multispektrinius sensorius. Dabar spektroskopiniai duomenys paprastai apima nuo šimtų iki tūkstančių gretimų, artimojo bangos ilgių variantų, kas sukuria galimybę išsamiai charakterizuoti lapiją daugiaspektriniais vaizdais. Fizinė sąsaja tarp lapijos cheminės sudėties ir lapijos absorbuojamos šviesos sukuria algoritmų pagrindą daugiaspektriniams distanciniams tyrimams, nustatyti biocheminę augalo sudėtį (Knyzikhin et al., 2012). Daug žadantys rezultatai gauti naudojant daugiaspektrinius duomenis tiriant augalo vandens, anglies, nitratų, celiuliozės, lignino ir pigmentų, tokių kaip chlorofilas, karotinoidai, anticioninai, koncentracijas (Asner et al., 2008, Gitelson et al., 2006).

Daugiaspektriniai metodai skirti biocheminiams rodikliams nustatyti, gali būti grupuojami į dvi kategorijas:

- Grįstus fiziškai.
- Grįstus empiriškai.

Fiziškai grįsta lapo biocheminių elementų inversija yra palengvinta patobulinus radiacijos perkėlimo modeliavimą, kaip nurodoma PROSPECT ir LIBERTY modeliuose. Paprastai šie lapų spektriniai modeliai yra kartografuojami kartu su lapijos atspindėjimo modeliais. Simuliuojami kraštovaizdžiai atrodytų taip pat, kaip lėktuvų ar palydovų

spektrometais sugeneruoti vaizdai (Tejada et al., 2001). Taip integruotos simuliacijos pasitarnauja kaip tolimesni modeliai ir generuoja lenteles, kurios leidžia invertuoti pigmentų koncentracijas (Zhang et al. 2008). Visgi invertuojant tolesnius fizinius modelius, gauti duomenys dažnai nesutampa su numatomais. Taip iš dalies nutinka dėl augalo biocheminės sudėties poveikio gautiems spektriniais duomenims. Šie trikdžiai lemia galutinių duomenų tikslumą (Kokaly et al., 2009).

Empiriškai grįsta inversija apima platų spektrą statistinių metodų, kurie susieja biocheminių elementų koncentracijas su daugiaspektriniais indeksais arba biocheminio elemento atspindžiu. Kelių bangos ilgių analizavimas siekiant nustatyti spektrinį indeksą yra praktiškai ir abstrakčiai patrauklus, tačiau šis redukcionistinis sprendimas neigiamai paveikia viso spektro informacijos gausos supratimą. Spektriniai indikatoriai dažnai formuojami euristiškai po paprastos transformacijos, kuri apima duomenų skirtumų, santykio pabrėžimą ir išryškina norimą rezultatą (Garbulsky et al., 2011) Taip gauti spektriniai indikatoriai dažniausiai nusako mažą rodiklių kiekį, kuris pritaikomas labai ribotam rūšių skaičiui. Todėl literatūroje galima rasti skirtingų metodų skirtingiems augalams, bet tam pačiam augalo rodikliui. Visgi yra išimčių. Keletas daugiaspektrinių indikatorių atsako į skirtingus augalo rodiklius. Vienas pavyzdžių yra fotocheminio atspindžio indeksas, kuris atsako į ksantofilų ciklo pigmentų aktyvumą, į fotosintetinės šviesos pasisavinimo efektyvumą, tiek yra sąlyginai siejamas su chlorofilo ir karotinoidų nustatymu, nors pastarasis nėra itin tikslus (Garbulsky et al., 2011).

Kitas empirinio metodo tipas, priešingai nei spektrinis indeksas analizuoja visą spektrą ir remiasi regresijos technika. Pagrindiniai šio tipo pavyzdžiai apima: keletą, viena po kitos einančių regresijų (*angl. stepwise multiple regression*), principinių komponentų regresiją (*angl. principal component regression*), gretimos viršūnės regresiją (*angl. ridge regression*), mažiausių dalių kvadratus (*angl. partial least squares*). (Asner et al. 2011) Visgi perspektyviausiu laikomas principinių komponentų regresijos tipas. Aptikus daug numatytų ir stipriai koreliuojančių duomenų, kintamieji pasirenkami pagal principinę komponentų regresiją. Taip sumažinama didelių dimensinių duomenų problema, gaudant menkos reikšmės faktorius per originalių bangų linijinę projekciją.

PROSPECT

Prospect modelis yra vienas plačiausiai naudojamų lapijos fotosintetinančių pigmentų kartografavime. Tai spinduliuotės perdavimo modelis, pagrįstas „Plate modeliu“ kuris nusako augalų lapų optinius parametrus bangos ilgyje tarp 400 ir 2500 nm. Išsklaidymas apibūdinamas

lūžio indeksu (n), o parametrai nusakantys lapo mezofilio struktūrą (N). Absorbicija modeliuojama naudojant pigmentų koncentraciją (C_{a+b}), vandens koncentracija (C_u) ir specifinis absorbicijos koeficientas (K_{a+b} ir K_u). n , K_{a+b} ir K_u parametrai pritaikyti naudojant eksperimentinius duomenis atsakančius į plataus spektro augaliją. Tuo tarpu Prospect veikia su nepriklausomais duomenimis. Inversija leidžia atkurti lapų atspindėjimą ir pralaidumą 400-2500nm bangos ilgio intervale, koreguojant N , C_{a+b} ir C_u kintamuosius. Šis metodas vienodai paskirsto augalo struktūros elementus, vandens ir pigmentų koncentraciją lapo viduje. Didelė koreliacija tarp skirtingų pigmentų, leidžia apsieiti be keleto skirtingų spektrinių indeksų. Taip pat nustatyta, kad alfa kampas, kuris nurodo paviršiaus nelygumą yra konstanta (Jacquemoud et al. 1990).

LIBERTY

LIBERTY yra šviesos perdavimo modelis, kuris simuliuoja spygliuočių optinius parametrus. Spyglių struktūra pavaizduota grūdais su granuluotomis ertmėmis. Teorija aprašo spyglio ir šviesos atspindėjimą. Šis modelis nuo anksčiau aptarto skiriasi tuo, kad PERSPECT lapas interpretuojamas kaip vientisa drumsta plokštuma, kurios paviršius atspindi arba praleidžia saulės šviesą. Tuo tarpu LIBERTI spyglys interpretuojamas kaip adata, kuri atspindi arba sugeria šviesą. Modelyje taip pat aprašomas spyglio atspindėjimas ir pralaidumas bangos ilgyje tarp 400 ir 2500nm. Spyglys yra interpretuojamas, kaip ląstelės masė su daugeliu ląstelės išsklaidymų tarp ląstelių. Šviesos išeiga yra trijų struktūrinių parametrų funkcija ir sudėtas spyglio biocheminių parametrų absorbicijos koeficientas (Terence 1998).

