

GUSTĖ METRIKAITYTĖ



**ŽEMĖS DANGOS POKYČIŲ SKAITMENINIO
KARTOGRAFAVIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS, NAUDOJANT
SAR IR MULTISPEKTRINIŲ PALYDOVINIŲ VAIZDŲ
SINTEZĘ**

Magistro darbas

KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA

2020



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA**

Gustė Metrikaitytė

Kartografijos magistro studijų programos baigiamasis darbas

**„ŽEMĖS DANGOS POKYČIŲ SKAITMENINIO
KARTOGRAFAVIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS, NAUDOJANT
SAR IR MULTISPEKTRINIŲ PALYDOVINIŲ VAIZDŲ SINTEZĘ“**

Darbo vadovas
dr. Kęstutis Papšys

(leidimas ginti, data, parašas)

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Vilnius, 2020



**VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
INSTITUTE OF GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS**

Gustė Metrikaitytė

Master's degree of cartography programme
Master thesis

**RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF DIGITAL MAPPING OF
THE LAND COVER CHANGES USING THE FUSION OF SAR
AND MULTISPECTRAL SATELLITE DATA**

Scientific adviser
dr. Kęstutis Papšys

(permission to defend, date, signature)

Date of submission _____
Registration No. _____

Vilnius, 2020

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS.....	9
1. LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ ANALIZĖ.....	12
1.1. SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezės taikymo tyrimai užsienio šalyse ir Lietuvoje.....	12
1.2. SAR ir multispektrinių duomenų šaltinių analizė.....	16
1.3. Žemės dangos klasifikacijų apžvalga	22
1.4. Klasifikavimo metodų apžvalga	27
2. DARBO METODOLOGIJA	34
2.1. Darbo rengimo metodika ir žemės dangos kartografavimo metodai.....	34
2.2. Tyrimo objektas ir apimtis.....	36
2.3. Tyrimui naudojami duomenys	36
2.3.1. Sentinel-1 palydovų duomenys.....	37
2.3.2. Sentinel-2 palydovų duomenys.....	38
2.4. Tyrime taikomos žemės dangos klasės.....	39
2.5. Tyrimui naudota programinė įranga	40
2.6. SAR ir multispektrinių vaizdų apdorojimo metodai.....	40
2.6.1. SAR duomenų apdorojimo metodai	41
2.6.2. Multispektrinių vaizdų apdorojimo metodai	45
2.7. SAR ir multispektrinių vaizdų sintezės, klasifikavimo ir pokyčių identifikavimo metodai	45
3. TYRIMO REZULTATAI.....	60
3.1. Žemės dangos pokyčių kartografavimas	60
3.2. Pokyčių analizė	63
3.3. Tolimesnių tyrimų galimybės	75

IŠVADOS.....	76
LITERATŪROS SAĶAŠAS.....	77
SANTRAUKA	84
SUMMARY	86
PRIEDAI	88

Metrikaitytė G. Žemės dangos pokyčių skaitmeninio kartografavimo galimybių tyrimas, naudojant SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę. Magistro darbas. Vilnius: VU. 2020.

Anotacija. Magistro baigiamojo darbo tikslas – paruošti žemės dangos pokyčių identifikavimo metodiką, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę. Šiam tikslui įgyvendinti išsikelti keturi uždaviniai: apžvelgti žemės dangos klasifikavimo metodikas, pritaikyti jas Lietuvos teritorijai ir išskirti žemės dangos klases, naudojamas darbo tyrime; apžvelgti žemės dangos pokyčių identifikavimo ir skaitmeninio kartografavimo, naudojant radaro ir multispektrinius palydovinius vaizdus metodikas, paruošti metodiką, kuri bus naudojama darbo tyrime; atlikti žemės dangos klasifikavimą, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, remiantis paruošta metodika; atlikti žemės dangos pokyčių skaitmeninį kartografavimą, remiantis paruošta metodika. Darbe naudojami Sentinel-1 palydovo sintetinės apertūros radaro ir Sentinel-2 palydovo multispektriniai palydoviniai vaizdai, paruošta metodika, kaip naudojant šiuos duomenis, atlikti jų sintezę, žemės dangos klasifikavimą ir jos pokyčių identifikavimą.

Tekstas 82 puslapiai, 1 priedas, 33 paveikslai, 12 lentelių, 87 informacijos šaltiniai. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Reikšminiai žodžiai: duomenų sintezė, Sentinel-1, Sentinel-2, SAR, MSI, žemės dangos pokyčiai.

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

ANN	dirbtinis neuronų tinklo metodas (angl. <i>Artificial Neural Networks</i>).
CA	debesys ir aerozoliai (angl. <i>Clouds and Aerosols</i>).
CORINE	Europos Sąjungos projektas, kuriame vykdomas informacijos apie aplinką koordinavimas (angl. <i>Coordination of Information on the Environment</i>).
CLC	CORINE žemės dangos (angl. <i>Corine Land Cover</i>).
EKA	Europos kosmoso agentūra (angl. <i>European Space Agency</i>).
EW	labai plataus skenavimo režimas (angl. <i>Extra Wide Swath Mode</i>).
FAO	Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacija (angl. <i>The Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>).
GRD	žemės paviršiaus (angl. <i>Ground Range Detected</i>).
HH	horizontalaus perdavimo - horizontalaus priėmimo poliarizacija (angl. <i>Horizontal Transmit - Horizontal Receive</i>).
HH+HV	horizontalaus perdavimo - horizontalaus priėmimo, horizontalaus perdavimo - vertikalios priėmimo poliarizacija (angl. <i>Horizontal Transmit - Horizontal Receive, Horizontal Transmit - Vertical Receive</i>).
IW	interferometrinis plataus skenavimo režimas (angl. <i>Interferometric Wide Swath Mode</i>).
k-NN	k artimiausio kaimyno metodas (angl. <i>k-Nearest Neighbour</i>).
L0	0 lygio SAR vaizdai (angl. <i>Level-0</i>).
L1	1 lygio SAR vaizdai.
L1A	1A lygio multispektriniai vaizdai.
L1B	1B lygio multispektriniai vaizdai.
L2	2 lygio SAR vaizdai.
L2A	2A lygio multispektriniai vaizdai.
LAI	lapų ploto indeksas (angl. <i>Leaf Area Index</i>).
LCCS	žemės dangos klasifikacijos sistema (angl. <i>Land Cover Classification System</i>).
LiDAR	šviesos nustatymo ir atstumo matavimo sistemos santrumpa (angl. <i>Light Detection And Ranging</i>).
LUCAS	projektas, kuriame vykdomas žemės dangos ir aplinkosaugos rodiklių kontrolė (angl. <i>Land Use/Cover Area Frame Survey</i>).
MIR	vidutinio ilgio infraraudonieji spinduliai (angl. <i>Medium Infrared</i>).

MLC	didžiausio tikėtimumo klasifikavimas (angl. <i>Maximum Likelihood Classification</i>).
MSI	(angl. <i>Multi-spectral Instrument</i>).
NDVI	normalizuoto skirtumo augalijos indeksas (angl. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>).
NIR	artimieji infraraudonieji spinduliai (angl. <i>Near Infrared</i>).
NIRn	siaurieji infraraudonieji spinduliai (angl. <i>Near Infrared narrow</i>).
NN	artimiausio kaimyno metodas (angl. <i>Nearest Neighbour</i>).
PCA	pagrindinių komponentų analizės metodas (angl. <i>Principal Component Analysis</i>).
RF	atsitiktinio miško metodas (angl. <i>Random Forest</i>).
RGB	matomo spektro spinduliai (angl. <i>RedGreenBlue</i>).
S-1	Sentinel-1 palydovas.
S-2	Sentinel-2 palydovas.
SAGRIS	Sentinel pagrindu sukurtas žemės ūkio informacijos servisas (angl. <i>Sentinel-based Agriculture Information Service Component</i>).
SAR	sintetinės apertūros radaras (angl. <i>Synthetic Aperture Radar</i>).
SLC	Stebėjimo ruožų kompozicija (angl. <i>Single Look Complex</i>).
SM	siaurų juostelių skenavimo režimas (angl. <i>Strip Map Mode</i>).
SNAP	Sentinel programinė įranga (angl. <i>Sentinel Application Platform</i>).
SVM	atramos vektorių mašinos – mašininio mokymo metodas (angl. <i>Support Vector Machine</i>).
SWIR	trumpieji infraraudonieji spinduliai (angl. <i>Short wave Infrared</i>).
TIR	šiluminiai infraraudonieji spinduliai (angl. <i>Thermal Infrared</i>).
VNIR	matomas ir artimas infraraudonasis spektrai (angl. <i>Visible and Near-Infrared</i>).
VV	vertikalaus perdavimo - vertikalaus priėmimo poliarizacija (angl. <i>Vertical Transmit - Vertical Receive</i>).
VV+VH	vertikalaus perdavimo - vertikalaus priėmimo, vertikalaus perdavimo-horizontalaus priėmimo poliarizacija (angl. <i>Vertical Transmit - Vertical Receive, Vertical Transmit-Horizontal Receive</i>).
WM	vienos bangos skenavimo režimas (angl. <i>Wave mode</i>).
WV	Vandens garų spektro juosta (angl. <i>Water Vapor</i>).

IVADAS

Žemės danga geografijos moksle tam tikru pažiūriu, t. y. aplinkos apsaugos, kraštovaizdžio morfologijos ir funkcionavimo, ekonominiu ir socialiniu, laikoma svarbiu tyrimo objektu (Veteikis ir Piškinaitė, 2019). Žemės danga nuolatos kinta ir tam turi įtakos tiek ekonominiai, tiek politiniai, tiek kultūriniai bei kiti visuomenės veiksniai (Hartvigsen, 2014). Atliekant ilgalaikius žemės dangos stebėjimus, galima įvertinti veiksnius, kurie daro įtaką kraštovaizdžiui, įvertinti jų mastą, taip pat prognozuoti kraštovaizdžio kaitos tendencijas, atpažinti raidos dėsningumus, užkirsti kelią destruktiniams procesams (Ribokas, 2011), įvertinti gamtos ar žmogaus padarytą žalą kraštovaizdžiui, todėl ilgalaikiai žemės dangos pokyčių stebėjimai yra aktuali tema, tačiau tuo pačiu ir problema, norint tai padaryti, kuo mažesniais resursais ir gauti, kuo efektyvesnę procesą. Žiūrint iš istorinės pusės, nesunku pastebėti, kad žemės dangos pokyčiams daugiausia įtakos turėjo žmogaus veikla ir šiai dienai dažnai akcentuojama, kad labai svarbu žinoti, kaip laikui bėgant pasikeitė žemės danga, kad būtų galima įvertinti ne tik jau įvykusius pokyčius, bet tuo pačiu ir įvertinti, kokių pokyčių galime tikėtis artimiausioje ateityje, kokią poveikį tai turės žmonių gyvenimui. Žemės dangos pokyčių stebėjimas darosi vis paprastesnis pradėjus naudoti nuotoliniuose tyrimuose įvairius atviros prieigos palydovinius vaizdus.

Problema: atlikti žemės dangos klasifikavimą ir identifikuoti jos pokyčius užima nemažai laiko ir finansinių resursų, todėl šis procesas taptų greitesnis ir kur kas pigesnis, naudojant nemokamus ir viešai prieinamus duomenis, atviro kodo programinę įrangą ir automatizuotus procesus.

Darbo tikslas: sudaryti žemės dangos pokyčių identifikavimo metodiką, naudojant radarinių ir optinių palydovinių vaizdų sintezę.

Darbo uždaviniai:

1. apžvelgti žemės dangos klasifikavimo metodikas, pritaikyti jas Lietuvos teritorijai ir išskirti žemės dangos klases, naudojamas darbo tyrime;
2. apžvelgti žemės dangos pokyčių identifikavimo ir skaitmeninio kartografavimo, naudojant radaro ir multispektrinius palydovinius vaizdus, metodikas, paruošti bendrą optimizuotą metodiką, kuri bus taikoma darbo tyrime;
3. atlikti žemės dangos klasifikavimą, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, remiantis paruošta metodika;
4. atlikti žemės dangos pokyčių skaitmeninį kartografavimą, remiantis paruošta metodika.

Tyrimo objektas: paremti SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sinteze žemės dangos pokyčių identifikavimo metodai ir jų taikymo galimybės Lietuvoje.

Aktualumas: paprastai žemės dangos identifikavimas ir klasifikavimas, remiantis nuotoliniais tyrimais, reikalauja daug rankinio žmonių darbo, nemažai finansinių išteklių, brangios programinės įrangos ir laiko. Nors tokie darbai jau pradėti vykdyti dar XX amžiaus devintame-dešimtame dešimtmečiuose, tačiau lyg šiol procesai paprastai vykdomi netaikant automatizuotų procesų. Todėl šiame darbe orientuojamasi į greitesnį ir pigesnį žemės dangos klasių identifikavimą ir klasių išskyrimą. Taip pat domintis šia sritimi pastebėta, kad Lietuvoje šioje srityje nėra publikuota daug mokslinių tyrimų, o ypač kuriuose būtų tyrinėjamas kombinuotų palydovinių vaizdų taikymas įvairioms problemoms (pavyzdžiui, kenkėjų pažeistų miškų plotų identifikavimui, kraštovaizdžio objektų pokyčių stebėjimui, žemės dangos pokyčių identifikavimui ir pan.) spręsti. Taigi šiuo darbu bus prisidėta prie šios tematikos plėtojimo Lietuvoje.

Naujumas (šiuolaikiškumas): darbe naudojami atviros prieigos palydoviniai vaizdai iš Sentinel-1 ir Sentinel-2 palydovų, kurie kombinuojami išskiriant žemės dangos klases. Tyrimas atliekamas automatizuojant radarinių ir optinių vaizdų apdorojimo procesus, taip pat ir žemės dangos klasių identifikavimo, bei jų pokyčių išskyrimo ir skaičiavimo procesus. Darbe taikoma dviejų skirtingų duomenų tipų sintezė, kuri lyg šiol nėra labai plačiai nagrinėta tiek Lietuvoje, tiek užsienyje.

Pritaikomumas: automatizuoti procesai žemės dangos identifikavimui, klasių išskyrimui ir jos pokyčių skaičiavimams, taikant radarinių ir optinių palydovinių vaizdų sintezę, suteikia galimybę gauti tikslesnius rezultatus lyginant su tyrimais, kai naudojami tik vieno tipo duomenys, taip pat leidžia sutaupyti laiko, žmogiškųjų ir finansinių išteklių rezultatui pasiekti. Tuo pačiu galutinio produkto atnaujinimas tampa paprastesnis, o jame pateikiama informacija labiau atspindi esamą situaciją, kas lemia didesnes analizes galimybes ir produkto pritaikymą tolimesniems tyrimams atlikti.

Darbo sudėtis: įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros ir šaltinių sąrašas, priedai bei santrauka lietuvių ir anglų kalbomis. Pirmoje darbo dalyje atlikta radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezės taikymo galimybės žemės dangos tyrimuose apžvalga, nagrinėti vykdyti panašūs darbai užsienyje ir Lietuvoje. Taip pat apžvelgtos pasaulinės, europinės bei lokalinės žemės dangos klasifikacijos, išskirtos pagrindinės klasės, kurios toliau naudojamos darbo tyrime. Atlikta žemės dangos klasifikavimo metodų palyginamoji apžvalga. Antroje dalyje pateikta darbo metodika, t. y. aptariamas tyrimo objektas, naudojami duomenys žemės dangos klasifikavimui, aprašyti darbo metu taikyti metodai ir technikos, atliekant radaro ir multispektrinių duomenų apdorojimą, jų apjungimą bei analizę, taip pat pateiktos ir metodikos, taikytos žemės dangos pokyčių identifikavimui. Trečioje dalyje pateikiama žemės dangos pokyčių identifikavimo, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, metodika, aptariami tyrimo metu gauti žemės dangos pokyčių

identifikavimo metodikos taikymo rezultatai pasirinktoje teritorijoje bei tyrimo metu sudarytas žemėlapis.

Padėka: Darbo autorė nuoširdžiai dėkoja darbo moksliniam vadovui Kęstučiui Papšiui už suteiktas žinias, konsultacijas, pagalbą, palaikymą bei kantrybę, ruošiant magistro baigiamąjį darbą, kurio metu nuolat skatino tobulėti ir nesustoti siekti bei užsibrėžti naujų tikslų. Taip pat autorė skiria padėką ir VU Kartografijos ir geoinformatikos katedros dėstytojams už magistro studijų metų suteiktas neįkainojamas žinias, patarimus ir profesinę patirtį.

1. LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ ANALIZĖ

Žemė ir dirvožemis yra riboti neatsenaujantys ištekliai, kurie laikui bėgant nyksta. Šis procesas ypač greitėja, kai vykdomos intensyvios įvairios žmonių veiklos dėl kurių kyla pavojus gamtiniam ir archeologiniam žemės paveldui, taip pat ir bendrų žemės išteklių funkcionalumui bei funkcijų teikimui. Žinoma, prie tokio nykimo prisideda ne tik vykdoma žmogaus veikla, bet ir dirvožemio erozija, dirvožemio organinių medžiagų kiekio mažėjimas, dirvožemio užterštumas ir sandarinimas, tačiau žmonių veikla, kaip: žemės užstatymas, intensyvus žemės naudojimas ir žemės apleidimas šiuos procesus tik pagreitina (Louwagie, 2015). Žemės danga geografijos moksle tam tikru pažiūriu, t. y. aplinkos apsaugos, kraštovaizdžio morfologijos ir funkcionavimo, ekonominiu ir socialiniu, laikoma svarbiu tyrimo objektu (Veteikis ir Piškinaitė, 2019). Pačią sąvoką „žemės danga“ įvairūs autoriai ir tarptautinės organizacijos apibūdina labai panašiai ir teigia, kad tai yra Žemės paviršiaus (bio)fizinis padengimas, įskaitant pievas, miškus, dirbtinę dangą, vandenį ir pan. (European Environment Agency, 2019; Comber et al., 2005; Gregorio, 2016). Žemės danga nuolat kinta ir tam turi įtakos tiek ekonominiai, tiek politiniai, tiek ir kultūriniai bei kiti visuomenės veiksniai (Hartvigsen, 2014). Atliekant ilgalaikius žemės dangos stebėjimus, galima įvertinti veiksnius, kurie daro įtaką kraštovaizdžiui, įvertinti jų mastą, prognozuoti kraštovaizdžio kaitos tendencijas, atpažinti raidos dėsningumus, užkirsti kelią destruktiviniams procesams (Ribokas, 2011), įvertinti gamtos ar žmogaus padarytą žalą kraštovaizdžiui, todėl ilgalaikiai žemės dangos pokyčių stebėjimai yra aktuali tema, tačiau tuo pačiu ir problema, norint tai padaryti, kuo mažesniais resursais ir gauti, kuo efektyvesnį procesą. Žiūrint iš istorinės-laiko pusės, nesunku pastebėti, kad žemės dangos pokyčiams daugiausia įtakos turėjo žmogaus veikla ir šiai dienai dažnai akcentuojama, kad labai svarbu žinoti, kaip laikui bėgant pasikeitė žemės danga, kad būtų galima įvertinti ne tik jau įvykusius pokyčius, bet tuo pačiu ir įvertinti, kokių pokyčių galime tikėtis artimiausioje ateityje, kokį poveikį tai turės žmonių gyvenimui. Pagrindiniai žemės naudotojai yra žmonės, todėl jiems svarbu, kad bet kokia sistema būtų orientuota į juos (Di Gregorio et al., 2000). Šiai dienai žemės dangos pokyčių stebėjimas darosi vis paprastesni atsiradus nuotoliniams tyrimams, o tiksliau įvairiems palydoviniams vaizdams.

1.1. SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezės taikymo tyrimai užsienio šalyse ir Lietuvoje

Įvairių nuotolinių tyrimų duomenys, kaip panchromatiniai, multispektriniai, hyperspektriniai, sintetinės apertūros radaro (toliau – SAR) vaizdai, padengiantys skirtingas elektromagnetinio spektro dalis, yra gaunami iš skirtingų žemės stebėjimo palydovų. Šie duomenys gali būti apdorojami ir naudojami įvairiems uždaviniams spręsti, tačiau dažnu atveju, naudojant tik

vienos rūšies vaizdus, gaunamas rezultatas gali būti nepakankamas uždaviniui išspręsti. Todėl norint išsamiau suprasti stebimą ir analizuojamą žemės paviršių, gauti daugiau informacijos apie stebimą objektą, skirtingų duomenų rūšių sintezė tampa puikiu sprendimu. Skirtingų vaizdų sintezė leidžia integruoti informaciją, surinktą iš skirtingų vaizdo jutiklių, kurie dažniausiai yra skirtingų erdviųjų, spektrinių, radiometrinių ir laiko skiriamųjų gebų (Pandit ir Bhiwani, 2015).

Mokslinėje literatūroje galima rasti įvairių tyrimų apie skirtingų duomenų sintezę, pavyzdžiui Gemine Vivone su bendraautoriais (2015) analizavo multispektrinių ir panchromatinių vaizdų sintezę, Miguel Simoes su bendraautoriais (2015) analizavo hyperspektrinių ir multispektrinių vaizdų sintezės problemą, o Claudia Paris kartu su Lorenzo Bruzzone (2015) tyrė LiDAR ir aukštos rezoliucijos optinių vaizdų sintezės taikymo galimybes medžių aukščiams nustatyti. Tačiau, šiame darbe fokusuojamasi į SAR ir multispektrinių (toliau – MSI) palydovinių vaizdų sintezę.

Nuotoliniuose tyrimuose labai plačiai taikomi atskirai tiek ir SAR, tiek ir MSI vaizdai, tačiau akcentuojama, kad gamtiniams ir antropologiniams objektams bei reiškiniams analizuoti, taikant abiejų duomenų tipų sintezės metodus, gaunamas patikimesnis rezultatas. Jų pritaikymas pakankamai platus – žemės nuošliaužų aptikimams, žemės paviršių erozijos pokyčio žemėlapių sudarymams, pasėlių žemėlapių sudarymams ir pan. bei, žinoma, ir žemės dangos žemėlapių sudarymams (Khan *et al.*, 2020). Apie SAR ir MSI vaizdų sintezės metodus yra rašęs ne vienas užsienio mokslininkas (Shah *et al.* 2019; Khan *et al.* 2020; Sun *et al.* 2019; Kussul *et al.* 2013; Kussul *et al.* 2013; Denize *et al.* 2019; Mercier *et al.* 2019; Clerici *et al.* 2017; Liu *et al.* 2018; Liu *et al.* 2018; Haas *et al.* 2017; Bioresita *et al.* 2019; Fernandez-Beltran *et al.* 2018; S. Gerrells 2018), tačiau jų taikomi metodai kažkiek skiriasi.

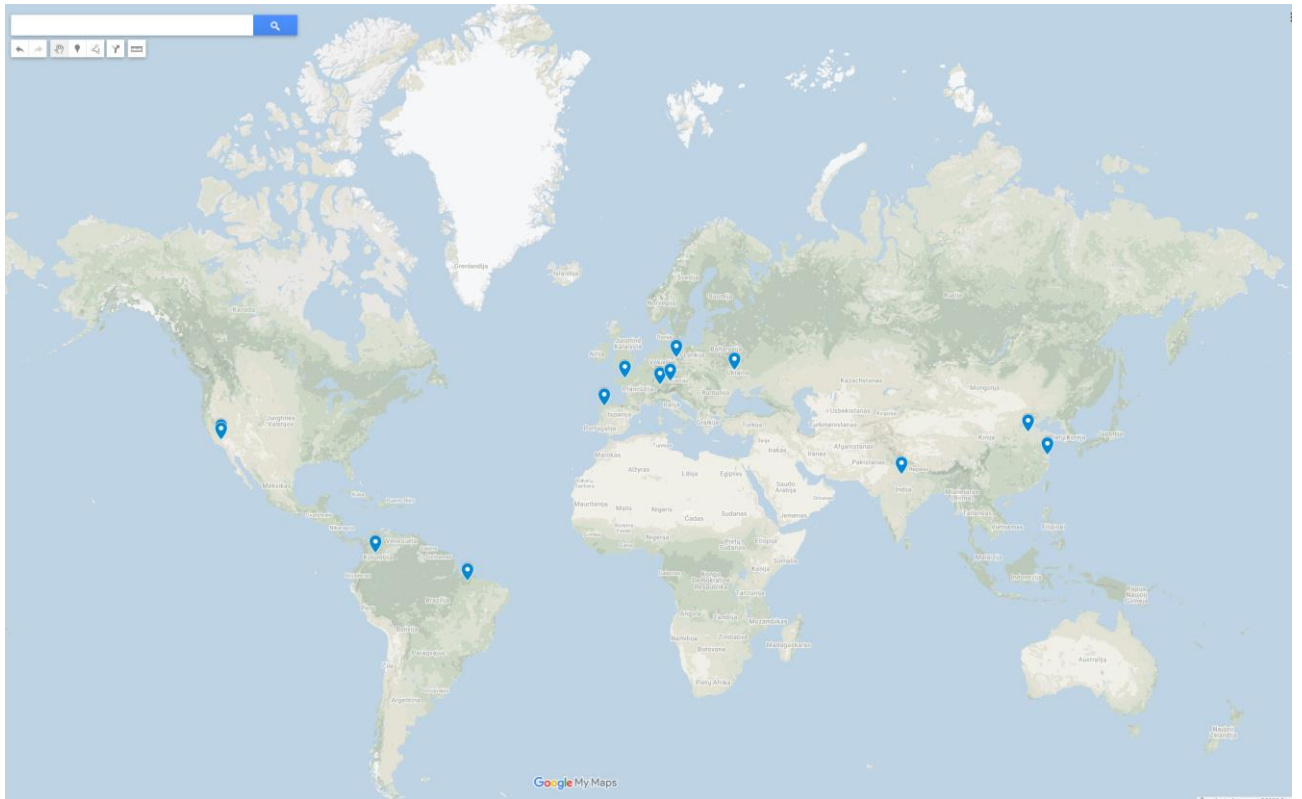
Iš publikuojamų mokslinių straipsnių, matyti, kad skirtingų palydovinių vaizdų sintezės taikymo tyrimuose atvejų padaugėjo prasidėjus Sentinel palydovų misijoms. Tačiau yra ir anksčiau atliktų tyrimų, taikant įvairių SAR ir MSI palydovų vaizdus. Vienas iš tokių pavyzdžių yra N. Kussul ir bendraautorių (2013) atliktas tyrimas, kurio metu, naudojant EO-1 ir RADARSAT-2 palydovinių vaizdų sintezę, buvo klasifikuojama augalija. Savo tyrime jie išskyrė keturias klases: kukurūzai, sojų pupelės, saulėgražos ir žieminiai/vasariniai kviečiai. Jų rezultate pateikta, kad taikant duomenų sintezę gautas rezultatas yra 2,5% tikslesnis lyginant su rezultatu, kur buvo taikomi tik SAR vaizdai ir 6,6% tikslesnis nei taikant tik optinius vaizdus.

Nicola Clerici su kolegomis (2017) savo tyrime naudojo Sentinel-1 (toliau – S-1) ir Sentinel-2 (toliau – S-2) palydovų vaizdus. Tyrimo tikslas buvo atlikti žemės dangų klasifikavimo tikslumo tyrimą, taikant skirtingus algoritmus, klasifikuojant atskirai SAR ir MSI vaizdus, bei jų sintezę. Jie išskyrė 6 žemės dangos klases: miškai, vandenys, pasėliai, ganyklos, urbanizuotos teritorijos ir krūmynai. Jų rezultatas rodo, kad nepriklausomai nuo taikyto algoritmo, naudojant vaizdų sintezę,

gaunamas tikslesnis rezultatas. Jie naudodami atsitiktinių miškų algoritmą gavo 58% tikslesnį rezultatą nei taikant vien tik SAR vaizdus žemės dangos klasifikavimui ir 16% tikslesnį nei naudojant tik optinius vaizdus.

Tuos pačius pradinis duomenis naudojo ir kiti autoriai, tai pavyzdžiui iš Julien Denize ir kt. (2019) atlikto tyrimo matyti, kad taikant SAR ir MSI duomenų sintezę gautas rezultatas yra 21% tikslesnis nei naudojant tik SAR vaizdus ir 7% tikslesni nei naudojant tik MSI optinius vaizdus. Audrey Mercier su bendraautoriais taip pat gavo geresnius rezultatus, taikant vaizdų sintezę, kurie yra 20% tikslesni, nei naudojant vien tik SAR duomenis ir 5% tikslesni lyginant su rezultatais gautais, naudojant tik optinius vaizdus. Labai panašų rezultatą gavo ir Armugha Khan, Himanshu Govil, Gaurav Kumar ir Rucha Dave (2020), kurie naudojant S-1 ir S-2 palydovinių vaizdų sintezę išskyrė 5 žemės dangos klases – vandenys, urbanizuotos teritorijos, daubos, nederlinga žemė ir pasėliai. Jų rezultatas yra 25% tikslesnis taikant vaizdų sintezę nei vien tik SAR duomenis ir 5% tikslesnis, lyginant su gautu rezultatu, naudojant tik optinius vaizdus.

Iš atliktos apžvalgos matyti, kad taikant vaizdų sintezę gaunami tikslesni rezultatai, tačiau procentinė tikslumo išraiška kinta ir kai kuriais atvejais pakankamai stipriai. Tam įtakos gali turėti naudojami palydoviniai vaizdai, išskiriamos skirtingos žemės dangos klasės, naudojami skirtingi klasifikavimo algoritmai. Taip pat labai svarbu atkreipti dėmesį ir į tai, kad analizuotuose straipsniuose tyrimai atliekami įvairių plotų teritorijoms, kurios yra skirtingose geografinėse vietovėse (1 pav.), todėl tai gali būti taip pat priežastis, kodėl skirtingų mokslininkų gauti rezultatai taip skiriasi.



1 pav. Straipsniuose analizuotų teritorijų geografinis pasiskirstymas

Užsienio literatūroje vis daugiau galima rasti mokslinių straipsnių, kuriuose analizuojamas SAR ir MSI palydovinių vaizdų apjungimas bei tokių vaizdų taikymas žemės dangos klasifikavimui, tačiau Lietuvoje tokia praktika kažkodėl vis dar nėra taikoma arba bent jau apie ją niekas nesidalina mokslinėje literatūroje. Tačiau galima rasti straipsnių, kuriuose aprašomi tyrimai, taikant optinius vaizdus žemės dangos klasifikavimui (Milieškaitė ir Vaitkus, 2011). Autoriai šiuo darbu siekė atlikti automatinį kosminio vaizdo mažiausių elementų sugrupavimą į numatytas žemės dangos klases ir nustatyti, kokią įtaką kontroliuojamosios klasifikacijos tikslumui turi kosminio vaizdo rastrinė segmentacija ir įvairūs jo parametrai. Jie savo darbe išskyrė 9 žemės dangos klases: pelkės, lapuočių miškai, vanduo, krūmai, durpynai, spygliuočių miškai, pievos, apleisti laukai, paviršius be augalijos. Iš gauto rezultato matyti, kad geriausiai buvo identifikuotos trys klasės, tai yra vandenys durpynai bei spygliuočių miškų plotai. Išvadose autoriai teigia, kad įvertinant tikslumą, reikia atlikti lauko tyrimus, tačiau visiškai nesvarsto apie tyrimų patobulinimą, taikant ir kombinuojant skirtingus duomenų tipus.

Žinoma, svarbu paminėti tai, kad žemės dangos tyrimai, taikant įvairius palydovinius vaizdus, tampa vis populiarsnė tema studentų baigiamuosiuose darbuose. Tačiau, be studentų atliekamų darbų, Lietuvoje, žemės dangos tyrimuose, palydoviniai vaizdai daugiausia yra naudojami komerciniuose projektuose. Viena iš jų yra Nacionalinės žemės tarnybos projektas, kurio metu, naudojant S-2 palydovinius vaizdus buvo sukurta paslauga, kurioje gyventojai gali matyti savo

deklaruotų laukų augmenijos sodrumo, augalų streso, natūralius bei infraraudonojo spektro duomenis (Nacionalinė mokėjimo agentūra, 2020).

Kitas panašaus principo vykdytas projektas buvo InCULT, kurio tikslas yra didinti Copernicus duomenų panaudojimą, integruojant juos į Lietuvos erdvinių duomenų infrastruktūrą (angl. *Increasing Copernicus data Usability by integrating it with Lithuania*). Šiame projekte taip pat buvo naudojami S-2 duomenys, kurie nuolatos automatiškai atnaujinami, apdorojami ir sukuriami trys aktualūs teminiai žemėlapiai – natūralaus spektro, artimojo infraraudonojo spektro ir normalizuotos augmenijos skirtumo žemėlapiai (Antanavičiūtė ir Marma, 2018).

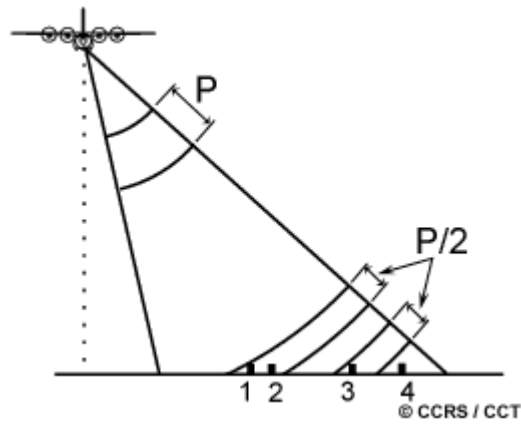
Taip pat galima rasti darbų pavyzdžių, kuriuose taikomi ir SAR palydoviniai vaizdai žemės dangos tyrimams, tačiau konkrečių metodikų, kaip buvo gaunami rezultatai autorius nepateikia (Vaitkus, 2016). UAB „Geomatrix“ įmonė atlieka nemažai darbų su palydoviniai vaizdais, vienas iš jų yra SAGRIS (angl. *Sentinel-based Agriculture Information Service Component*) projektas, kurio metu buvo sukurti automatizuoti palydovinių vaizdų apdorojimo, didelių duomenų analizės procesai skirti nuolatiniam dirbamų žemės sklypų monitoringui atlikti. Šiame projekte naudojami S-1 ir S-2 duomenų sintezė (UAB „GEOMATRIX“, 2018), bet kaip būdinga komerciniam projektui – pateikiami rezultatai, tačiau ne metodikos, kaip jis buvo įgyvendintas.

1.2. SAR ir multispektrinių duomenų šaltinių analizė

Sintezuotos apertūros radaro duomenys tampa vis populiariesni, daugėja jų panaudos sričių, tad nagrinėjant mokslinę literatūrą, galima rasti nemažai SAR palydovinių vaizdų taikymo pavyzdžių įvairiems gamtiniams ir antropologiniams objektams bei reiškiniams stebėti, kaip pavyzdžiui: žemės drebėjimams (Mora *et al.* 2016), išdegusiems plotams kartografuoti (Belenguer-Plomer *et al.* 2019), pelkėms (Chen *et al.* 2020), nuošliaužoms (Solari *et al.* 2019), naftos išsiliejimams stebėti (Chaturvedi, Banerjee ir Lele, 2019), žemės dangos klasių identifikavimui atlikti (Serco Italia SPA 2018; Iurist *et al.* 2017; Jurikovska Orliková *et al.* 2019; Abdikan *et al.* 2016) ir t.t.