Trikampinis žalumo indeksas chlorofilo nustatymui

Trikampinis žalumos indeksas parodė daug žadančius rezultatus skaičiuojant chlorofilo koncentraciją lapuose ir stiebuose. Šis metodas matuojamas teritorijas padalina į trikampio formos plotus su 3 taškais (480nm,R480), (550nm,R550) ir (670nm,R670). Trikampio plotas apskaičiuojamas iš 3x3 matricos determinanto. Tam naudojama formulė:

$$A = \pm 0.5 [(\Lambda_1 - \Lambda_3)(R_1 - R_2) - (\Lambda_1 - \Lambda_2)(R_1 - R_3)]$$

Čia A- trikampio plotas, Λ_1 - Λ_3 Bangos ilgiai trims taškams, R_1 - R_3 atitinkamai atspindys trims taškams. Bangos ilgių eiliškumas šioje vietoje įtakos neturi, tačiau nuo jų priklauso galutinių rezultatų ženklas(+/-).

$$TGI = -0.5[190(R_{670} - R_{550}) - 120(R_{670} - R_{480})]$$

TGI sudaro x bangos ilgio atspindį, taigi naudojant μm ar procentinę išraišką rezultatai nėra paveikiami. Šiam metodui gali būti naudojama ne tik artimasis šviesos spektras bet ir multispektrinių sensorių duomenys. Šiam metodui svarbiausia turėti raudonos, žalios ir mėlynos spalvos bangos ilgius (670, 550 ir 480nm). Tuomet Λ_1 - Λ_3 yra bangos ilgio centrai ir R_1 - R_3 bandos ilgio atspindžiai (E. Hunt 2008).

REZULTATAI

Chlorofilo nustatymo metodai

Trikampinis chlorofilo indeksas

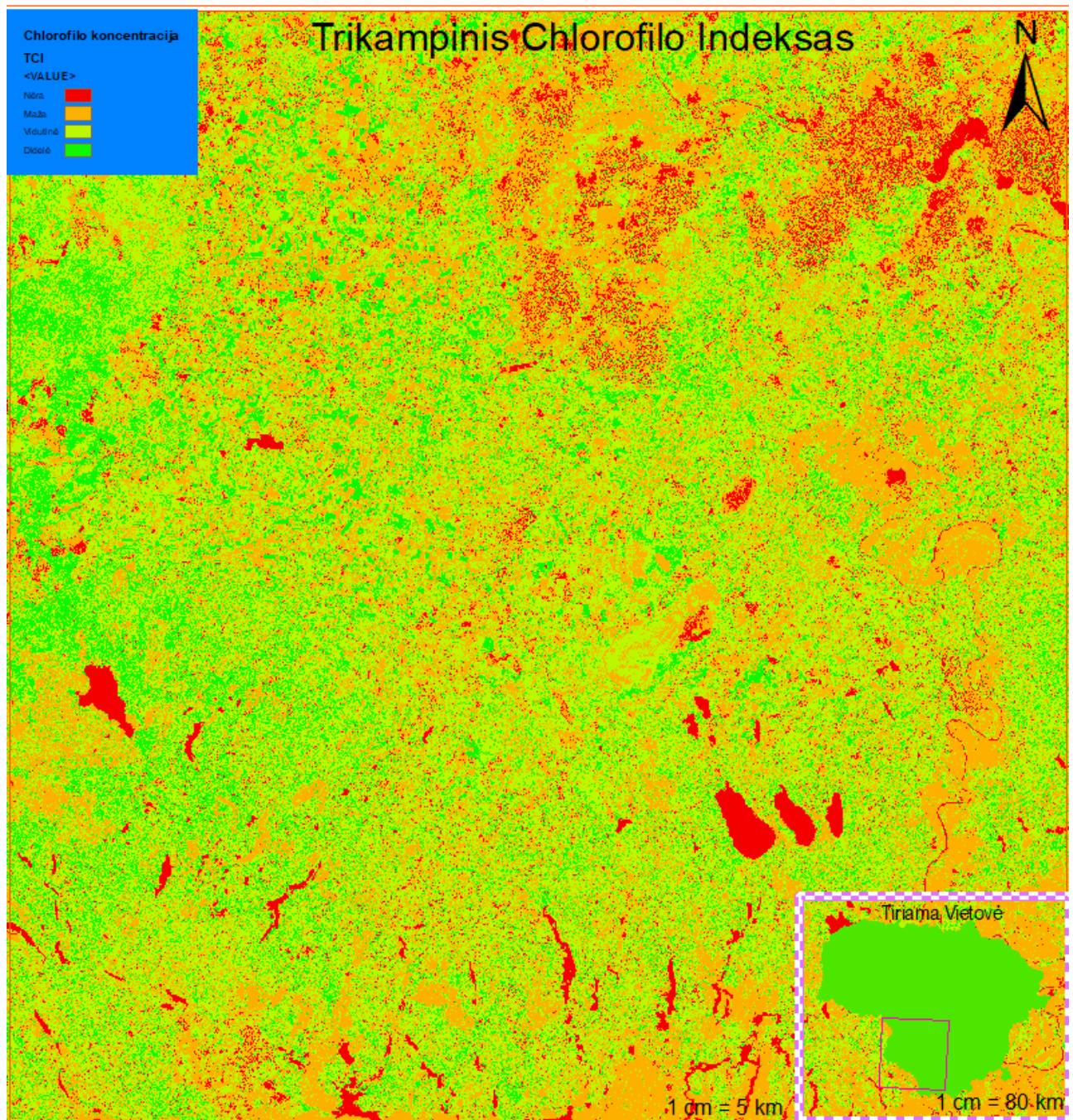
Trikampinis chlorofilo indeksas plačiai naudojamas žemės ūkyje. Šis indeksas be bendrojo chlorofilo stebėsenos naudojamas biomasės ir žemės ūkio kultūrų klasifikacijai.

Šiam indeksui apskaičiuoti buvo panaudoti „Sentinel-2A“ duomenys, 2018 gegužės mėn., centrinės koordinatės: „54° 35' 5.8", 23° 41' 40.8" (apie 20 km į rytus nuo Marijampolės). Bendroji „Trikampinė chlorofilo indekso formulė pritaikyta Sentinel-2A bangos ilgiams. Manipuliavimas bangos ilgiais buvo atliktas naudojant ArcGIS „Raster calculator“ :

```
RasterCalculator    "1.2    *    Float("T34UFF_20180530T094031_B05.jp2"    -  
"T34UFF_20180530T094031_B03.jp2") - 1.5 * Float("T34UFF_20180530T094031_B04.jp2" -  
"T34UFF_20180530T094031_B03.jp2")    *  
SquareRoot(Float("T34UFF_20180530T094031_B05.jp2"    /
```

$$TCI = 1.2 \cdot (R_{700nm} - R_{550nm}) - 1.5 \cdot (R_{670nm} - R_{550nm}) \cdot \sqrt{\frac{R_{700nm}}{R_{670nm}}}$$

Gauti rezultatai toliau buvo apdoroti siekiant suprantamai pavaizduoti santykinę chlorofilo koncentraciją. Galutinis rezultatas rodo itin gerai atskirtus vandens telkinius ir teritorinį bendrojo chlorofilo pasiskirstymą.



4pav. Santykinės chlorofilo koncentracijos žemėlapis „54°35'05.8"N 23°41'40.8"E“ (apie 25km į rytus nuo Marijampolės).

Augalijos chlorofilo indeksas (CVI)

Dauguma radiacijos perdavimo modelių yra pritaikyti skirtingiems bangos ilgiams, nors dažnai yra galima nedidelė variacija tarp reikalingo ir sensoriaus turimo bangos ilgio, yra

kuriamos korekcijos konstantos. Taip pat visuomet vertėtų peržvelgti skirtingų sensorių charakteristikas norint išgauti tikslesnį rezultatą.

Augalijos chlorofilo indeksui skaičiuoti buvo parinktas SP4_OPER_HRI_I_1A sensorius. Centrinės koordinatės „54°35'05.8"N 23°41'40.8"E“(apie 25km į rytus nuo Marijampolės).

Šiam indeksui skaičiuoti buvo pasitelktas „Raster calculator“. bangos ilgiai buvo koreguoti pagal straipsnyje pateikta konstantą šiam sensoriui:

```
„RasterCalculator          "Float(Float(1          -          Float(1          /
Float("SP4_OPER_HRI_I_1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.B
I.PNG          -          Band_4"          /
"SP4_OPER_HRI_I_1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PN
G - Band_3")) * 0.991 * 57.55) - 7.37" D:\Magistriniam\Chlor_index\Index.gdb\“
```

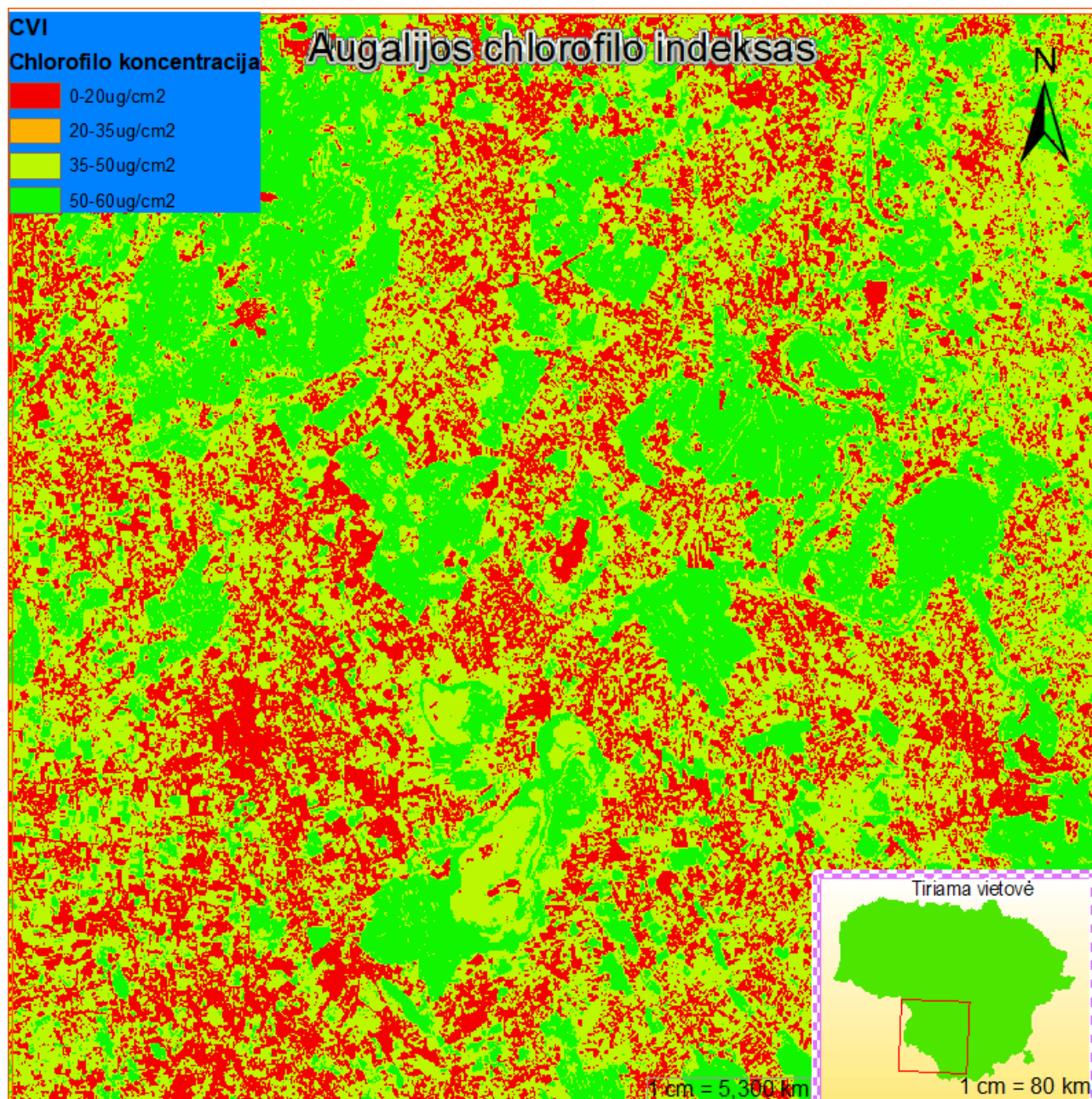
$$NAVI = \left(1 - \frac{\rho_{\lambda_1}}{\rho_{\lambda_2}} \right)$$