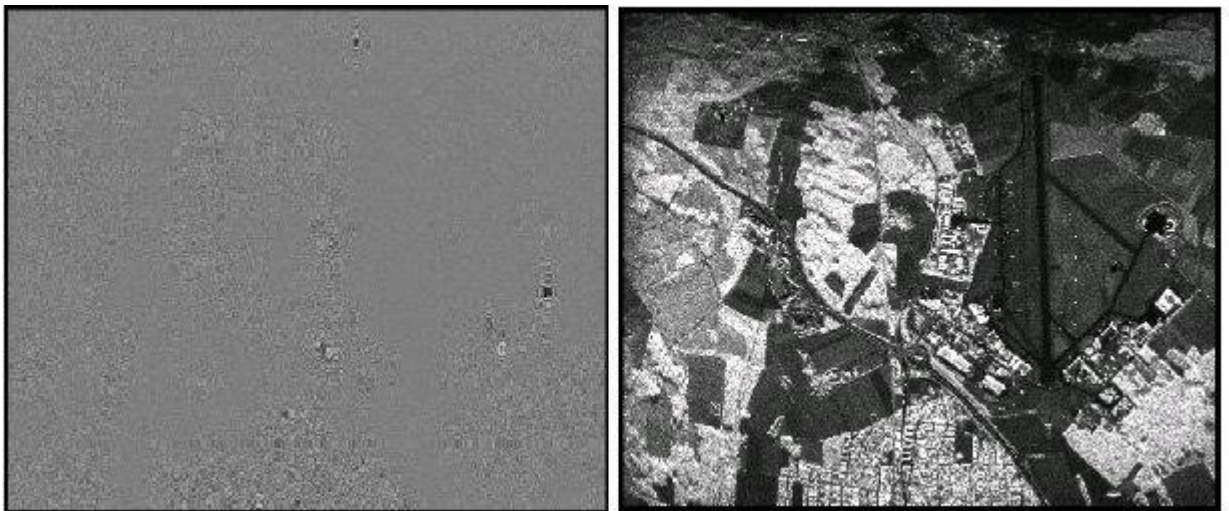
SAR vaizdai yra priskiriami aktyviesiems nuotoliniams tyrimams, kai informacija apie tiriamąjį objektą yra gaunama išspinduliuojant elektromagnetinio spindulio impulsą ir registruojant sugrįžusį atgal to paties impulso atspindį nuo tiriamojo objekto. Kadangi elektromagnetiniai spinduliai sklinda šviesos greičiu, tai radaro antenos registruojamus atspindžius galima suskirstyti pagal registravimo laiką ir tai atitiks kelių metrų skersmens taškus žemėje. Tad šiuo atveju taško dydis priklauso nuo radaro išspinduliuoto ir sugrįžusio impulso trukmės. Tačiau ne visada pavyksta atskirti nuo kurio objekto atsispindėjo konkretus impulsas. 2 paveiksle iliustruotas SAR skenavimo principas, kuriame matyti, kad P trukmės impulsu aiškiai galima išskirti tik 3 ir 4 objektus, o tuo tarpu 1 ir 2 objektai bus susilieję, nes impulsas atsispindės beveik tuo pačiu metu nuo abiejų objektų. Taip

išskiriant taškus, pagal atsispindėjusių impulsų sugrįžimo laiką, gauname tarsi iš taškų sudarytą juostą, kuri skrendant orlaiviui ar palydovui skenuoja įvairius gamtinius ir antropogeninius objektus (Moreira, 2013; Molis, 2017; Barbier, 2019; Parker, 2019).



2 pav. SAR skenavimo principas (Government of Canada, 2020)

Tik užfiksuoti ir dar neapdoroti SAR duomenys, kitaip vadinami „žali duomenys“ (angl. *Raw data*), atrodo lyg triukšmas (3 pav.), todėl norint juose identifikuoti objektus ar pamatyti užfiksuota skenuotą informaciją, yra būtinas šių duomenų apdorojimas, taikant įvairius skaičiavimus.



3 pav. SAR duomenys: kairėje neapdoroti, dešinėje apdoroti (Pincheiro, 2010)

Multispektriniai vaizdai yra priskiriami pasyviems nuotoliniams tyrimams, tai reiškia, kad jutiklis fiksuoja kito elektromagnetinio šaltinio (pavyzdžiui Saulės) spinduliuojamą ir vėliau atspindėtą nuo tiriamojo objekto energiją. Multispektriniai vaizdai sudaryti iš keleto to pačio vaizdo skirtingo spektro monochromatinių atvaizdų, iš kurių kiekvienas yra gautas fotografuojant objektą su skirtingu optiniu filtru. Pagal parinktą filtrą praleidžiamas atvaizdas tik iš tam tikro elektromagnetinių bangos ilgio spektro. Tokie skirtingi monochromatiniai atvaizdai yra vadinami juostomis (angl.

Band). Dažniausiai sutinkamas yra matomo spektro – RGB spalvų atvaizdas. Jis susideda iš trijų juostų: raudonos, žalios ir mėlynos, kurios yra gautos su filtrais, jautriais skirtingiems bangų ilgiams. Pakeičiant vieną ar kelias juostas į trumpabanges infraraudonųjų spindulių arba šiluminės infraraudonųjų spindulių bangų juostas, arba apskritai pašalinus kurią nors juostą, galima išgauti vaizdą, kuris suteiktų reikiamos specifinės informacijos apie vietovę ar objektą, užfiksuotą atvaizde. Taip galima nustatyti miškų sausrą, vandens reguliariai užliejamas vietas, derlingą dirvožemį, naudingas iškasenas ar net vandenyje išsiliejusią naftą ir pan.

Multispektriniai vaizdai yra žmogaus akiai labiau įprasti ir atrodo lengviau suprantami, tačiau žemės dangos tyrimai, naudojant šiuos vaizdus yra neįmanomi stipriai debesuotomis dienomis net jei ir taikomos ne tik matomo spektro juostos. Atsižvelgiant į tai, kad tiriamasis objektas yra Lietuvos teritorija, kurioje debesuotų dienų skaičius yra didesnis nei saulėtų (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba 2020), o saulėtą dieną palydovas gali būti mums nepalankioje orbitoje, tad norint turėti daugiau medžiagos tyrimams, bei atlikti juos patikimesnius ir tikslesnius, žemės dangos pokyčiams identifikuoti taip pat galima naudoti ir SAR duomenis, kuriems surinkti nesvarbios nei meteorologinės sąlygos, nei paros laikas.

Renkantis duomenis tyrimui yra labai svarbu atsižvelgti į kelis aspektus – tai yra duomenų kaina, juostų tipai, vaizdų rezoliucija ir jų fiksavimo periodas. SAR duomenų taikymas žemės dangos tyrimuose tampa vis populiariesnis, tad atitinkamai daugėja ir jų gavimo platformų. Remiantis jau kitų autorių atliktu SAR duomenų tyrimu (1 *lentelė*), nesunku nustatyti, kurio palydovo duomenys yra tinkamiausi naudoti šiame tyrime. Atmetus visus duomenų šaltinius, kurie yra mokami, lieka tik du SAR palydovai – Sentinel-1 ir ALOS-2. Tačiau, kaip teigia pati šios analizės autorė, ALOS-2 palydovo duomenys yra mokami ir tik išimtiniais atvejais galima gauti prieigą prie jų nemokamai.

1 lentelė. Radaro palydovinių vaizdų charakteristikos (Ciparytė, 2018).

Pavadinimas	Paleidimas (metai)	Juostos	Rezoliucija (m)	Fiksavimo dažnumas (dienos)	Padengimas (km)	Informacija	Duomenys
Radarsat-2	2007-	C	1-15	5-10	NA	radarsat2.info	Mokami
TerraSAR-X	2007-	X	1-20	<11	5-100	dlr.de/en	Mokami
Cosmo-Skymed	2007-	X	1-100	0,5	10-200	cosmo-skymed.it	Mokami
Sentinel-1	2015-	C	5-100	<12	80-400	sentinel.esa.int	Nemokami
ALOS-2	2015-	L	3-100	<14	25-350	eorc.jaxa.jp	Mokami ir nemokami

Sentinel-1 yra pirmasis iniciatyvos „Copernicus“ globalinio stebėjimo programos palydovas skirtas aplinkos stebėjimui, kuris buvo paleistas 2014 metų balandžio 3 dieną. Misiją Sentinel-1 sudaro dviejų poliarinės orbitos palydovų „Sentinel-1A“ ir „Sentinel-1B“ (paleistas 2016 metų balandžio 25 dieną) sistema. Šie palydovai dalijasi ta pačia orbitos plokštuma, veikia ištisa parą ir perduoda sintezuotosios apertūros radaro vaizdus. Palydovas buvo sukurtas žemės posistemių, atmosferos, vandenynų ir žemynų paviršių stebėjimui atlikti (Torres *et al.* 2012, ESA). Šiuose palydovuose sumontuota įranga išspinduliuoja C ilgio poliarizuotas elektromagnetines bangas, taip gaunami atspindžių intensyvumo, poliarizacijos ir interferometrijos duomenys, kuriuos galima atvaizduoti kartografiškai pritaikius matematinius metodus ir spalvų paletes, bet kokiomis oro sąlygomis dieną ir naktį. Radaro signalo poliarizacija, tai elektromagnetinio lauko orientacijos veiksnys, kai radaro signalas sąveikauja su žemės paviršiaus objektais (Torres *et al.*, 2012).

Optiniai vaizdai yra dažniausiai taikomi duomenys, atliekant žemės dangos klasifikavimo tyrimus, naudojant palydovinius vaizdus. Kadangi šio darbo tyrime bus klasifikuojama žemės danga, kurią sudaro įvairus paviršius kaip hidrografiniai objektai, urbanizuotos teritorijos, vegetacinės teritorijos, dirbami laukai, miškai ir pan., todėl svarbu multispektrinių vaizdų skirtingų juostų spindulių ilgiai, kurie nuo skirtingų objektų atsispindi nevienodai, taip leisdami tiksliau išskirti kuo įvairesnę žemės dangą. Pavyzdžiui nuo dirvožemio geriausiai atsispindi spinduliai tarp matomo ir infraraudonojo spindulių spektrų, hidrografijos objektų – matomo spektro spinduliai, augalų identifikavimą stipriai palengvina augalijos raudonojo krašto (angl. *Vegetation Red Edge*) juostų spinduliai ir t.t. (Bontemps, 2019). Žemės tyrimuose plačiausiai yra naudojami MODIS, Landsat-5, Landsat-8, Sentinel-2 ir EO-1 optinių vaizdų palydovai. Tačiau atlikus jų teikiamų duomenų analizę (2 *lentelė*) nustatyta, kad MODIS palydoviniai vaizdai tinkami tik labai smulkaus mastelio tyrimams atlikti, nes jų vaizdų rezoliucija yra nuo 250 iki 1000 metrų. Landsat-5 palydovo misija buvo baigta 2013 metais, tačiau ją pakeitė Landsat-8 palydovas. EO-1 palydovas savo misiją baigė 2017 metais. Lyginant Landsat-8 ir Sentinel-2 palydovų vaizdų parametrus, pateiktus 2 *lentelė* ir 3 *lentelė* lentelėse, matoma, kad S-2 vaizdai turi aukštesnę rezoliuciją, vaizdai teikiami dažniau ir kas labai svarbu – tai, kad yra augalijos raudonojo krašto juostos, kurių neturi Landsat-8 vaizdai.

2 lentelė. Optinių palydovinių vaizdų charakteristikos (sudaryta autorės).

Pavadinimas	Paleidimas (metai)	Juostos	Rezoliucija (m)	Fiksavimo dažnumas (dienos)	Informacija	Duomenys
Landsat-5	1984-2013	7 (5 VNIR, 1 thermal, 1 MIR)	30-120	16	usgs.gov	Nemokami

Pavadinimas	Paleidimas (metai)	Juostos	Rezoliucija (m)	Fiksavimo dažnumas (dienos)	Informacija	Duomenys
Landsat-8	2013-	11 (išvardintos Error! Reference source not found. lentelėje)	15-30	16	usgs.gov	Nemokami
MODIS	1999-	36 (2 CA, 3 mėlynos, 2 žalias, 3 raudonos, 7 NIR, 1 Cirrus, 2 SWIR, 5 MIR, 2 WV, 7 TIR)	250-1000	1-2	modis.gsfc.nasa.gov	Nemokami
Sentinel-2	2016-	13 (išvardintos Error! Reference source not found. lentelėje)	10-60	5	sentinel.esa.int	Nemokami
EO-1	2000-2017	10 (7 VNIR ir 3 SWIR)	30	-	earth.esa.int	-

3 lentelė. Landsat-8 ir Sentinel-2 spektrinių juostų palyginimas (USGS, 2018; ESA, 2020a).

Juostos pilnas pavadinimas	Landsat 8 OLI		Sentinel-2 MSI	
	Juostos numeris	Bangos ilgis (nm)	Juostos numeris	Bangos ilgis (nm)
Coastal aerosol	1 juosta	430-450	1 juosta	430-457
Blue	2 juosta	450-510	2 juosta	448-546
Green	3 juosta	530-590	3 juosta	538-583
Panchromatic	8 juosta	500-680	–	–
Red	4 juosta	640-670	4 juosta	646-684
Vegetation Red Edge	–	–	5 juosta	694-713
Vegetation Red Edge	–	–	6 juosta	731-749
Vegetation Red Edge	–	–	7 juosta	769-797
NIR	5 juosta	850-880	8 juosta	763-908
NIRn	–	–	8a juosta	848-881
Water Vapour	–	–	9 juosta	932-958
Cirrus	9 juosta	1360-1380	10 juosta	1136-1411
SWIR	6 juosta	1570-1650	11 juosta	1542-1685
SWIR	7 juosta	2110-2290	12 juosta	2081-2323

Misija Sentinel-2 yra multispektrinių vaizdų (angl. *Multi-spectral Instrument*) vaizdų du poliarinės orbitos palydovai „Sentinel-2A“ (paleistas 2016 metų birželio 23 dieną) ir „Sentinel-2B“ (paleistas 2017 metų kovo 7 dieną), kurių tikslas – stebėti žemės paviršiaus sąlygų kintamumą ir augalijos pokyčius per augimo sezoną (Europos komisija, 2018). Šie palydovai sistemingai, kas penkias dienas, fiksuoja 13 skirtingų daugiaspektrinių kanalų tarp kurių yra matomo artimųjų infraraudonųjų ir trumpųjų infraraudonųjų bangų spektrai trijose skirtingose rezoliucijose, kurių pritaikymas pateiktas 4 *lentelė* lentelėje. Abu S-2 palydovai fiksuoja žemės paviršių nuo 56° pietų iki 84° šiaurės platumos, pakrančių vandenį ir visą Viduržemio jūrą.

4 lentelė. Sentinel-2 bangų rezoliucijos ir pritaikymo sritys (Copernicus, 2020; ESA, 2020b).

Pavadinimas	Rezoliucija (m)	Taikymas
Coastal aerosol	60	Atmosferos korekcija (aerzolių išsklaidymas)
Blue	10	Juosta jautri vegetacijos senėjimui, karotinoidų, rudumo ir dirvožemio fonui; atmosferos korekcijai (aerzolių išsklaidymas)
Green	10	Juosta jautri augmenijos chlorofilui
Red	10	Maksimali chlorofilo absorbcija
Vegetation Red Edge	20	Raudonojo krašto juosta; atmosferos pataisų / fluorescencijos bazinės padėties konsolidacija.
Vegetation Red Edge	20	Raudonojo krašto juosta, atmosferos pataisa, aerzolių kiekių nustatymas
Vegetation Red Edge	20	Lapų ploto indekso (toliau – LAI), artimojo infraraudonųjų spindulių (toliau – NIR) krašto juosta
NIR	10	LAI juosta
NIRn	20	NIR krašto, jautri bendram chlorofilui, biomasei, LAI ir baltymams; vandens garų absorbcijos atskaitos; aerzolių apkrovos ir tipo nustatymo juosta
Water Vapor	60	Vandens garų absorbcija, atmosferos korekcija.
SWIR/Cirrus	60	Plonos debesų aptikimas atmosferos korekcijai
SWIR	20	Juosta jautri ligninui ir miško virš žemės paviršiaus biomasei; sniego, ledo ir debesų atskyrimui.
SWIR	20	Juosta skirta Viduržemio jūros augmenijos sąlygų įvertinimui; skirtumų stebėjimui tarp molingų dirvožemių, siekiant stebėti dirvožemio eroziją; skirtumų tarp gyvos biomasės, negyvos biomasės ir dirvožemio stebėjimams, pvz. išdegusiems plotams kartografuoti.

1.3. Žemės dangos klasifikacijų apžvalga

Analizuojant įvairių autorių atliktus žemės dangos pokyčio tyrimus (Mas, 1999; Chase et al., 2000; Yang et al., 2002; Cui et al., 2009; Abdikan et al., 2016; Muro et al., 2016) pastebėta, kad identifikuojami tiek ir konkretūs žemės dangos pokyčiai, išskiriant tik tam tikrą klasę (pavyzdžiui miškus), tiek ir kompleksiskai, apimant visą kraštovaizdį. Taip pat skirtingi autoriai ar organizacijos remiasi skirtingu žemės dangos klasifikavimu.

Vienas iš pavyzdžių yra pasaulinė Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacija (angl. *The Food and Agriculture Organization of the United Nations*) (toliau – FAO), kuri buvo įsteigta 1945 metais bado problemai spręsti tiek išsivysčiusiose, tiek ir besivystančiose šalyse. Tačiau ilgainiui ši organizaciją savo veiklą plėtė įkurdama naujus padalinius, kurie atlieka žemės dangos stebėsenos tyrimus. Organizacija teigia, kad geoerdvinės technologijos vaidina pagrindinį vaidmenį,

užtikrinant gyventojų aprūpinimą maistu. Naudojant palydovines nuotraukas, FAO padeda šalims kurti interaktyvius žemėlapius, GIS duomenų rinkinius ir teikia standartus bei rodiklius reguliariam gamtos išteklių stebėjimui, efektyvaus gamtos išteklių valdymo, apsaugos ir atsparumo metodikas bei priemones. FAO skatina visas šalis vykdyti veiklas, kuriomis būtų plėtojami planai ir strategijos tokiomis klausimais, kaip žemės ūkio vystymas, vandens išteklių valdymas, miškų valdymas, klimato pokyčių stebėjimas, ekosistemų ir biologinės įvairovės apsauga, ekstremalių situacijų ir nelaimių valdymas (FAO, 2011). Tačiau, kad būtų galima atlikti stebėjimus globaliai, o ne tik regioniniu mastu, reikia vieningos sistemos ir standartų, naudojamų, ruošiant bei apdorojant duomenis, teikiant gautas išvadas iš įvairiausių tyrimų. Tad kaip jau minėta anksčiau, FAO teikia savo sudarytas standartizacijas bei klasifikacijas ir viena jų yra žemės dangos.

Anot FAO (Gregorio, 2016), žemės dangos apibrėžimas yra fundamentalus ir daugelyje galiojančių klasifikacijų ir legendų jis yra painiojamas su žemėnaudos sąvoka, tad nagrinėjant žemės dangą reikėtų atskirti augalijos ir žmogaus veiklos objektus. Kaip pavyzdžiui vietovės, kurių paviršių sudaro plikos uolienos ar dirvožemis, apibūdina dangą, o ne žemės dangą. Tuo tarpu žemėnaudai yra būdinga tam tikra tvarka ir veikla, kurią įsipareigoja vykdyti žmogus, tad žemėnaudos apibrėžimas nustato tiesioginį ryšį tarp žemės dangos ir žmonių vykdomos veiklos joje. Kaip pavyzdžiui: pieva yra žemės danga, o ganyklos arba teniso kortai reiškia žemės dangos tam tikrą naudojimą. Arba kitas pavyzdys – poilsio zona, kuri yra žemės naudojimo terminas, kuris gali būti taikomas įvairioms žemės dangoms – smėlėtiems paviršiams (pvz. paplūdimiai), užstatytoms teritorijoms (pvz. pramogų parkas), miškams ar parkams ir pan. Tad, anot FAO, klasifikavimo sistemos būna dviejų pagrindinių formatų: hierarchinės ir nehierarchinės. Dauguma sistemų yra hierarchinės struktūros, nes tokia klasifikacija suteikia daugiau nuoseklumo ir galimybę pritaikyti įvairaus lygio informaciją, pradedant struktūrizuotomis abstrakčiomis klasėmis, kurios leidžia toliau sistemingai suskirstyti į išsamesnius pogrupius. Kiekviename lygmenyje apibrėžtos klasės yra viena kitą paneigiančios. Aukštesniuose klasifikavimo sistemos lygiuose naudojami keli diagnostiniai kriterijai, o žemesniuose - diagnostinių kriterijų skaičius padidėja. Kriterijai, naudojami viename klasifikacijos lygyje, neturėtų būti kartojami kitame, t. y. žemesniame, lygyje.

Nepaisant standartinės klasifikavimo sistemos poreikio, nė viena iš dabartinių žemės dangos klasifikacijų nebuvo pripažinta tarptautiniu mastu (Fosberg, 1961; Eiten, 1968; Maarel, 1991). Dažnai žemės dangos klasės yra netinkamos konkrečioms tikslams (pvz., statistiniams ar kaimo plėtros poreikiams), naudojamas mastelis dažniausiai būna susietas su konkrečiu tikslu, o naudojama informacija pasenusi. Be to, klasifikavimo sistemoje naudojami kintamieji dažnai lemia nepageidaujamą potencialios ir faktinės žemės dangos mišinį (pvz., įtraukiant klimatą kaip

parametrą). Tai yra priežastys, kodėl nei viena iš dabartinių klasifikavimo sistemų nėra naudojamos kaip pagrindas, atliekant tyrimus, susijusius su žemės danga.

Tačiau svarbu paminėti, kad dalis plačiai naudojamų klasifikacijų yra augmenijos klasifikacijos (Fosberg, 1961; Eiten, 1968), abstrakčios žemės dangos klasifikacijos arba sistemos, susijusios su konkreto objekto aprašymu (pvz., tik žemės ūkio paskirties plotai). Taigi, šios klasifikacijos neapibrėžia visų galimų žemės dangos tipų. Pavyzdžiui UNESCO vegetacijos klasifikacija (skirta naudoti vegetacijos žemėlapiuose, kurių mastelis 1:1 000 000), kurioje atsižvelgiama tik į natūralią augmeniją, o į visas kitas vegetacines vietas, tokias kaip dirbamos teritorijos ir miesto vegetatyvinės zonos, nepaisomos.

FAO organizacijos sudarytos žemės dangos klasės yra apibrėžtos tam tikra klasifikatorių seka, tačiau dėl žemės dangos nevienalytiškumo ir siekiant išlaikyti loginį bei funkcinį klasifikatorių hierarchinį išdėstymą, buvo taikomi tam tikri projektavimo kriterijai, tad žemės dangos klasifikavimo sistema (angl. *Land Cover Classification System (LCCS)*) buvo suprojektuota dvejomis fazėmis – mažai fragmentuota (dichotominė) ir modulinė-hierarchinė (Di Gregorio *et al.*, 2000). Dichotominę fazę sudaro 3 lygmenų aštuoni pagrindiniai žemės dangos tipai (žr. 5 *lentelė* lentelę).

5 lentelė. FAO žemės dangos klasifikavimas (Di Gregorio ir J. M. Jansen, 2000).

1 lygmuo	2 lygmuo	3 lygmuo
A. Vegetacinės zonos	A1. Sausumos teritorijos	A11. Dirbama žemė ir tvarkomos sausumos teritorijos
		A12. Natūrali ir pusiau natūrali sausumos augalija
	A2. Vandens ir reguliariai užliejamos teritorijos	A23. Vandenyje auginamos kultūros (pvz. ryžiai)
		A24. Natūrali ir pusiau natūrali vandens augalija ar reguliariai užliejamos augalų teritorijos
B. Ne vegetacinės zonos	B1. Sausumos teritorijos	B15. Dirbtiniai paviršiai ir susijusios teritorijos
		B16. Plynės, tuščios teritorijos
	B2. Vandens ir reguliariai užliejamos teritorijos	B27. Dirbtiniai vandens telkiniai, sniego ir ledo teritorijos
		B28. Natūralūs vandens telkiniai, sniego ir ledo teritorijos

Antroje, t. y. modulinėje-hierarchinėje fazėje, klasifikatoriai išskaidyti ir pritaikyti kiekvienam iš aštuonių pagrindinių žemės dangos tipų. Klasifikatorių pritaikymas antrame etape

leidžia naudoti tinkamiausius klasifikatorius, kad būtų galima apibrėžti žemės dangos klases, išvestas iš pagrindinių žemės dangos tipų, ir tuo pačiu sumažinti nepraktiškų klasifikatorių derinių tikimybę.

Tuo tarpu kita žemės dangos klasifikavimo sistema, kuri yra naudojama, kuriant Europos CORINE žemės dangos (angl. *CORINE Land Cover (CLC)*) duomenų bazę, yra kiek detalesnė. CORINE žemės dangos duomenų bazė - tai visos Europos vektorinis žemės dangos duomenų rinkinys, sudalintas į 44 klases (Lietuvos teritoriją dengia 30 klasių) pagal žemės dangos tipą ir naudojimo paskirtį (SE „GIS-Centras“, 2018). Iš aprašymo, kas yra kaupiama šioje duomenų bazėje ir pačios klasifikacijos analizės matyti, kad klasifikaciją sudaro ne tik žemės dangos tipai, bet ir žemėnaudos, kurios savo reikšme nėra lygios žemės dangai, tačiau plačiau apie tai jau buvo aptarta aukščiau, nagrinėjant FAO klasifikavimo schemą. Bet kokių atveju, CORINE klasifikaciją taip pat sudaro 3 lygmenys (žr. 6 *lentelė* lentelę) (Corine, 2010; Eurostat, 2015; Vaitkus, 2005).

6 lentelė. CORINE žemės dangos klasifikavimas (CORINE, 2018).

1 lygmuo	2 lygmuo	3 lygmuo
1. Dirbtinės dangos	1.1. Užstatymo teritorijos	1.1.1. Ištinis užstatymas
		1.1.2. Neištinis užstatymas
	1.2. Pramoniniai, komerciniai ir transporto objektai	1.2.1. Pramoniniai ir komerciniai objektai
		1.2.2. Kelių ir geležinkelių tinklas ir su juo susijusi žemė
		1.2.3. Uostų teritorijos
		1.2.4. Oro uostai
	1.3. Karjerai, sąvartynai ir statybos	1.3.1. Naudingųjų iškasenų gavybos vietos
		1.3.2. Sąvartynai
		1.3.3. Statybų plotai
	1.4. Apželdinto dirbtinės ne ž. ūkio paskirties teritorijos	1.4.1. Žalieji miestų plotai
1.4.2. Sporto ir poilsio vietos		
2. Žemdirbystės teritorija	2.1. Dirbama žemė	2.1.1. Nedrėkinamos dirbamos žemės
	2.2. Daugiametės kultūros	2.2.2. Vaismedžių ir uogų plantacijos
	2.3. Ganyklos	2.3.1. Ganyklos
	2.4. Kompleksinės žemdirbystės teritorijos	2.4.2. Kompleksiniai žemdirbystės plotai
2.4.3. Dirbamos žemės plotai su natūralios augalijos tarpais		
3. Miškai ir kitos gamtinės teritorijos	3.1. Miškai	3.1.1. Lapuočių miškai
		3.1.2. Spygliuočių miškai
		3.1.3. Mišrus miškas
	3.2. Krūmų ir/arba žolinės augalijos bendrijos	3.2.1. Natūralios pievos
		3.2.2. Dykvietės ir viržynai

1 lygmuo	2 lygmuo	3 lygmuo
	3.3. Žemė su reta augaline danga, arba be jos	3.2.4. Pereinamosios miškų stadijos ir krūmynai
		3.3.1. Pliažai, kopos, smėlynai
		3.3.2. Teritorijos su menka augaline danga
		3.3.3. Gaisravietės
4. Pelkės	4.1. Kontinentinės pelkės	4.1.1. Kontinentinės pelkės
		4.1.2. Durpynai
5. Vandens telkiniai	5.1. Vidaus vandenys	5.1.1. Vandens tėkmės
		5.1.2. Vandens telkiniai
	5.2. Jūrų vandenys	5.2.1. Pakrančių lagūnos
		5.2.3. Jūra ir vandenynas

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, CORINE klasifikacija taip pat yra hierarchinė, tad ją nesunkiai galima bet kada praplėsti, papildant nauju skiriamuoju objektu, tais atvejais, kai pradinių duomenų kokybė padidėja ir atsiranda galimybė išskirti vis smulkesnes žemės dangos objektų klases.

Dar viena Europiniu lygmeniu naudojama žemės dangos klasifikacija yra naudojama įgyvendinant žemės naudojimo, žemės dangos ir aplinkosaugos rodiklių kontrolės projektą LUCAS (amgl. *Land Use / Cover Area Frame Survey (LUCAS)*). Šio projekto tikslas yra atlikti reguliarius ir suderintus tyrimus visose valstybėse narėse ir surinkti informaciją apie žemės dangą ir žemės naudojimą (European Commission, 2018). Tokie tyrimai atliekami kas keletą metų leidžia nustatyti žemės dangos bei jos naudojimo pokyčius. Tad šiame projekte naudojama klasifikacija yra dar platesnė nei naudojama CORINE, nes taip pat apima tiek ir žemės dangą, tiek ir žemėnaudas, tačiau čia jos yra aiškiai atskirtos. LUCAS klasifikaciją sudaro šios žemės dangos (European Commission, 2009; Eurostat, 2015):

- dirbtiniai paviršiai;
- pasėliai;
- miškai;
- krūmynai;
- pievos;
- plynės;
- vandenys;
- pelkės.

Žinoma, kiekviena pagrindinė žemės dangos kategorija yra suskaidyta į smulkesnius poklasius, tad visą klasifikaciją sudaro 76 klasės.

Šiame darbe nagrinėtos klasifikavimo sistemos yra hierarchinės, toks išdėstymas formuojant klasę labai dažnai prieštarauja galimybei apibrėžti aiškia dviejų klasių ribą. Analizuojami žemės dangos pokyčiai būna dviejų tipų: perėjimas iš vienos kategorijos į kitą (pavyzdžiui, iš miško į pievą) ir būklės pakeitimas toje pačioje kategorijoje (pavyzdžiui, iš natūralios augmenijos į auginamą augmeniją). Kuo platesnes ir mažiau kategorijų turinčias klasifikacijas naudojame aprašant žemės dangą, tuo mažiau yra pokyčio perėjimo atvejų iš vieno į kitą.

Įvairias žemės dangos klasifikacijas naudoja ir pavieniai mokslininkai-tyrėjai (Mas, 1999; Chase et al., 2000; Yang et al., 2002; Cui et al., 2009; Abdikan et al., 2016; Muro et al., 2016), nemažai jų yra konkretizuotos, pavyzdžiui skirtos tik dirvožemiui ar miškams analizuoti. Tačiau bendroju atveju panašu, kad nėra vienos idealios žemės naudojimo ir žemės dangos klasifikacijos ir mažai tikėtina, kad ją kada nors būtų galima sukurti ir klausimas ar tokios apskritai reikia. Dažnu atveju kiekviena klasifikacija sudaroma atsižvelgiant į vartotojo poreikius ir tikrai nedaugelis vartotojų bus patenkinti inventoriumi, kuris neatitinka daugumos jų poreikių. Tad darosi akivaizdu, kad klasifikavimo sistemos buvo sukurtos tik tam tikram tikslui, tam tikru masteliui ir naudojant tik tam tikrus pradinius duomenis, o kai kurios iš jų net netinka kartografavimui ir stebėsenos tikslams.

Atsižvelgiant į išanalizuotą medžiagą, galima apibendrinti ir konkretizuoti, kokiais kriterijais remiantis, turėtų būti sudaromos klasifikacijos, atliekant tam tikrą tyrimą.

Rekomendacijos klasifikacijai, kuri turėtų būti:

- mokslškai pagrįsta ir orientuota į praktinį tyrimą;
- patenkinanti būsimo vartotojo poreikius;
- įskaitoma ne tik regioniniu mastu (išskyrus tuos atvejus, kai tyrimas yra orientuotas į labai konkrečią vartotojų grupę);
- būti pakankamai lanksti, t. y. pritaikoma atliekant tyrimą skirtingais masteliais;
- aiški ir sisteminga.

Manau, kad svarbu paminėti, jog kiekviena, skirtingų autorių naudojama, klasifikacija, tai nėra naujas išradimas, o taikomasis darbas, leidžiantis pasiekti numatytą praktinį tikslą.

1.4. Klasifikavimo metodų apžvalga

Atlikti žemės dangos klasifikavimą, naudojant palydovinius vaizdus, galima taikant įvairius klasifikavimo metodus bei algoritmus. Dažnu atveju žemės dangos klasių žemėlapiu tikslumas priklauso ne tik nuo jam sudaryti naudojamų duomenų, tačiau ir nuo klasifikavimui taikomo metodo, bei naudojamo algoritmo. Remiantis statistinėmis mažiausio vaizdo elemento atspindėjimo reikšmių charakteristikomis, klasifikavimo metu yra klasifikuojama kiekviena vaizdo gardelė (angl. *Pixel*) ir priskiriama tam tikrai klasei (pvz. miškas, vanduo, pasėliai ir kt.) taip sudarydamos bendrą

mozaiką, tai yra teminį žemės dangos klasių žemėlapi. Kitaip tariant, vaizdų klasifikavimas yra gardelių rūšiavimas į atskiras klases, atspindinčias žemės dangos skirtingą informaciją (Urbanavičienė ir Urbanavičius, 2018). Klasifikuojant skaitmeninius vaizdus, dažniausiai yra naudojami trys labiausiai paplitę metodai, t. y. kontroliuojamas gardelėmis paremtas klasifikavimas (angl. *Supervised*), nekontroliuojamas gardelėmis paremtas klasifikavimas (angl. *Unsupervised*) ir objektais paremtas klasifikavimas (angl. *Object-based*).

Praktikoje dažniausiai yra naudojamas kontroliuojamas klasifikavimo metodas. Šio metodo metu pirmiausia yra nustatomos dominuojančios skirtingos informacijos klasės, šie pavyzdžiai yra nurodomi kaip mokomosios sritys. Skirtingų mokomųjų sričių pasirinkimas pagrįstas nagrinėjamos vietovės pažinimu ir vaizde matomais faktiniais dangos paviršiaus tipais. Klasifikavimo algoritmas arba klasifikatorius yra apmokomas panaudojant atrinktų spektrinių požymių grupę ir mokymo imtį. Kompiuteris naudoja specialią programą ir/arba algoritmą, kad nustatytų skaitmenines kiekvienos mokomosios klasės „signatūras“. Kai kompiuteris nustato kiekvienos klasės signatūras, kiekviena vaizdo gardelė lyginama su šiomis signatūromis ir pažymima kaip priklausanti tai klasei, kurią skaitmeninėmis reikšmėmis labiausiai atitinka. Taigi, pirmiausia nustatomos kontroliuojamos klasifikacijos informacijos klasės, jos naudojamos apibrėžti jas atitinkančias spektrines klases (Juodkienė, 2018).

Kaip paminėta aukščiau klasifikavimo metu yra naudojamas algoritmas, tačiau jų yra labai daug ir įvairių, todėl nuspręsti kurį vieną naudoti darbo tyrimui nėra taip paprasta. Zheng Liu su bendraautoriais (2017) yra tyrę daugiau nei keturiasdešimt skirtingų algoritmų, taikytų apjungtų vaizdų klasifikavimui. Tačiau atsižvelgiant į tai, kad šiame darbe naudojama SAR ir multispektrinių duomenų sintezė žemės dangos klasifikavimui, tai ir moksliniai straipsniai buvo atsirenkami tik tie, kuriuose tiriami įvairūs klasifikavimo algoritmai, taikant SAR ir MSI duomenų sintezę žemės dangos tyrimuose, lyginamas jų tikslumas ir gautas rezultatas.