Satellite/Sensor	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	Linear regression		
			α	β	r
TERRA-AQUA/MODIS	646	856	-0.046	0.589	0.991
Landsat 7/ETM+	662	835	-0.019	0.555	0.990
Landsat 8/OLI	655	865	-0.047	0.588	0.990
TERRA/ASTER	660	810	-0.011	0.548	0.990
SPOT 4/HRVIR	655	830	-0.030	0.570	0.991
SPOT 5/HRG	645	835	-0.043	0.588	0.992

3.lent. Bangos ilgių skirtumo, koregavimo konstantų lentelė.

$$Chl = 57.55 NAVI - 7.37$$

Atlikus skaičiavimus gautos vertės buvo pavaizduotos pasitelkiant ArcGIS. Gauti rezultatai šiek tiek skyrėsi nuo anksčiau aptarto metodo. Šiuo atveju prasčiau išsiskyrė vandens telkiniai, kai kuriose vietose yra klaidingai nurodoma maža chlorofilo koncentracija. Kita vertus peržiūrėjus palydovinius vaizdus ir pasidomėjus apie tiriamą vietovę, paaiškėjo, kad Augalijos chlorofilo indeksas itin gerai išskiria karjerus ir eksplotuojamus durpynus, kuriuose chlorofilo koncentracija turėtų būti itin maža dėl menkos augalijos. Šie duomenys taip pat buvo patikrinti su normalizuotu vegetacijos indeksu (NDVI) ir modifikuotu chlorofilo absorbcijos indeksu palyginti chlorofilo koncentracijos metodų vertes su plačiai naudojamais augalijos ir lapijos indeksais.



5 pav. Augalijos bendrojo chlorofilo apytikrės koncentracijos žemėlapis.

Chlorofilo koncentracijos metodų palyginimas su plačiai naudojamais augalijos ir lapijos indeksais.

Modifikuotas chlorofilo absorbcijos modelis 2

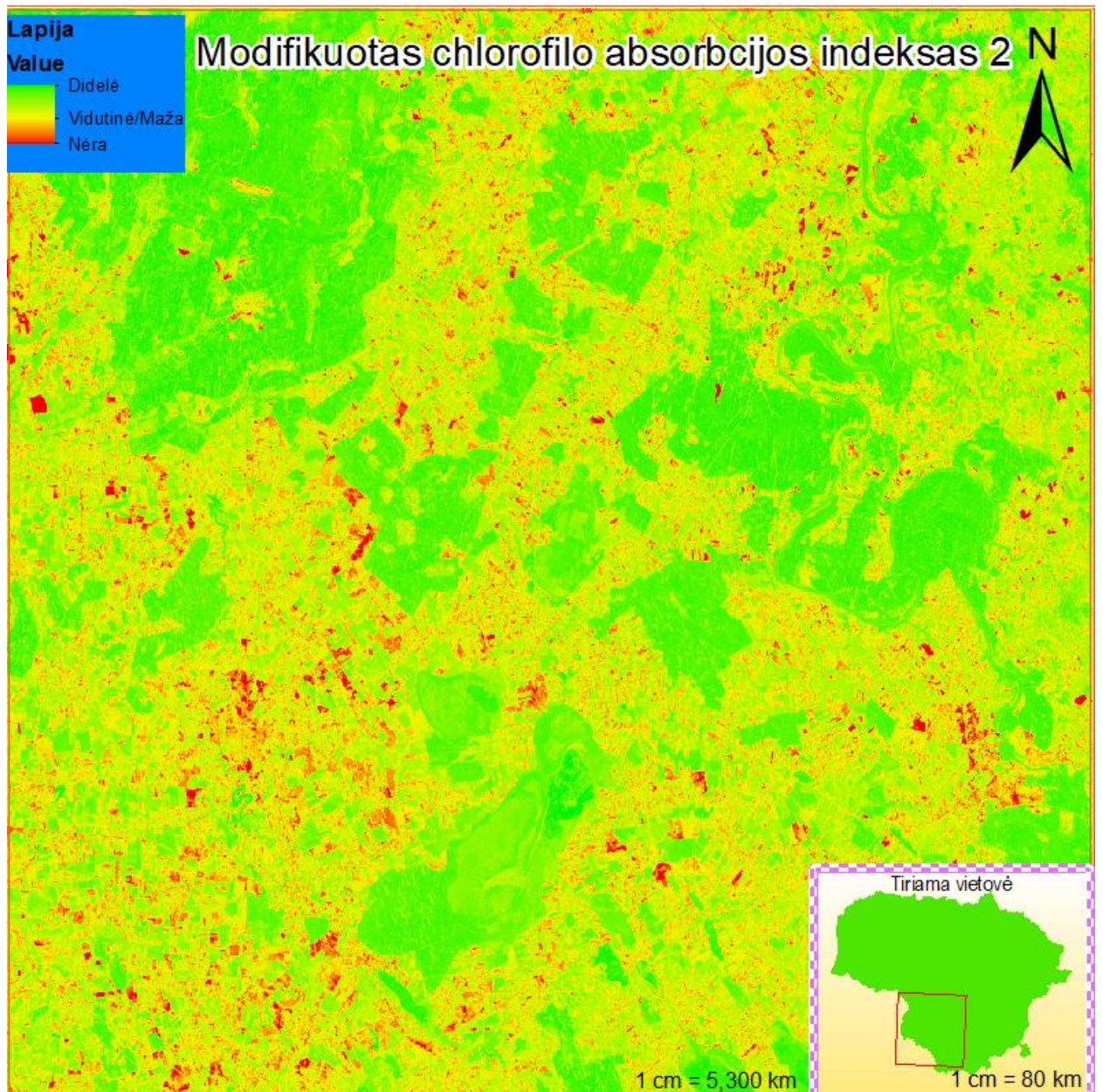
Modifikuotas chlorofilo absorbcijos modelis buvo pritaikytas modifijuojant formulę:

$$MTVI2 = \frac{1.5[1.2(\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5(\rho_{670} - \rho_{550})]}{\sqrt{(2 * \rho_{800} + 1)^2 - (6 * \rho_{800} - 5 * \sqrt{\rho_{670}}) - 0.5}}$$