7 *lentelė* lentelėje yra pateiktas sąrašas darbų, kuriuose, buvo analizuojami skirtingi klasifikavimo algoritmai, lyginamas gautas rezultatas bei tikslumas. Atlikus mokslinių darbų apžvalgą, galima išskirti du pagrindinius algoritmus, naudojamus žemės dangos klasifikavimui atlikti:

- atraminių vektorių mašinos (angl. *Support vector machine*) (toliau – SVM);
- atsitiktinio miško (angl. *Random Forest*) (toliau – RF).

Kaip ir dauguma kitų kontroliuojamo mokymo algoritmų, atraminių vektorių mašinos metodas, panaudodamas mokymo duomenis, sukuria klasifikavimo taisykles (Juodkienė, 2018). Apie šį metodą pirmą kartą rašė C. Cortes ir V. Vapnik (1995), vėliau jis buvo pakankamai plačiai naudojamas sprendžiant įvairius objektų atpažinimo, klasifikavimo ir regresijos uždavinius. Esminis

šio metodo ypatumas – netiesinis n -matės įeigos erdvės atvaizdavimas didesnių matavimų erdvėje, leidžiančioje suformuoti tiesinę skiriamąją hiperplokštumą. Tuo pačiu metu minimizuojama empirinė klasifikavimo klaida ir maksimizuojama geometrinė riba; dėl šių priežasčių SVM dažnai dar vadinamas maksimalios ribos klasifikatoriumi (angl. *Maximum Margin Classifier*) (Danėnas, 2013).

Atsitiktinio miško klasifikavimo metodas yra vienas populiariausių ir efektyviausių kontroliuojamo mokymo algoritmų. Pagrindinė atsitiktinio miško algoritmo idėja yra tokia, kad reikia suformuoti tikslų klasifikatorių, apjungiant sprendimus daugelio binarinių sprendimų medžių, užaugintų naudojant skirtingus duomenų poaibius iš originalios duomenų aibės, ir atsitiktinai parinktus požymių poaibius iš požymių aibės. Toks binarinių medžių rinkinys pasižymi atsparumu persimokymui ir, medžių skaičiui augant, bendros klaidos konvergavimu iki stabilios reikšmės (VŠĮ „Informatikos mokslų centras“, 2015). Kiekvienas sprendimų medis yra apmokomas, naudojant atsitiktinai iš mokymo imties atskyrus tam tikrą dalį duomenų, o likusieji duomenys naudojami testuoti. Didinant sprendimų medžių skaičių, klaida testinei duomenų daliai mažėja. Požymių svarba matuojama naudojant likusius duomenis. Atrinkti požymiai priklauso nuo duomenų skaičiaus, patenkančio į likusius duomenis, todėl atrenkant svarbiausius požymius imami skirtingi duomenų kiekiai. Taip eliminuojant požymius pašalinami mažiau svarbūs požymiai, kol lieka svarbiausi spektriniai požymiai (Juodkienė, 2018).

Nagrinėjant 7 *lentelė* lentelės skiltyje „Gauti rezultatai“ susistemintą informaciją, matyti, kad šeši autoriai lyginę SVM ir RF algoritmus žemės dangos klasifikavimui, gavo tikslesnius rezultatus, naudojant RF algoritmą, tad jis bus naudojamas ir šio darbo tyrime.

7 lentelė. Naudojamų klasifikavimo algoritmų žemės dangos tyrimuose suvestinė (sudaryta autorės).

Metai	Autorius(-iai)	Naudoti duomenys	Tyrimo tikslas	Teritorija	Naudoti algoritmai	Gauti rezultatai	Žurnalas
2013	Natalia Kussul, Sergii Skakun, Andrii Shelestov, Oleksii Kravchenko, Olga Kussul	EO-1 ir RADARSAT-2	SAR ir optinių vaizdų sintezės tikslumo tyrimas, klasifikuojant įvairių augmeniją	Vasytkivas, Kijevo sritis, Ukraina (apie 1200 km ²)	SVM	Identifikuotos 4 klasės: kukurūzai, sojų pupelės, saulėgražos, žieminiai ir vasariniai kviečiai. Taikant vaizdų sintezę gautas: - 2,5% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 6,6% geresnis tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	Information Models and Analyses
2017	Nicola Clerici, Cesar Augusto Valbuena Calderón & Juan Manuel Posada	Sentinel-1 ir Sentinel-2	Žemės dangos klasifikavimo, taikant SAR ir optinių vaizdų sintezę ir skirtingus klasifikavimo algoritmus, tikslumo tyrimas	Magdelenos regionas, Kundinamarkos departamentas, Kolumbija (2095 km ²)	SVM RF k-NN	Identifikuotos 6 klasės: miškai, vanduo, pasėliai, ganyklos, urbanizuotos teritorijos, krūmynai. Tiksliausi rezultatai gauti, taikant SVM algoritmą. Taikant vaizdų sintezę gautas: - 58% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 16% geresnis tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	Journal of Maps
2017	Jan Haas, Yifang Banb	Sentinel-1 ir Sentinel-2	SAR ir optinių vaizdų sintezės taikymo urbanizuotų teritorijų ir ekosistemos kartografavimo galimybių tyrimas	Ciuricho miesto apylinkės ir šiaurinė Ciuricho ežero dalis (352 km ²)	SVM	Identifikuota 12 klasių: vandens telkiniai, upės, mišrūs miškai, statybvietės, nenuosekli urbanizuota teritorija, oro uostai, kelių ir geležinkelių tinklas, industriniai ir komerciniai rajonai, agrokultūra ir natūrali vegetacija, ištisiniai miestai, sporto aikštynai, sodai. Didžiausios klasifikavimo klaidos gautos: - tarp statyviečių ir industrinių/komercinių rajonų klasių, - tarp nenuoseklių urbanizuotų teritorijų ir sporto aikštynų; - tarp oro uostų ir kelių klasių.	Remote Sensing Applications: Society and Environment

Metai	Autorius(-iai)	Naudoti duomenys	Tyrimo tikslas	Teritorija	Naudoti algoritmai	Gauti rezultatai	Žurnalas
2018	Nathan S. Gerrells	Sentinel-1 ir Sentinel-2	SAR ir optinių vaizdų sintezės taikymas kinivarpu paplitimo zonoms nustatyti	Tulare ir Kerno sritys Kalifornijoje, pietinė Siera Nevados dalis	RF SVM	Tikslesni rezultatai gauti, taikant RF klasifikavimą.	Magistro darbas
2018	Feng Liu, Ting Chen, Jianjun He, Qiang Wen, Fei Yu, Xinzhi Gu, Zhiyong Wang	Sentinel-1A ir GF-1	Atlikti skirtingų vaizdų apjungimo metodų tikslumo tyrimą	Nangongo sritis, Singtajaus miestas, Kinija (863,3 km ²)	NN	Identifikuotos 4 klasės: ne pasėliai, kukurūzai, medvilnė ir kiti pasėliai	Information Fusion
						Taikyti 3 vaizdų sintezės metodai: - Principal component analysis (PCA); - Gram-Schmidt (GS); - Brovey and wavelet transform (WT).	
2018	Ruben Fernandez-Beltran, JuanM. Haut, Mercedes E. Paoletti, Javier Plaza, Antonio Plaza, Filiberto Pla	Sentinel-1 ir Sentinel-2	Atlikti tikslumo tyrimą, taikant SAR ir optinių vaizdų skirtingus apjungimo būdus klasifikuojant žemės dangą	Miunchenas ir Berlynas	Nekontroliuojamas klasifikavimas	Identifikuotos 4 klasės: agrokultūra, miškai, pastatai, vanduo.	IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters
						Taikant vaizdų sintezę gautas: - 3% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 6% tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	
2019	Chuanliang Sun, Yan Bian, Tao Zhou, Jianjun Pan	Sentinel-1, Sentinel-2 ir Landsat-8	Naudojant duomenų sintezę, atlikti augmenijos pokyčių monitoringą per augimo sezoną, taikant skirtingas duomenų kombinacijas, klasifikavimo algoritmus, atlikti jų palyginamąją analizę	Jangdzės upė, Kinija (1800 km ²)	RF SVM ANN	Identifikuotos 6 klasės: miškai, urbanizuotos teritorijos, vanduo, kviečiai, rapsai, kukurūzai.	Sensors
						Tiksliausi rezultatai gauti, taikant RF algoritmą.	
						Taikant vaizdų sintezę gautas: - 17% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 3% geresnis tikslumas lyginant tik su S-2 optinių vaizdų taikymu; - 8% geresnis tikslumas lyginant tik su Landsat-8 vaizdų taikymu.	

Metai	Autorius(-iai)	Naudoti duomenys	Tyrimo tikslas	Teritorija	Naudoti algoritmai	Gauti rezultatai	Žurnalas
2019	Julien Denize, Laurence Hubert-Moy, Julie Betbeder, Samuel Corgne, Jacques Baudry, Eric Pottier	Sentinel-1 ir Sentinel-2	SAR ir optinių vaizdų sintezės naudojimas, identifikuojant žiemos žemės dangos agrokultūros plotus	Mont-Saint-Michel įlankos pietinė dalis, Prancūzija (130 km ²)	SVM RF	Identifikuotos 5 klasės: žiemos pasėliai, pievos, žemaūgiai pasėliai, nuimto derliaus laukai ir neapželdinta žemė.	Remote Sensing
						Taikant RF gautas didesnis tikslumas nei SVM.	
						Taikant vaizdų sintezę gautas: - 21% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 7% geresnis tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	
2019	Audrey Mercier, Julie Betbeder, Florent Rumiano, Jacques Baudry, Valéry Gond, Lilian Blanc, Clément Bourgoïn, Guillaume Cornu, Carlos Ciudad, Miguel Marchamalo, René Pocard-Chapuis, Laurence Hubert-Moy	Sentinel-1 ir Sentinel-2	Taikant SAR ir optinių vaizdų sintezę atlikti miškų klasifikavimą tropiniame regione	Rytinė Lugo dalis iki vakarinės Kantabrijos dalies, Ispanija (35700 km ²) ir Paragominasas, Paros valstija, rytinė Brazilijos Amazonija (19342 km ²)	RF	Identifikuotos 8 klasės: dirbtinis paviršius, vandens telkiniai, miškai, laikina vegetacija, vasarinė vegetacija, žieminė vegetacija, krūmynai, neapželdinta žemė.	Remote Sensing
						Taikant vaizdų sintezę gautas: - apie 20% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - apie 5% geresnis tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	
2019	Filsa Bioresita, Anne Puissant, André Stumpf & Jean-Philippe Malet	Sentinel-1 ir Sentinel-2	Vandens telkinių identifikavimas, taikant SAR ir optinių vaizdų skirtingus apjungimo būdus, jų tikslumo tyrimas	Šanono upė centrinėje Airijoje (apie 3657 km ²)	Fuzzy min Bayesian product Bayesian Sum	Išskirtos 2 klasės: laikini vandens telkiniai ir nuolatiniai vandens telkiniai.	International Journal of Remote Sensing
						Kadangi tyrimo tikslas identifiukuoti tik vandens telkinius, tai taikant sintezę arba atskirai tik SAR ar tik optinius vaizdus, rezultatas vis tiek beveik 100% (99.95%).	
2020	Armugha Khan, Himanshu Govil,	Sentinel-1 ir Sentinel-2	SAR ir optinių vaizdų sintezės tikslumo tyrimas, klasifikuojant	Jamuna upės potvynių vietos,	ML	Išskirtos 5 klasės: vanduo, urbanizuota teritorija, daubos, nederlinga žemė ir pasėliai.	Spatial Information Research

Metai	Autorius(-iai)	Naudoti duomenys	Tyrimo tikslas	Teritorija	Naudoti algoritmai	Gauti rezultatai	Žurnalas
	Gaurav Kumar, Rucha Dave		žemės dangos ir žemės naudmenų klases	Indija (apie 2915 km ²)		Taikant vaizdų sintezę gautas: - 25% geresnis tikslumas lyginant tik su SAR vaizdų taikymu; - 5% geresnis tikslumas lyginant tik su optinių vaizdų taikymu.	

2. DARBO METODOLOGIJA

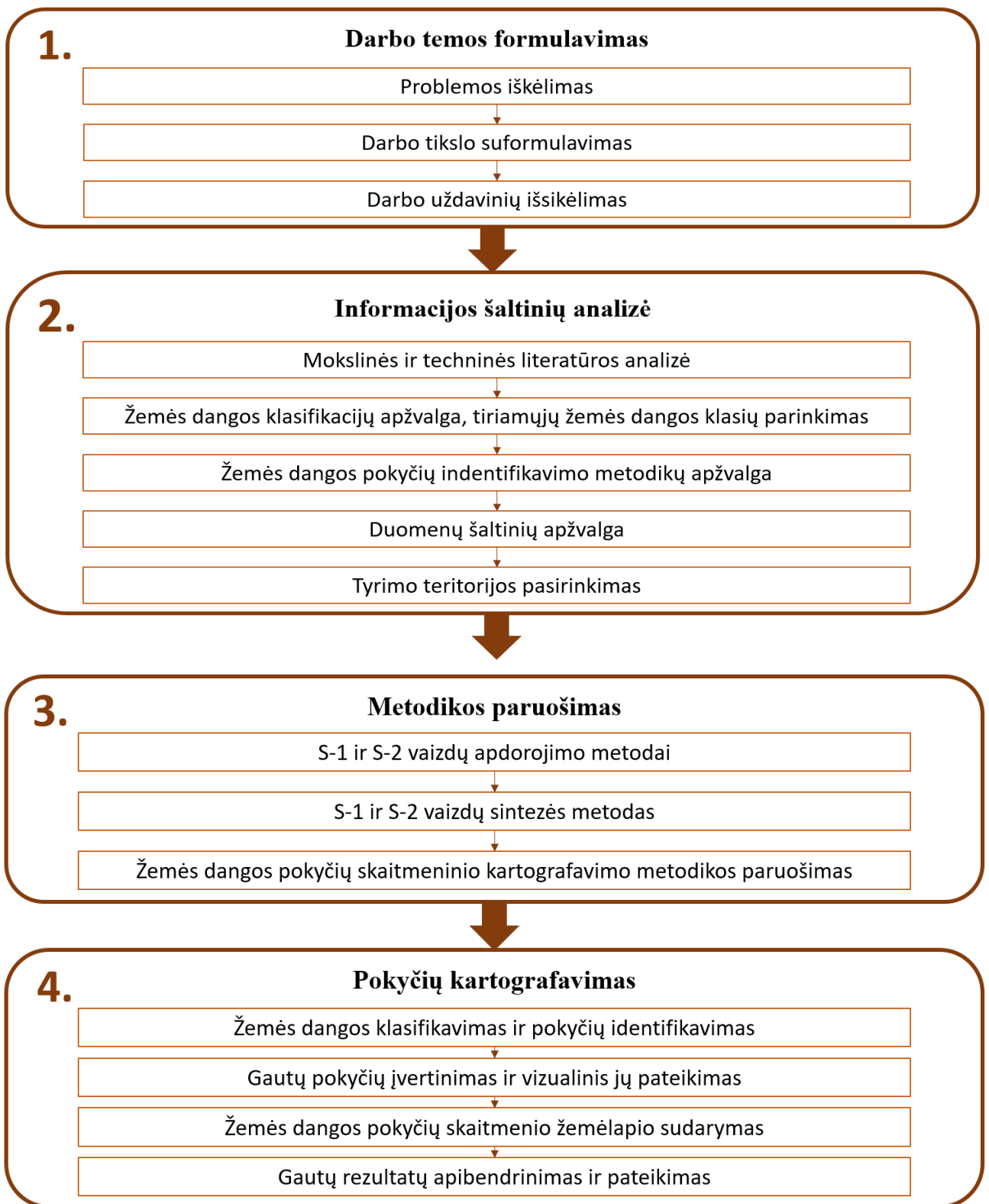
2.1. Darbo rengimo metodika ir žemės dangos kartografavimo metodai

Šio darbo eiga suskirstyta į 4 pagrindinius etapus aprašytus žemiau ir pavaizduotus 4 pav. Pirmame darbo rengimo etape buvo koncentruotasi į iškeltą darbo problemą, numatomus darbo tikslus bei uždavinius.

Antrame etape išanalizuota įvairi mokslinė ir techninė literatūra, susijusi su numatytais darbo tikslais ir išsikeltais uždaviniais, atlikta žemės dangos klasifikacijų apžvalga ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodikų apžvalga, atlikta jau vykdytų panašių tyrimų apžvalga, nustatytas temos aktualumas. Taip pat apibrėžtas tiriamasis objektas, bei jo aprėpiama teritorija, nustatyta, kokios žemės dangos klasės bus naudojamos tyrime, renkami tyrimui reikalingi duomenys.

Trečiame etape sudaryta žemės dangos pokyčių skaitmeninio kartografavimo, naudojant SAR ir multispektrinių vaizdų sintezę, metodika. Ji susideda iš SAR ir multispektrinių vaizdų apdorojimo metodų bei duomenų sintezės metodo. Remiantis nagrinėta literatūra trumpai aprašomi vaizdų apdorojimo metodai, žemės dangos klasifikavimui naudojami metodai bei algoritmai, taip pat ir pokyčių identifikavimo metodai.

Ketvirtame etape, remiantis paruošta metodika atliktas žemės dangos klasifikavimas, jos pokyčių identifikavimas. Gautiems identifikuotiems žemės dangos pokyčiams atliktas kokybės tikslumo tyrimas, aprašyti teisingai ir klaidingai identifikuotų pokyčių atvejai. Taip pat apibendrinti ir pateikti viso darbo metu gauti rezultatai.

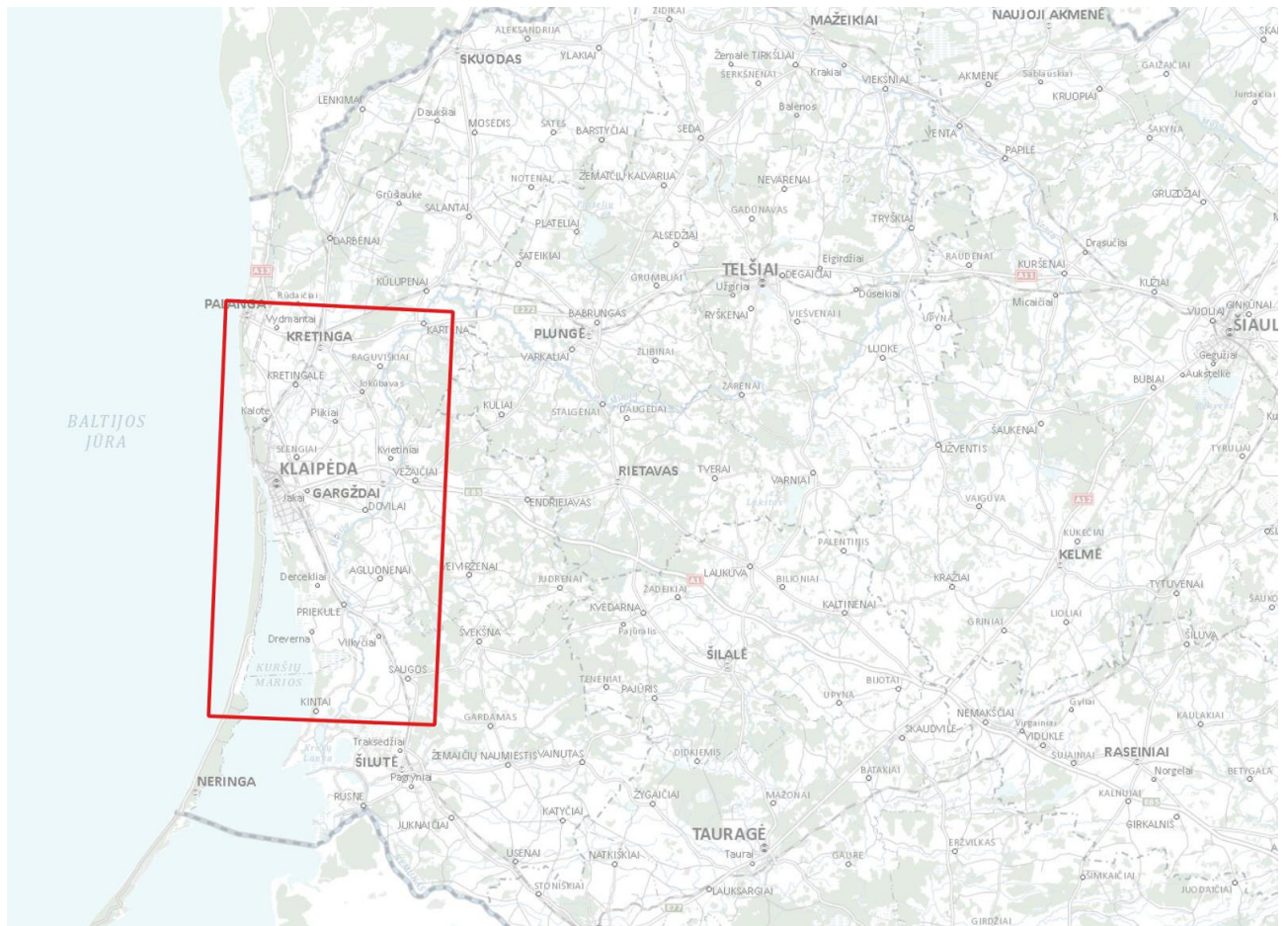


4 pav. Darbo rengimo metodinė schema.

2.2. Tyrimo objektas ir apimtis

Šiame darbe tyrimo objektas yra žemės dangos pokyčių identifikavimo metodai paremti SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sinteze. Žemės dangos pokyčių identifikavimo metodikai išbandyti pasirinkta tyrimo teritorija, esanti vakarų Lietuvoje ir apimanti apie 2 000 km² (žr. 5 pav.).

Ši teritorija pasirinkta dėl žemės dangos įvairovės, į kurią patenka viena iš Lietuvos aglomeracijų (Klaipėdos), mažiau urbanizuotos teritorijos (Palanga, Kretinga, Kretingalė, Gargždai ir pan.), pagrindiniai bei šalutiniai keliai, miškingos teritorijos, dirbami laukai, pievos, smėlingos teritorijos, kopos, atviri vandenys (Baltijos jūra), lagūna (Kuršių marios), uždari vandenys (ežerai, tvenkiniai), upės, pelkės ir t.t.



5 pav. Tyrimo teritorija (pažymėta raudonu stačiakampiu)

2.3. Tyrimui naudojami duomenys

Atsižvelgiant į visus 1.2 skyriuje išnagrinėtus kriterijus, šiam darbui atlikti pasirinkti Europos kosmoso agentūros viešai platinami ir visiems nemokamai prieinami Sentinel-1 ir Sentinel-2 palydoviniai vaizdai, kuriuos galima atsisiųsti iš Copernicus Open Access Hub

(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Sentinel-1 ir Sentinel-2 palydovai sukurti ir skirti žemės dangos ir vandenynų stebėjimams atlikti, žemės dangos klasių išskyrimui ir jų pokyčių identifikavimu.

2.3.1. Sentinel-1 palydovų duomenys

S-1 palydovų vaizdo jutikliai spinduliuoja ir priima horizontalios (toliau – H) ir vertikalios (toliau – V) poliarizacijos mikrobangas, kurios pateikiamos 4-iose skirtingose poliarizacijų kombinacijose, t. y.:

- viengubos poliarizacijos:
 - horizontalaus perdavimo ir horizontalaus priėmimo (toliau – HH),
 - vertikalaus perdavimo ir vertikalaus priėmimo (toliau – VV).
- dvigubos poliarizacijos:
 - horizontalaus perdavimo ir horizontalaus priėmimo, horizontalaus perdavimo ir vertikalaus priėmimo (toliau – HH + HV),
 - vertikalaus perdavimo ir vertikalaus priėmimo ir vertikalaus perdavimo-horizontalaus priėmimo (toliau – VV + VH).

Dvigubos poliarizacijos duomenys naudojami žemės dangos klasifikavimui ir jūrą dengiančių ledų stebėjimams. Taip pat šie SAR duomenys pateikiami ir 4-iose skirtinguose skenavimo režimuose (Europos komisija, 2018):

- SM (angl. *Strip Map Mode*) – 80 km žvalgos juostos ir 5×5 metrų erdvinės skiriamosios gebos maršruto žemėlapių režimas;
- IW (angl. *Interferometric Wide Swath Mode*) – 250 km žvalgos juostos ir 5×20 metrų erdvinės skiriamosios gebos interferometrinis plačios žvalgos juostos režimas;
- EW (angl. *Extra Wide Swath Mode*) – 400 km žvalgos juostos ir 20×40 m erdvinės skiriamosios gebos labai plačios žvalgos juostos režimas;
- WM (angl. *Wave Mode*) – 5×5 metrų erdvinės skiriamosios gebos bangų režimas orbitoje 100 km atstumu.

S-1 palydovų produktai yra pateikti trijuose apdorojimo lygiuose:

- 0 lygio (toliau – L0) vaizdai yra glausti, nekryptingi ir visiškai neapdoroti.
- 1 lygio (toliau – L1) vaizdai teikiami dviejų tipų, t. y. vieną kartą užfiksuoti sudėtiniai duomenys (angl. *Single Look Complex*) (toliau – SLC), kurie yra kryptingi sudėtiniai SAR duomenys su geografinėmis nuorodomis, teikiami nuožulniojo nuotolio geometrijos sąlygomis ir visos skiriamosios gebos antžeminio nuotolio duomenys (angl. *Ground Range Detected*) (toliau – GRD),

kurie taip pat yra kryptingi sudėtiniai SAR duomenys su geografinėmis nuorodomis, tačiau jau dalinai apdoroti, tai yra atlikta reljefo korekcija, naudojant Žemės elipsoido modelį.

- 2 lygio (toliau – L2) vaizdai yra vandenynų produktai su geografiniais geofiziniais parametrais, skirti stebėti tokius reiškinius kaip vandenynų vėjo laukai, bangų spektrai, radialiniai greičiai ir pan.

8 lentelėje pateiktas sąrašas, kokie SAR vaizdai buvo atsisiųsti ir naudojami, atliekant praktinę šio darbo dalį.

8 lentelė. Sentinel-1 SAR vaizdai, naudoti tyrime.

Nr.	Data	Palydovas	Produkto tipas	Skenavimo režimas	Poliarizacija
1.	2018-06-06	S1A	SLC	IW	VV+VH
2.	2018-06-12	S1A	SLC	IW	VV+VH
3.	2018-06-18	S1B	SLC	IW	VV+VH
4.	2018-07-13	S1A	SLC	IW	VV+VH
5.	2018-07-18	S1A	SLC	IW	VV+VH
6.	2018-07-24	S1B	SLC	IW	VV+VH
7.	2019-06-07	S1A	SLC	IW	VV+VH
8.	2019-06-13	S1B	SLC	IW	VV+VH
9.	2019-06-25	S1B	SLC	IW	VV+VH
10.	2019-07-07	S1B	SLC	IW	VV+VH
11.	2019-07-13	S1A	SLC	IW	VV+VH
12.	2019-07-19	S1B	SLC	IW	VV+VH
13.	2019-07-25	S1A	SLC	IW	VV+VH

2.3.2. Sentinel-2 palydovų duomenys

S-2 viešai pateikiami duomenys, kaip ir S-1, taip pat yra skirtingų lygių (Europos komisija, 2018):

- 1C lygio (angl. *Level-1C*) (toliau – L1C) produktai yra paviršiniai atmosferos atspindžiai kartografinėje geometrijoje. Šio lygio vaizdai sudaryti iš 100 km² gardelių, kuri kiekviena užima apie 500 MB. Šio tipo produktai yra apdoroti radiometriniu ir geometriniu būdu, įskaitant ir ortorektifikavimą.

- 1B lygio (angl. *Level-1B*) (toliau – L1B) duomenyse pateikiama atmosferos paviršiaus spinduliuotė pačio sensoriaus geometrijoje. L1B vaizdai yra 23x25 km dydžio gardelių, kur kiekviena

užima apie 27 MB vietos. Šio lygio produktai yra skirti ekspertams, nes jų apdorojimui reikalinga didesnė patirtis, atliekant analizes su palydoviniai vaizdais.

- 2A lygio (angl. *Level-2A*) (toliau – L2A) produktai yra jau apdoroti L1C vaizdai, kuriuose pateikiami jau žemės paviršiaus atspindžiai kartografinėje projekcijoje. Šie vaizdai gali būti tiesiogiai naudojami tolimesnei jų analizei, nebereikalingas papildomas jų apdorojimas (European Space Agency, 2020b).

9 lentelėje pateiktas sąrašas, kokie multispektriniai vaizdai buvo atsisiųsti ir naudojami, atliekant praktinę šio darbo dalį.

9 lentelė. Sentinel-2 MSI vaizdai, naudoti tyrime.

Nr.	Data	Palydovas	Produkto tipas	Debesuotumas (iki 15 %)
1.	2018-06-02	S2A	MSIL2A	11.5 %
2.	2018-06-17	S2B	MSIL2A	2 %
3.	2018-07-07	S2B	MSIL2A	12.5 %
4.	2018-07-22	S2A	MSIL2A	11 %
5.	2018-08-01	S2A	MSIL2A	1 %
6.	2019-06-07	S2A	MSIL2A	8 %
7.	2019-06-12	S2B	MSIL2A	1.5 %
8.	2019-06-22	S2B	MSIL2A	2.5 %
9.	2019-08-26	S2A	MSIL2A	1 %

2.4. Tyrime taikomos žemės dangos klasės

1.3 skyriuje atlikus įvairių ir plačiai naudojamų pasaulinių, europinių bei lokalių žemės dangos klasifikacijų apžvalgą, žemės dangos pokyčių identifikavimo metodikai sudaryti šiam tyrimui buvo pasirinktos bendros 6-ios pagrindinės žemės dangos klasės, dominuojančios daugumoje žemės dangos/žemės naudojimo klasifikacijų, kuriomis remiantis bus sudaromas žemės dangos pokyčių žemėlapis:

- hidrografija,
- miškai,
- vegetacijos plotai,
- smėlynai,
- užstatytos teritorijos,
- augmenija nepadengtos teritorijos.

Hidrografijos klasė apima jūrą, lagūną, vandens telkinius ir upes; *miškų klasei* priskiriamos teritorijos padengtos miškais (įskaitant jaunuolynus); *vegetacijos plotų klasei* – teritorijos, kurios padengtos žalia augmenija; *smėlynai* apima pakrantės zoną, karjerus ir kitas panašias teritorijas; *užstatytų teritorijų klasė* – gyvenvietės, dirbtinės dangos, pramoninės zonos ir *augmenija nepadengtu teritorijų klasė* apima teritorijas, kuriose neauga augmenija, kirtimai, plikas dirvožemis ir pan.

2.5. Tyrimui naudota programinė įranga

Vienas iš šio darbo tikslų yra naudoti ne tik viešai prieinamus atvirus duomenis, bet ir atviro kodo programinę įrangą. Tad atsižvelgiant į anksčiau aprašytus pasirinktus duomenis, buvo nuspręsta SAR ir MSI palydovinius vaizdus apdoroti su Europos kosmoso agentūros (toliau – EKA) finansuota SNAP Toolbox (toliau – SNAP) programine įranga, skirta apdoroti Sentinel-1, 2, 3 palydovų duomenis. SNAP naudojami procesai gali būti aprašomi ir „Python“ kalba, kuri leidžia vykdyti vaizdų apdorojimo procesus, nenaudojant grafinės aplinkos, taip pagreitinant patį apdorojimo procesą. Šios programinės įrangos minusas, kad naudoja didelius techninės įrangos resursus, tad su įprastu vartotojo kompiuteriu vienu metu galima apdoroti sąlyginai mažos apimties duomenis, todėl reikalingas geras tyrimo eigos planavimas (Copernicus, 2018) siekiant efektyviai atlikti vaizdų apdorojimo uždavinius.

Žemės dangos pokyčių išskyrimui ir apskaičiavimui pasirinkta kita atviro kodo programinė įranga – Quantum GIS (toliau – QGIS), kuri geba apdoroti apjungtus SAR ir MSI rastrus, taip pat tinka tiek ir rastrų, tiek ir vektorinių duomenų analizei.

2.6. SAR ir multispektrinių vaizdų apdorojimo metodai

Kaip jau buvo minėta literatūros analizėje, šiame darbe žemės dangos pokyčių identifikavimui naudojami Sentinel palydovų SAR ir multispektriniai vaizdai. Originalūs palydoviniai vaizdai yra didelės teritorinės apimties (priklausomai nuo produkto tipo, tačiau viena SAR nuotrauka gali padengti pusę Lietuvos teritorijos, multispektriniai vaizdai kiek mažesnės teritorinės apimties), todėl natūralu, kad tokios nuotraukos užima nemažai vietos kompiuterio diske, taip pat žymiai ilgiau trunka ir tokių nuotraukų apdorojimas, reikalingi didesni kompiuterio resursai. Reikalingi kompiuterio pajėgumai priklauso nuo norimos analizuoti teritorijos dydžio, tačiau rekomenduojama naudoti kompiuterius su ne mažesne nei 16 GB operatyviaja atmintimi ir i5 arba i7 procesoriais.

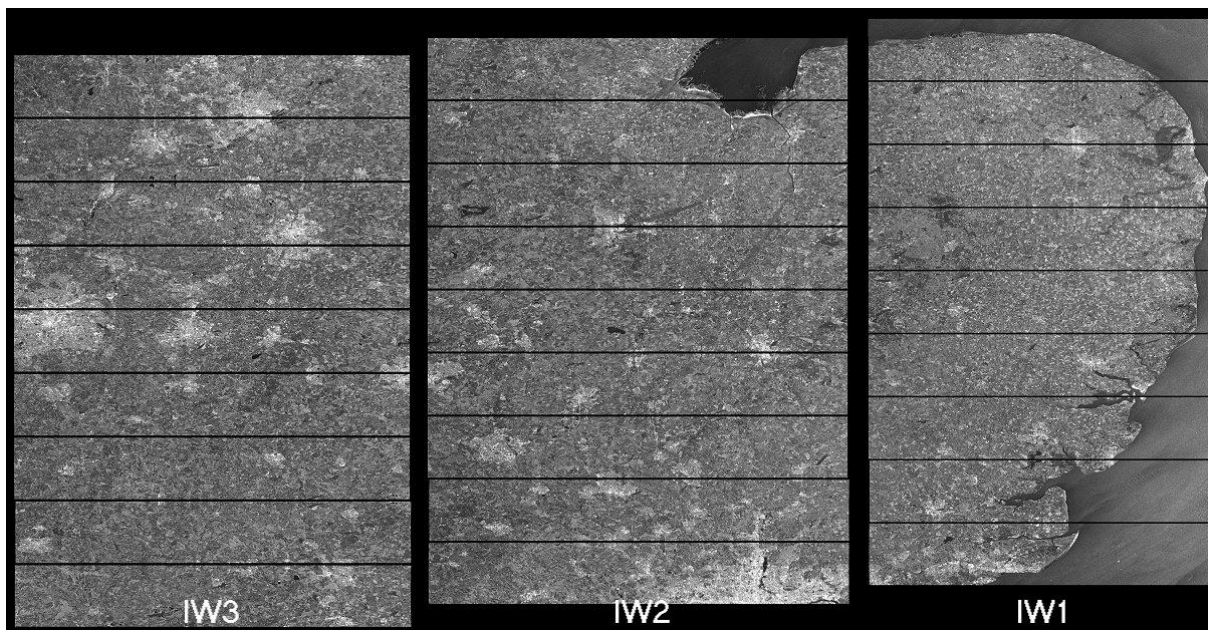
2.6.1. SAR duomenų apdorojimo metodai

EKA teikiami SAR duomenys turi skirtingas charakteristikas lyginant jas su optiniais nuotolinio stebėjimo duomenimis tiek savo fizikinėmis savybėmis, tiek ir pačių vaizdų gavimo principu, todėl jiems yra reikalingas pradinis apdorojimas, kad būtų galima atlikti tolimesnius tyrimus ir analizes. Tad remiantis techninėmis specifikacijomis ir išsamiais įvairių mokslininkų analizės rezultatais (Haas et al., 2017; S. Garrells, 2018; Liu et al., 2018; Clerici et al., 2017; Pohl et al., 2016; Iurist et al., 2017; Abdikan et al., 2016; Mercier et al., 2019; Denize et al., 2019), žemiau aprašyti SAR vaizdų apdorojimo metodai. SAR vaizdų apdorojimas vykdomas, naudojant ESA SNAP programinę įrangą.