Naudojant ArcGis „rester calculator“ Formulė perrašyta taip:

```

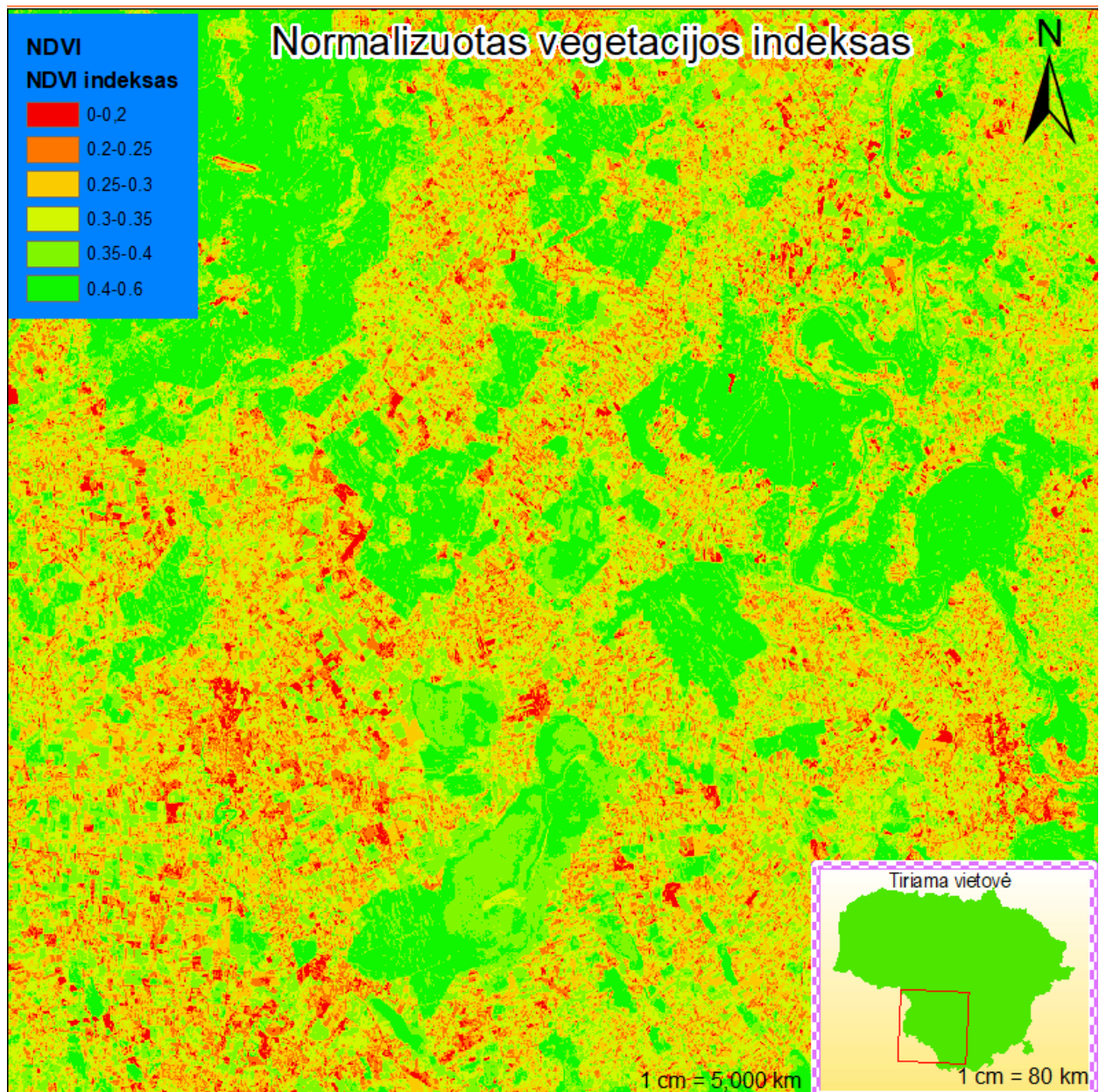
RasterCalculator          Float(1.5          *          Float(2.5          *
Float("SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
G          -          Band_4"          -
"SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
Band_3")          -          1.3          *
Float("SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
G          -          Band_4"          -
"SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
Band_2")          /          Float(SquareRoot(Float(Float(2          *
"SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
Band_4")          +          1)          *          Float(Float(2          *
"SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
Band_4")          +          1)          -          Float(Float(6          *
"SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.BI.PNG
Band_4")          -          Float(5          *
SquareRoot("SP4_OPER_HRI__I__1A_20080608T095537_20080608T095546_000170_0078_0239.
BI.PNG - Band_3") - 5))))))
    
```

6 pav. Augalų lapijos žemėlapis augalų chlorofilo modeliams palyginti.

Normalizuotas vegetacijos indeksas

Tiek lapijos indeksas tiek augalijos indeksas skyrėsi nuo chlorofilo koncentracijai matuoti skirtų metodų rezultatų. Augalijos ir lapijos indeksai išskiria didelius augalų plotus minimaliai diferencijuodami rezultatus, tuo tarpu chlorofilui matuoti skirti modeliai yra gerokai detalesni.



7pav. Normalizuotas vegetacijos indeksas.

„Tiek augalijos chlorofilo indeksas“ tiek „Trikampinis chlorofilo indeksas“ yra tarpusavyje panašūs, tačiau pastarajame, taip pat galimas matyti loginis chlorofilo koncentracijos pasiskirstymas pagal reljefą, ant kalvų matomas šiek tiek mažesnė chlorofilo sanakaupa, o daubose didesnė. Mažesnė chlorofilo koncentracija kalvose gali būti paaiškinta mažesniu nitratų kiekiu ir galimai drėgmės stoka.

Be šių metodų taip pat buvo mėginama sukurti automatizuotą „Prosail“ modelį. Pavyko pritaikyti ir paleisti modelį, veikė didelė dalis parametru „Python“ programavimo kalba, visgi,

nepavyko sugalvoti, kaip šiuos rezultatus vizualizuoti, kitaip nei grafiniu būdu todėl buvo nuspręsta šiame darbe jų neaprašinėti.