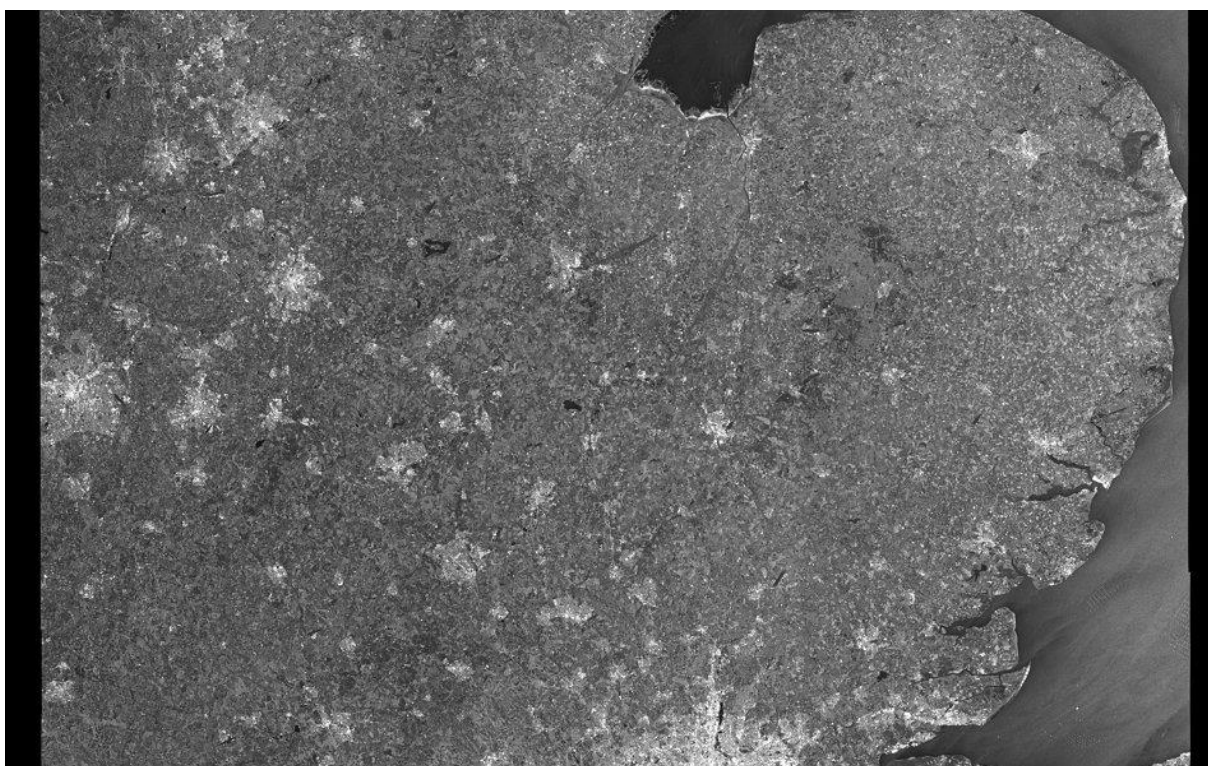
Palydovo padėties ir greičio informacijos tikslinimas. Realiuoju laiku, kai yra daromos SAR nuotraukos, informacija apie tikslią palydovo padėtį nėra žinoma, todėl produkto metaduomenyse būna užfiksuojama tik abstrakti informacija. Tačiau, naudojant orbitos failo taikymo įrankį (angl. *Apply Orbit File*), ji gali būti patikslinta, naudojant orbitos failus, kurie pasiekiami kelios dienos ar savaitė po vaizdo užfiksavimo. SNAP programoje šie failai atsiunčiami automatiškai, naudojant minėtą įrankį. Apdorojus SAR vaizdus orbitos failu, gaunama tiksli palydovo padėties ir greičio informacija, kuri pagerina tolimesniuose žingsniuose atliekamą nuotraukos geometrinę korekciją (SNAP Help, 2020).

Kalibravimas. SAR duomenų kalibravimo (angl. *Calibration*) metu palydovinis vaizdas įgauna tikrąsias atsispindėjusių spindulių reikšmes (sigma, beta, gama). Nekalibruotos nuotraukos taip pat gali būti naudojamos, tačiau tik kokybinei analizei, o norint atlikti kiekybinę analizę – būtinas kalibravimas. Radiometrinė korekcija taip pat būtina norint palyginti SAR vaizdus, gautus su skirtingais jutikliais, arba iš to paties jutiklio, bet skirtingu metu, skirtingais režimais arba apdorotus skirtingais procesoriais.

Nuotraukos plyšių užpildymas (angl. *TOPSAR Deburst*). S-1 gaminami IW ir EW produktai susideda iš atskirų juostų ir rėžių (6 **Error! Reference source not found.** pav.), kuriuos norint pašalinti ir padaryti vaizdą vientisą (7 pav.), reikia atlikti apjungimą.



6 pav. IW SLC produktas, sudarytas iš juostų ir rėžių prieš apjungimą (European Space Agency, 2020a)

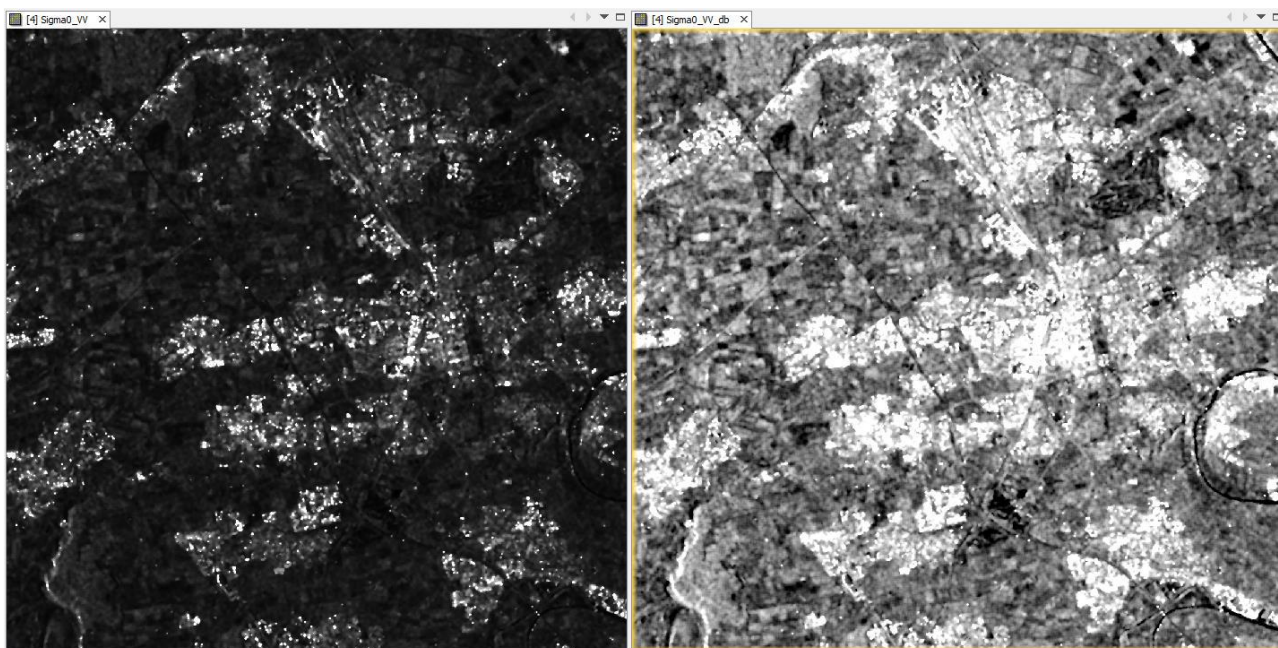


7 pav. IW SLC produktas po apjungimo (European Space Agency, 2020a)

Multilooking. SAR SLC vaizdai nėra sudaryti iš vienodo dydžio gardelių, o tai apsunkina tolimesnius plotų ir įvairios statistikos skaičiavimus. Todėl norint turėti vaizdus sudarytus iš vienareikšmių gardelių, reikia atlikti daugiapakopį apdorojimą (angl. Multilook).

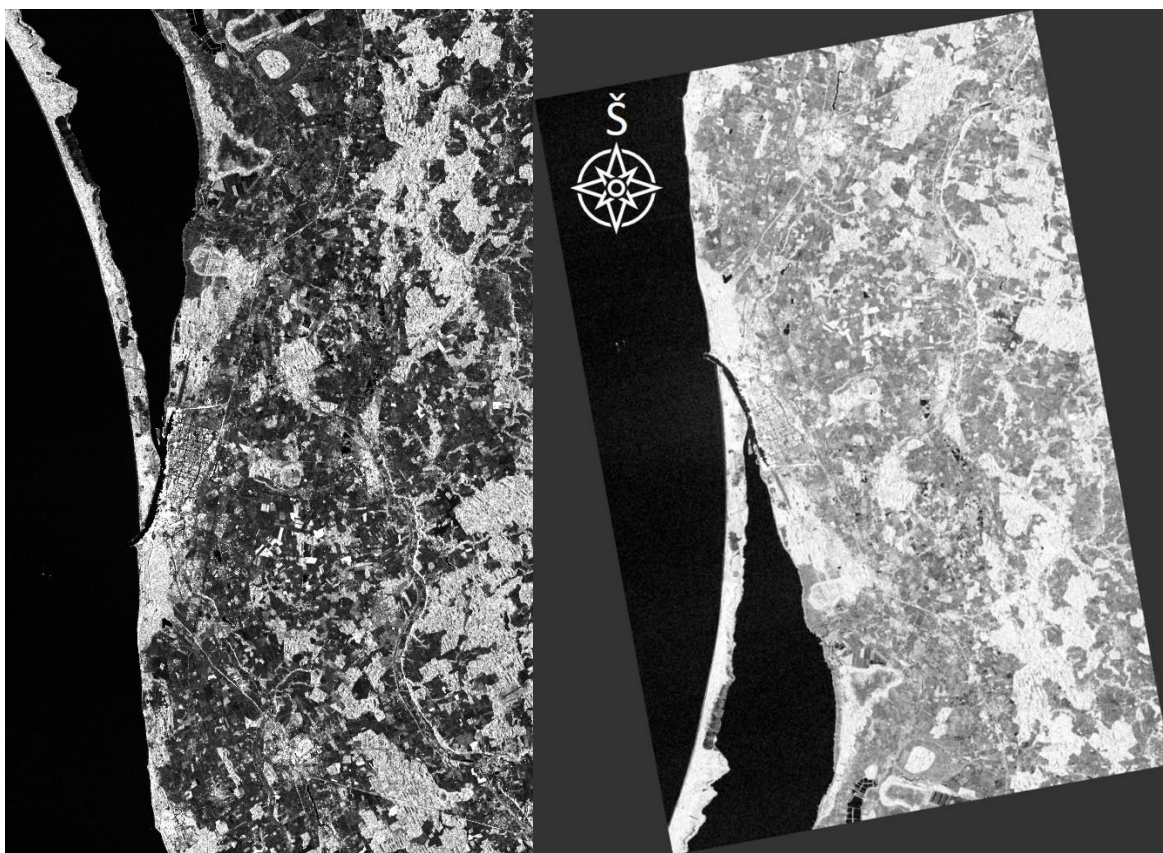
Dėmių filtras. Triukšmas vaizduose, tai atsitiktinai įsiterpusios dėmės (angl. *speckle*), kurios apsunkina vaizdų interpretavimą. Radarų vaizduose triukšmo visada būna dėl atspindžių išsklaidymo, atmosferos ir kitų aplinkos veiksnių, todėl prieš analizuojant vaizdus būtina jį sumažinti. Yra sudaryti matematiniai modeliai, kurie mažina triukšmą, tačiau visi jie turi neigiamos įtakos pačiam vaizdai, tokios kaip: rezoliucijos sumažėjimas ar objektų suliejimas. Triukšmo mažinimo metu pikselio reikšmės yra modifikuojamos panaudojant šalia esančių pikselių reikšmes. Taikomus modelius galima suskirstyti į dvi grupes: adaptyvius ir neadaptyvius. Neadaptyvūs naudoja vienodą pikselių svorį, tam kad sulietų visą vaizdą (Mean ir Median modeliai). Adaptyvūs naudoja pikselių svorį, parinktą pagal visą triukšmą vaizde (Lee, Frost, Kuan, Gamma Map, Local Region). Jie tinkamesni analizei, jeigu siekiama vaizduose išlaikyti detalumą (Ozsarici ir kt., 2010). Šiame darbe buvo pasirinktas naudoti Lee Sigma filtras, kuris naudoja standartinę nuokrypį triukšmo sumažinimui vaizde.

Poliarizacijos juostų transformavimas į logaritminę skalę (angl. *Linear to db*). Norint pasiekti normalesnį verčių pasiskirstymą, radiolokacinio atvaizdo atžvilgiu taikoma logaritminė funkcija. Tai paverčia pikselių reikšmes į logaritminę skalę ir duoda didesnius kontrastus (8 pav.), nes ryškios vertės pasislenka link vidurkio, o tamsiosios vertės ištempiamos platesniame spalvų diapazone (Braun, 2020). Šis žingsnis nėra būtinas ir nekeičia įvaizdžio informacijos turinio, tačiau patartinas, kai vaizdo kontrastai yra svarbūs.



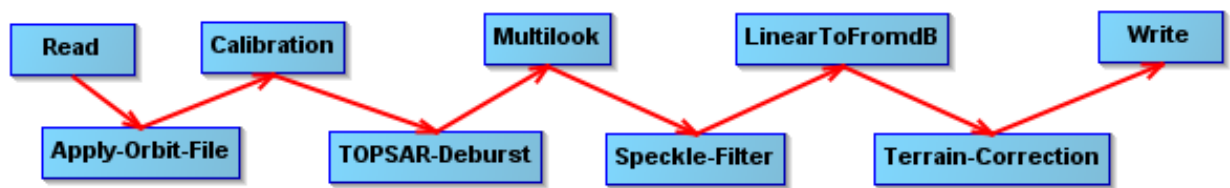
8 pav. Sentinel-1 Sigma VV poliarizacijos vaizdai prieš (kairėje) ir po (dešinėje) konvertavimo į logaritminę skalę (Braun, 2020)

Geografinis orientavimas. Dėl žemės paviršiaus reljefo netolygumų ir S-1 sensoriaus pokrypio, atstumai SAR vaizduose dažnu atveju yra iškreipti, o jų padėtis atrodo veidrodinė, kuri priklauso nuo palydovo orbitos, o ši gali būti kylanti (angl. *Ascending*) arba besileidžianti (angl. *Descending*) ir antenos pasukimo krypties, kuri gali būti kairės arba dešinės (Ciparytė, 2018). Todėl norint turėti geografiškai orientuotus vaizdus yra būtina atlikti geografinį orientavimą (angl. *Terrain Correction*). Geografinį orientavimą galima atlikti pagal pasirinktą reljefo modelį, pikselio dydį ir koordinacių sistemą. Šiame darbe buvo naudojamas „SRTM 1 sec HGT“ SNAP programoje pateiktas reljefo modelis, nurodytas pikselio dydis yra 10 m, o koordinacių sistema pasirinkta WGS84 / UTM zona 34N. Šio įrankio efektyvumas parodytas 9 paveiksle.



9 pav. Vaizdo geografinis orientavimas. Vaizdas dešinėje yra prieš geografinį orientavimą, dešinėje – po (payzdžiai autorės)

Šiame darbe SAR vaizdams apdoroti buvo sudarytas modelis, kuriame nurodžius duomenų šaltinį, automatizuotai atliekami visi apdorojimo žingsniai ir gaunamas galutinis vaizdas, kuris toliau jau gali būti naudojamas duomenų apjungimui. Naudojant šį modelį yra išvengiami tarpiniai produktai, kurie užima vietos kompiuterio atminties diske, tad tokiu būdu ji yra sutaupoma. Taip pat apdorojant vaizdus atskirai reikalingas pastovus žmogaus darbo įsikišimas, kas gali įvelti atsitiktinių, netyčinių klaidų, o tai reiškia galimą nevienodą produktų apdorojimą, kas gali iškreipti informaciją, atliekant žemės dangos klasifikavimą.