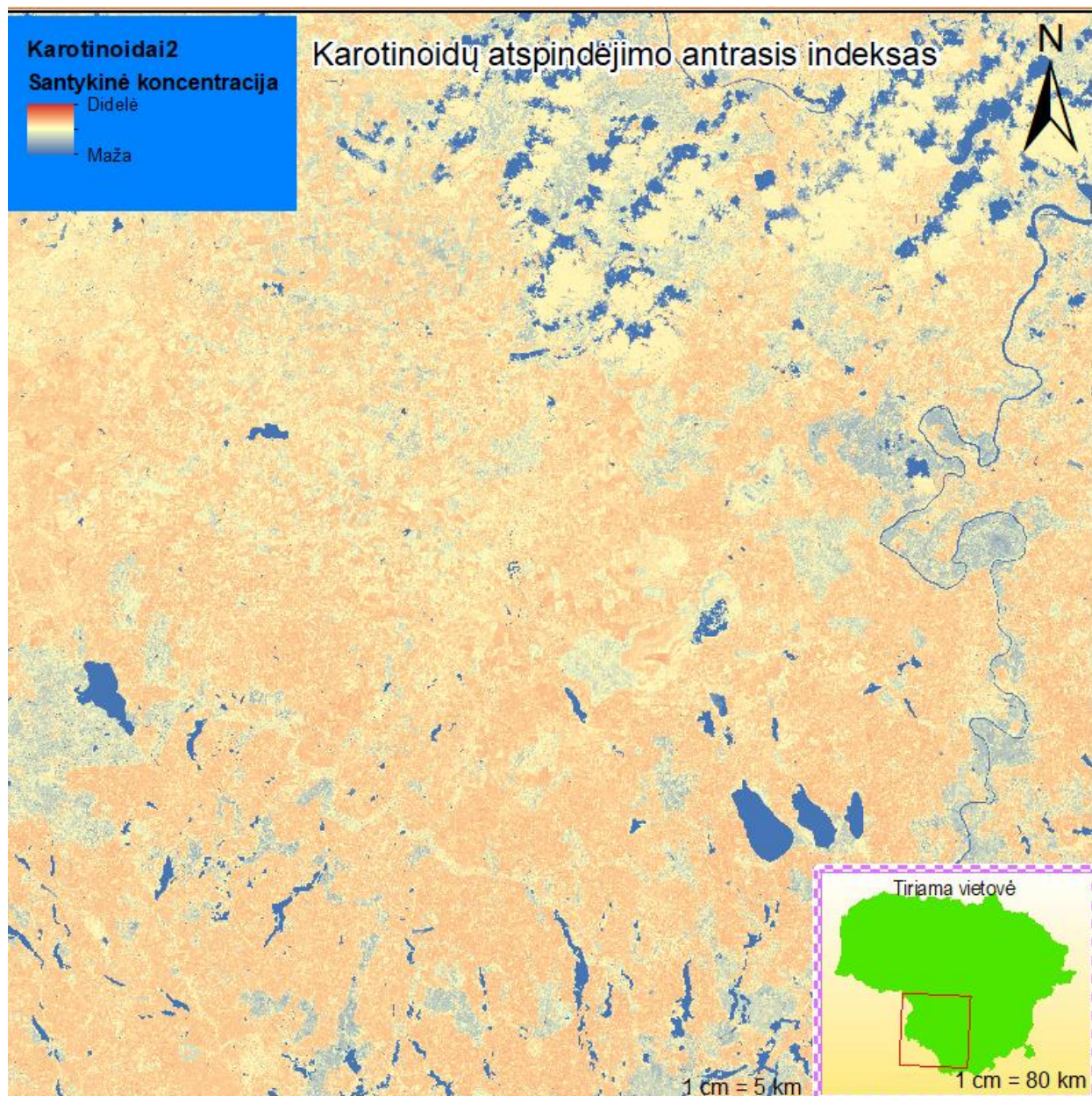
Karotinoidų ir Antocianinų nustatymo metodai

Karotinoidų nustatymas

Karotinoidų nustatymui didžiausia problema buvo sensorių su specifine 510nm bangos ilgiu reikšme. Karotinoidai yra geriausiai aptinkami būtent šiame bangos ilgyje. Mažesnę poveikį rezultatams darytų nežymiai didesnės bangos juostos pasirinkimas, tačiau mažesnės bangos juostos pasirinkimas gali iškreipti rezultatus. Šiuo metu yra labai sunku rasti palydovų duomenų su šiuo bangos ilgiu ir viešai teikenčių duomenis apie Lietuvos teritoriją. Dalis tinkamų palydovų jau nėra eksploatuojami arba dar tik planuojami paleisti. Dėl šios priežasties buvo pasirinkta naudoti turimus Sentinel-2A duomenis, kurios artimiausias bangos ilgis yra 490nm.

Gauti duomenys parodė, kad šiuo metodu gauti rezultatai gerai išskiria vandens telkinių kontūrus. Žemesnės drėgnesnės vietos turi mažesnes karotinoidų reikšmes. Taip pat šio metodo tikslumui neigiamą poveikį daro debesuotumas. Gauti rezultatai yra panašūs į trikampinio chlorofilo indekso metodo pritaikymo duomenys. Taip būtų galima paaiškinti ir chlorofilo atspindėjimo indekso duomenis, nes bendrasis chlorofilas ir karotinoidai yra glaudžiai susiję tarpusavyje varijacija tarp jų koncentracijų yra nedidelė.

$$CRI2 = \frac{1}{\rho_{510}} - \frac{1}{\rho_{700}}$$



8pav. Karotinoidų atspindžio antrasis indeksas. „54°35'05.8"N 23°41'40.8"E“(apie 25km į rytus nuo Marijampolės)

Antocianinų nustatymas

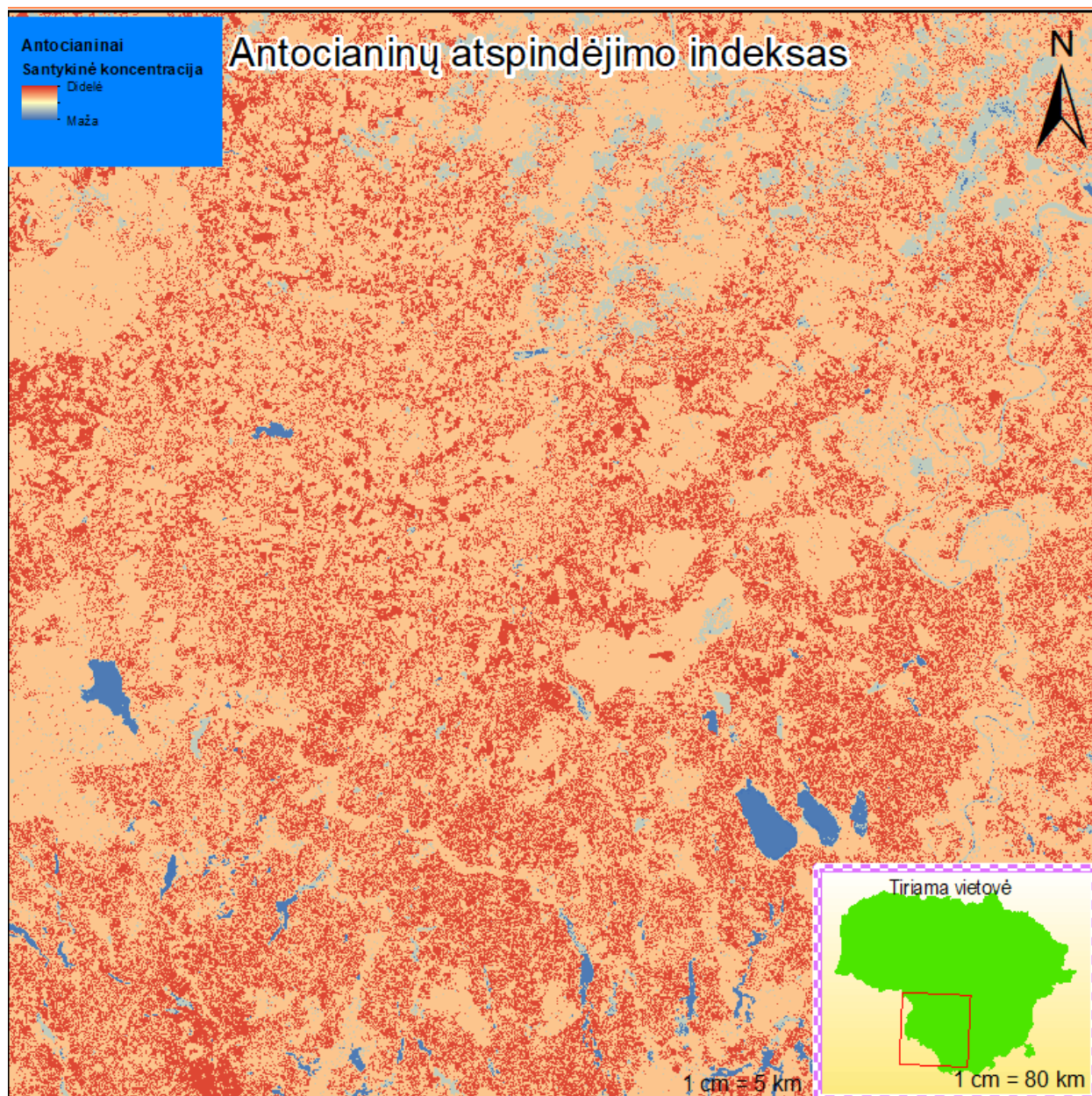
Antocianinai buvo nustatomi pritaikant formulę:

$$ARI1 = \frac{1}{\rho_{550}} - \frac{1}{\rho_{700}}$$

Ši formulė buvo pritaikyta Sentinel-2A duomenims.

Antocioninas yra augalo pigmentas jo koncentracija yra siejama su augalo stresu. Esant sausrai, dirvožemio taršai ar kitam dirgikliui augalas pradeda gaminti antocioninus. Gauti rezultatai rodo ryšį tarp trikampinio chlorofilo indekso ir antocianinų atspindėjimo indekso. Visgi kai kurie antocionino pikai yra šiek tiek didesni ir gali rodyti padidėjusę antocianinų koncentraciją.

Norint gauti tikslesnius rezultatus viena iš galimybių galėtų būti imti vienalyčius dirbamus laukus ir tuomet lyginti rezultatus tarpusavyje. Ši tiriamoji teritorija apima daug skirtingų objektų, kas galėjo paveikti rezultatų diferencijavimą



9pav. Antocianinų atspindėjimo indeksas. „54°35'05.8"N 23°41'40.8"E“(apie 25km į rytus nuo Marijampolės)

IŠVADOS

1. Atlikus literatūros apžvalgą buvo parinkti du potencialiai tinkamiausi metodai: „trikampinis chlorofilo indeksas“ ir „augalijos chlorofilo indeksas“ bendrojo chlorofilo koncentracijai tirti. Gauti rezultatai parodė, kad chlorofilo koncentracijos nustatymo modeliai gali nusakyti bendrą chlorofilo pasiskirstymą tiriamoje teritorijoje.

2. Palyginimas su augmenijos ir lapijos indeksais parodė, kad jų duomenys nėra glaudžiai susiję su augalijos padengimu teritorijoje. Trikampinis chlorofilo indeksas ir augmenijos chlorofilo indeksai pastebimai skyrėsi nuo panašius rezultatus parodžiusių augalijos ir lapijos rezultatų. Taip pat CVI metodu gauti rezultatai parodė kad šis metodas gerai išskiria eksploatuojamus durpynus, karjerus. Yra gerai matoma mažesnė chlorofilo koncentracija aukštapelkėse.

3. Tuo tarpu trikampinis chlorofilo metodu tirtoje teritorijoje lyginant su ortofoto nuotraukomis yra matomas chlorofilo koncentracijos sumažėjimas ant kalvų. Taip gali būti dėl dirvožemio erozijos ant kalvų ir mažesnės drėgmės. Tuo tarpu žemumose galima pastebėti plotus kuriuose chlorofilo koncentracija yra didesnė.

4. Visgi maistingų medžiagų stokojančiose aukštapelkėse ir vandens telkiniuose bendrojo chlorofilo santykinė koncentracija matoma itin maža.

5. Karotinoidų duomenys parodė sąryšį su augalijos, chlorofilo ir lapijos modeliais. Dėl to galima daryti išvada, kad karotinoidų nustatymui regioniniu lygmeniu „karotinoidų atspindėjimo antrasis indeksas“ gali būti naudojamas preliminariai analizei.

6. Antocianinų indeksas rodo glaudų rįšį tarp chlorofilo ir antocianinų koncentracijos dėl to neįmanoma patvirtinti, jog duomenys nėra chlorofilo koncentracijos atspindys. Visgi keli koncentracijų centrai rodo skirtumus kurie gali būti antocianinų sankaupų vietos.

7. Taigi šio tyrimo rezultatai parodė, kad šie modeliai gali būti panaudoti sudarant preliminarius dirvožemių derlingumo žemėlapius, parinkti geriausias laboratorinių mėginių ėmimo vietas.

LITERATŪRA

1. **Adams, M.L., W.D. Philpot, and W.A. Norvell, 1999.** Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation, *International Journal of Remote Sensing*, 20(18), p. 3663–3675.
2. **Asner G., Martin R., 2008** Spectral and chemical analysis of tropical forests: Scaling from leaf to canopy levels. *Remote sensing of Environment* 112, p. 3958-3970.
3. **Bauer, M.E., 1975.** The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops, *Advances in Agronomy*, 27, p. 271–304.
4. **Carter, G.A., 1991.** Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves, *American Journal of Botany*, 78(7),p. 916–24.
5. **Chappelle, E.W., F.M. Wood, J.E. McMurtrey, and W.W. Newcomb, 1984.** Laser-induced fluorescence of green plants: 1. A technique for the remote detection of plant stress and species differentiation, *Applied Optics*, 23(1), p.134–138.
6. **Daughtry, C.S.T., Hunt, E.R., McMurtrey, J.E., 2004** Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. *Remote Sens. Environ.* 90, p. 126-134
7. **Garbulsky M., Penuelas J., Gamon J., Inoue Y., Fillela I. 2011** The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies. A review and meta-analysis. *Remote Sensing of environment* 115, p. 281-297.
8. **Gitelson A., Keydan G., Merzlyak M. 2006** Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters*, p. 33
9. **Heim R., Jurgens N., Grose-Stolenberg, A Oldeland J. 2015** The effect of Epidermal structures of leaf spectral signatures of ice plants(Aizoaceae). *Remote Sens.* 2015 (7), p. 16901-16914.
10. **Jacquemoud S., Frederic B. 1990** Prospect: A Model Leaf Optical Properties Spectra *Remote Sens Environment* 34, p. 75-91
11. **Knyazikhin Y., Schull M., Stenberg P., Mottus M., Rautiainen M., Yang Y. 2012** Hyperspectral remote sensing of foliar nitrogen content. *Proceeding of the National. Academy of sciences.*

12. **Kokaly R.F., Asner G.P., Olinger S.V., Martin M.E., Wassman C.A., 2009.** Characterizing canopy biochemistry from imaging spectroscopy and its application to ecosystem studies. *Remote Sens. Environ*, p. 113 78-91.
13. **Nagler, P.L., C.S.T. Daughtry, and S.N. Goward, 2000.** Plant litter and soil reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 71, p. 207–215.
14. **Paul J. Pinter, Jr., Jerry L. Hatfield, James S. Schepers, Edward M. Barnes, M. Susan Moran, Craig S.T. Daughtry, and Dan R. Upchurch 2014.** Remote Sensing for Crop Management *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 69(6),p. 647–664.
15. **Price, J.C., 1990.** On the information-content of soil reflectance spectra, *Remote Sensing of Environment*, 33(2), p.113–121.
16. **Slaton, M.R., E.R. Hunt, and W.K. Smith, 2001.** Estimating nearinfrared leaf reflectance from leaf structural characteristics, *American Journal of Botany*, 88(2), p.278–284.
17. **Ustin S.L., Gamon J. 2010** Remote sensing of plant functional types. *New Phytol.* 186 (4), p. 795-816.
18. **Zhang Y., Chen J., Miller, Noland T., 2008** Leaf chlorophyll content retrieval from airborne hyperspectral remote sensing imagery. *Remote sensing of Environment* 112, p. 3234-3247.
19. **Zhao K., Popescu S. 2013** Hyperspectral remote sensing of plant biochemistry using Bayesian model averaging with variable and band. *Remote Sensing of Environment*

Santrauka lietuvių kalba

Šiame darbe aptariamos spektinės augalų ir su jų kartografavimų susijusių aplinkos veiksnių savybės, dėl kurių nuotolinis augalų rodiklių kartografavimas tampa patrauklia niša perimtį brangiai kainuojančių lauko ir laboratorinių tyrimų dalį. Pigiausias ir lengviausiai prieinamas duomenų šaltinis nuotoliniams tyrimams yra palydoviniai duomenys, jų tikslumo pakanka atlikti apytikslę fizikinių ir biocheminių rodiklių analizę ir priimti sprendimą dėl tolimesnių veiksnių.

Praktiniam palyginimui buvo pasirinkti: „trikampinis chlorofilo indeksas“ ir „augalijos chlorofilo indeksas“, o jų palyginimui: antrasis chlorofilo absorbcijos indeksas ir normalizuotas augalijos indeksas. Taip pat naudoti ortofoto žemėlapiai reljefo ir objektų identifikavimui. Duomenų apdorojimui buvo naudojamos sentinel-2A ir spot-4 sensorių nuotraukos. Sentinel-2A duomenys atnaujinti 2018 gegužės mėn., o spot-4 2008 birželio mėn. Abiejų palydovų nuotraukų centrai yra į rytus nuo Marijampolės 20-25km. Rezultatai parodė, kad naudojant šiuos indeksus galėtų būti patogiau atlikti preliminarinius dirvožemio derlingumo žemėlapius. Taip pat nustatyti santykinę chlorofilo koncentraciją teritorijoje

Santrauka anglų kalba

This master thesis paper is analyzing various plants biochemical parameters remote sensing implementation techniques. After literature analysis in order to obtain reliable information about few most promising methods, they were practically implemented. As a result, triangular chlorophyll index and chlorophyll vegetation index were chosen. For this analysis, we used ArcGIS software, Sentinel-2A and Spot-4 sensors. Data were collected 2008-06 and 2018-05 about 25 km to the east from Marijampole. For objects identification, orthophoto satellite pictures were used. Remote chlorophyll estimation methods closely related to greens and leafs methods that is why two widely used methods: Normalized difference vegetation index and Modified Triangular Vegetation Index were compared to our chlorophyll models.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO VERTINIMO LAPAS

Darbo autorius:

(vardas, pavardė)

(parašas)

Mokslinis darbo vadovas:

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

Recenzentas:

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

Kartografijos centro

vedėjas:

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

Darbo gynimo data:

Darbo įvertinimas:

(balas skaičiumi, balas raštu)

Baigiamųjų darbų gynimo

komisijos pirmininkas:

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

Baigiamųjų darbų gynimo

komisijos sekretorius:

(vardas, pavardė)

(parašas)