10 pav. SAR vaizdų apdorojimo modelis

2.6.2. Multispektrinių vaizdų apdorojimo metodai

Šiame darbe naudojami EKA teikiami L2A multispektriniai vaizdai buvo dalinai apdoroti ir iškart tinkami duomenų sintezei atlikti, todėl nebuvo reikalingas jų papildomas apdorojimas programine įranga. Tačiau norint išvengti duomenų pertekliaus ir pagreitinti tolimesnius procesus, turi būti atliekamas tam tikras vaizdų apkirpimas, o tiksliau duomenų pogrupio pasirinkimas. Kadangi duomenų sintezei nėra reikalingi saulės padėties, azimuto ar kokybės indikatorių duomenys, tad naudotas pogrupio įrankis (angl. *Subset*), kuriame pasirenkamos tik multispektrinio vaizdo juostos, išskyrus tas, kurios jautrios aerozoliams ir debesims (1, 9 ir 10 juostos). Galutinį produktą turi sudaryti šios juostos: B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8a, B11, B12.

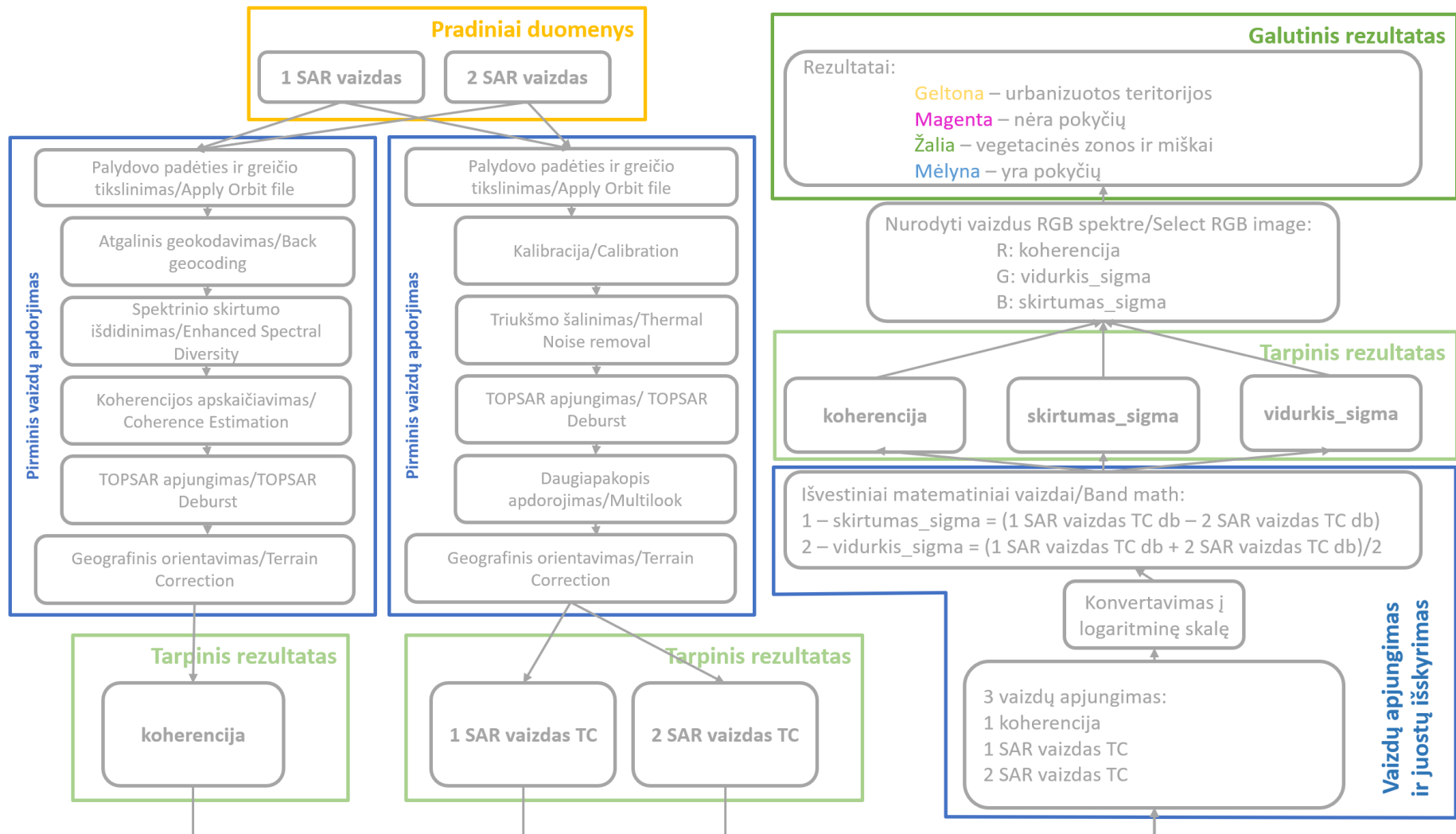
2.7. SAR ir multispektrinių vaizdų sintezės, klasifikavimo ir pokyčių identifikavimo metodai

Kaip jau buvo minėta anksčiau šiame darbe, dauguma mokslininkų SAR ir MSI vaizdų sintezę taiko konkrečiam objektui ar reiškiniui stebėti, kuris apima sąlyginai mažą teritoriją (iki 1000 km²) ir tik nedaugelis tokias metodikas taiko didesnės įvairovės ir teritorinės aprėpties žemės dangos klasifikavimui atlikti. Taip pat dažnai mokslininkai naudoja savo sudarytą metodiką objektų ir reiškinių identifikavimui, tad vienos bendros ir efektyvios metodikos paruoštos nėra, tuo labiau atsižvelgiant į tai, kad dauguma jas taikė tik konkrečiam objektui analizuoti, dėl to jas reikia kombinuoti ir pritaikyti platesniems uždaviniams spręsti. Todėl remiantis įvairiais šaltiniais, pirmiausia buvo atsirinkta keletas skirtingų metodikų žemės dangos pokyčių identifikavimui, naudojant SAR ir MSI palydovinius vaizdus, kurios testuotos šiame darbe, kad būtų gauta labiausiai tenkinanti rezultatais, optimizuota bendra metodika.

Analizuojant literatūrą apie žemės dangos klasifikavimą, naudojant nuotolinius tyrimus, nesunku pastebėti, kad daugumoje šaltinių rekomenduojama tam naudoti MSI vaizdus. Tačiau tuo pačiu pastebėta, kad populiarėja metodikos, kai taikomi tik SAR vaizdai žemės dangos klasifikavimui, tačiau ši sritis vis dar mažai analizuota, o toks žemės dangos klasių identifikavimo būdas mažai taikytas praktiškai. Kadangi tai pakankamai nauja sritis, pasirodė įdomu ją plačiau

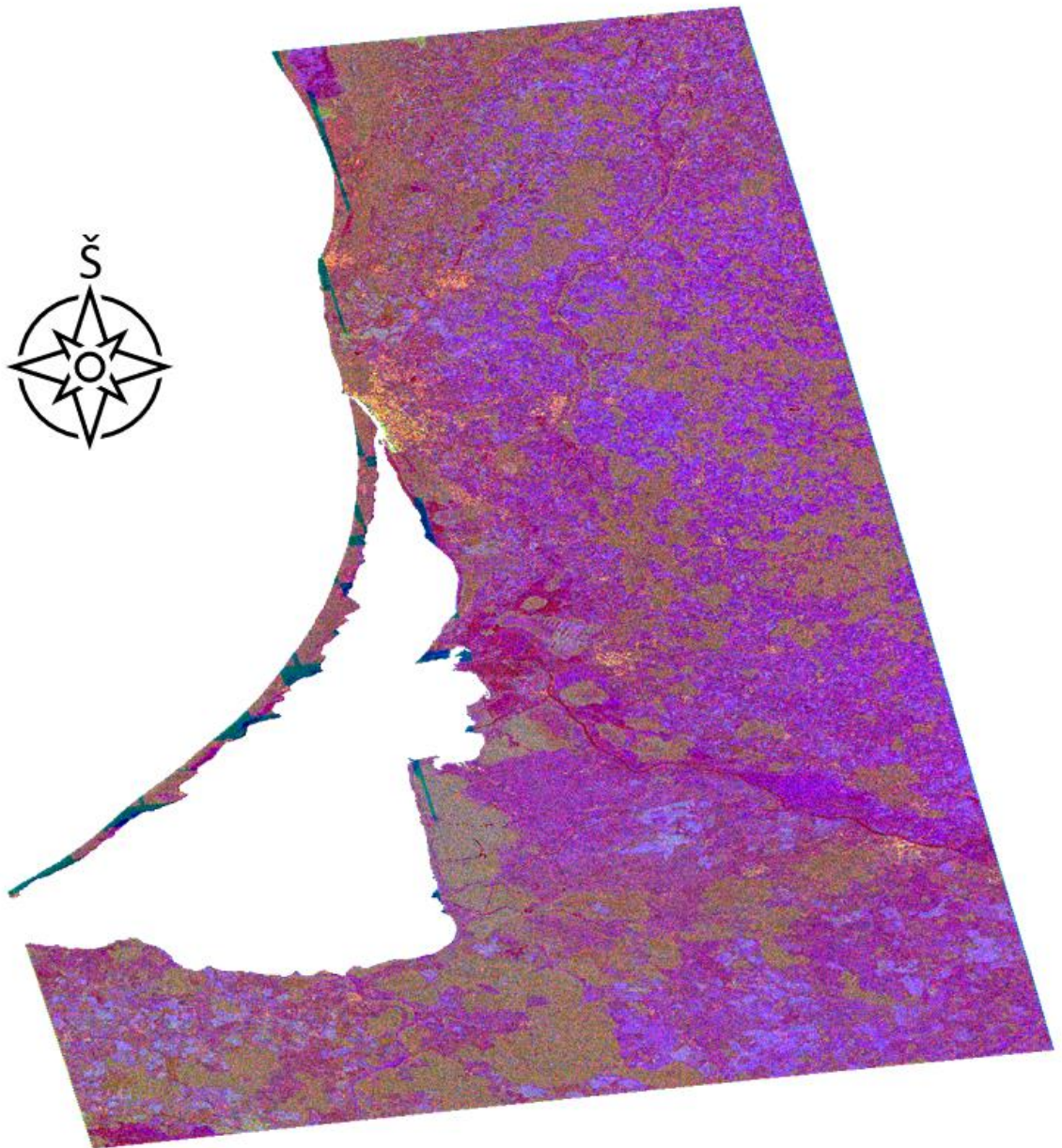
paanalizuoti, todėl šiame darbe pirmiausia buvo pasirinkta naudoti tik SAR vaizdus visos žemės dangos klasifikavimui, o MSI vaizdais užpildyti tas spragas, kur objektų identifikavimas gali būti sudėtingas, taikant tik SAR duomenis.

Šiam tikslui pasiekti buvo remiamasi Magdalena Fitrzyk (2019) mokymų medžiaga, kuriuose žemės dangos pokytis identifikuojamas, naudojant bangų koherenciją, o rezultatas pateikiamas RGB kompozicija. 11 paveiksle pateiktoje schemoje matyti, kokia buvo naudojama metodika. Pirmiausia buvo pasirinkti dveji skirtingo laikmečio (2018 ir 2019 metų birželio mėnesio pradžios) SAR vaizdai, kurie pirmiausia buvo apdoroti ir išskirta bangų koherencija. Sekančiame žingsnyje tie patys pradiniai duomenys vėl apdoroti ir atlikti skaičiavimai, po kurių buvo gautos dvi nuotraukos – atsispindėjusių bangų skirtumas ir vidurkis decibelais. Visos trys gautos nuotraukos, naudojamos RGB kompozicijai, kur raudona banga nurodoma, kaip koherencija, žalia – vidurkis, o mėlyną – skirtumas.



11 pav. Palydovinių vaizdų apdorojimo ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodinė schema (1 variantas, pagal Fitrzyk, 2019)

Gautas rezultatas pavaizduotas 12 paveiksle, kuriame geltoni plotai reiškia užstatytas ir urbanizuotas teritorijas, žali plotai atvaizduoja vegetacinius plotus bei miškus, magenta spalvos plotai reiškia, kad toje vietoje nebuvo žemės dangos pokyčių, o mėlyna spalva atvaizduojami žemės dangos plotai, kurie tiriamajame laikotarpyje pakito.



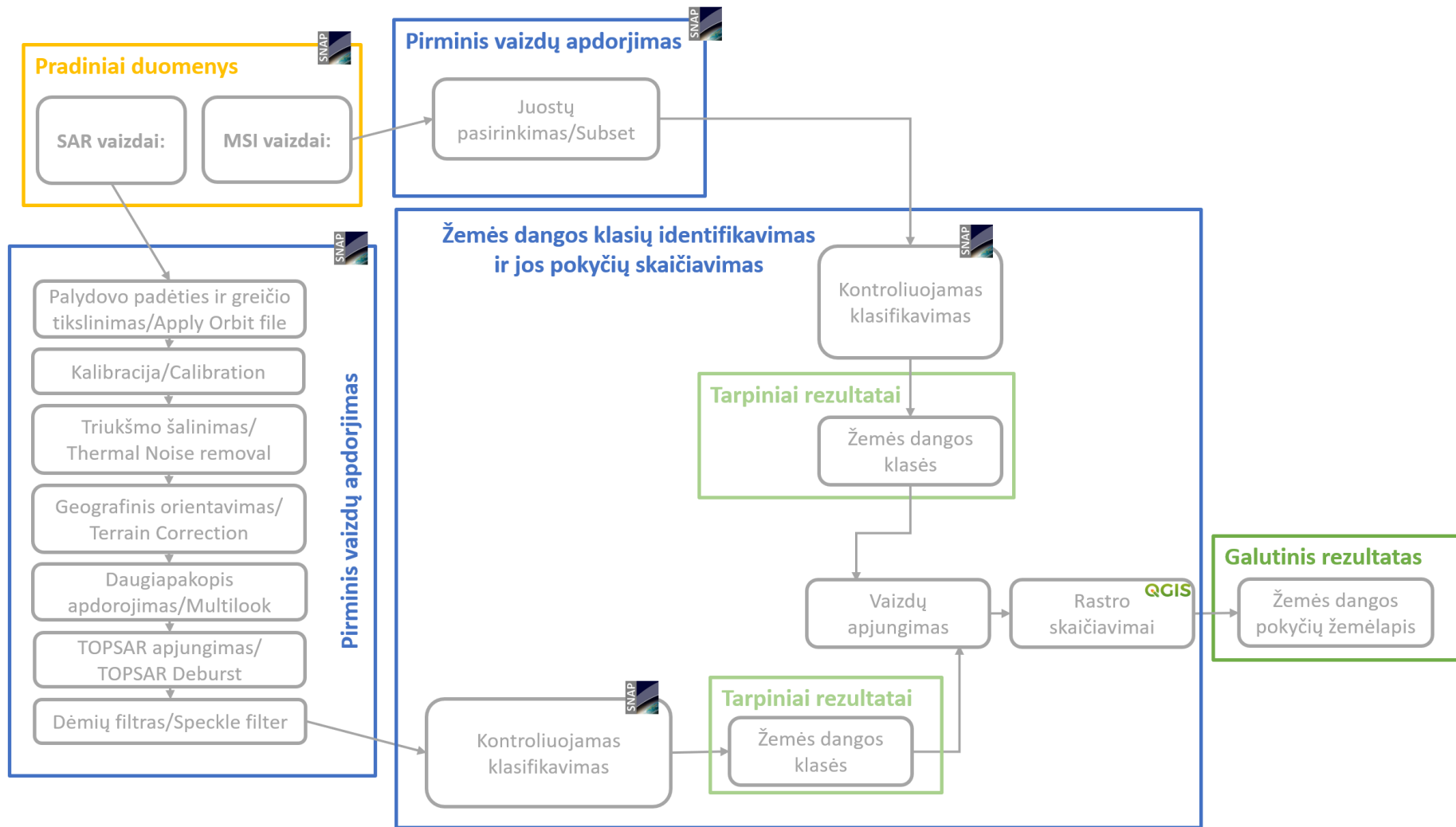
12 pav. Identifikuoti žemės dangos pokyčiai, naudojant SAR vaizdus. Geltoni plotai – urbanizuotos teritorijos, žali – vegetacinės teritorijos ir miškai, magenta – nėra pokyčių, mėlyna – pokyčiai yra.

Gautas rezultatas buvo analizuotas vizualiai ir lygintas su to pačio laikmečio RGB palydoviniais vaizdais. 12 paveiksle pateiktame vaizde matyti, kad pakankamai aiškiai ir tiksliai

išskirti miškų plotai bei urbanizuotos teritorijos, taip pat matyti, kad metų laikotarpyje nepakito upės vaga. Tačiau analizuojant dirbamos žemės, pievų, ganyklų ir kitos vegetacijos plotus, identifikuoti metiniai skirtumai, kurie užima nemažą teritoriją. Lyginant šiuos plotus RGB vaizduose, matyti, kad jų faktinė reikšmė nepakito, tai reiškia, kad jei tas plotas buvo naudojamas žemdirbystei, tai po metų jis naudojamas tam pačiam tikslui, tačiau įvyko pokytis tarp augmenijos augimo stadijos. 2018 metai vegetacinis sezonas prasidėjo vėliau, nei 2019 metais.

Svarbu pastebėti, kad toks gautas rezultatas yra tinkamas vizualinei analizei ir palyginimams, tačiau yra visiškai netinkamas matematinėms analizėms, tai reiškia, kad negalima atlikti skaičiavimų iš kokios klasės į kokią pasikeitė žemės danga, taip pat negalimi ir žemės dangos pokyčių plotų skaičiavimai. Taip yra todėl, kad vizualiai prie smulkaus mastelio galima matyti, kurios gardelės kuriai klasei priklauso, tačiau analizuojant jas atskirai matyti, kad jos neturi nei vieningos tai klasei būdingos spalvinės reikšmės, nei identifikatoriaus, pagal kurį būtų galima atskirti objektų klases. Taip pat naudojant šią metodiką MSI vaizdai tampa nebepanaudojami identifikuojant žemės dangos klases, todėl atsižvelgiant į tai ir į išsikeltą uždavinį identifikuoti žemės dangos klasių pokytį, naudojant SAR ir MSI vaizdų sintezę, ši metodika buvo atmesta kaip netinkama išsikeltam tikslui įgyvendinti.

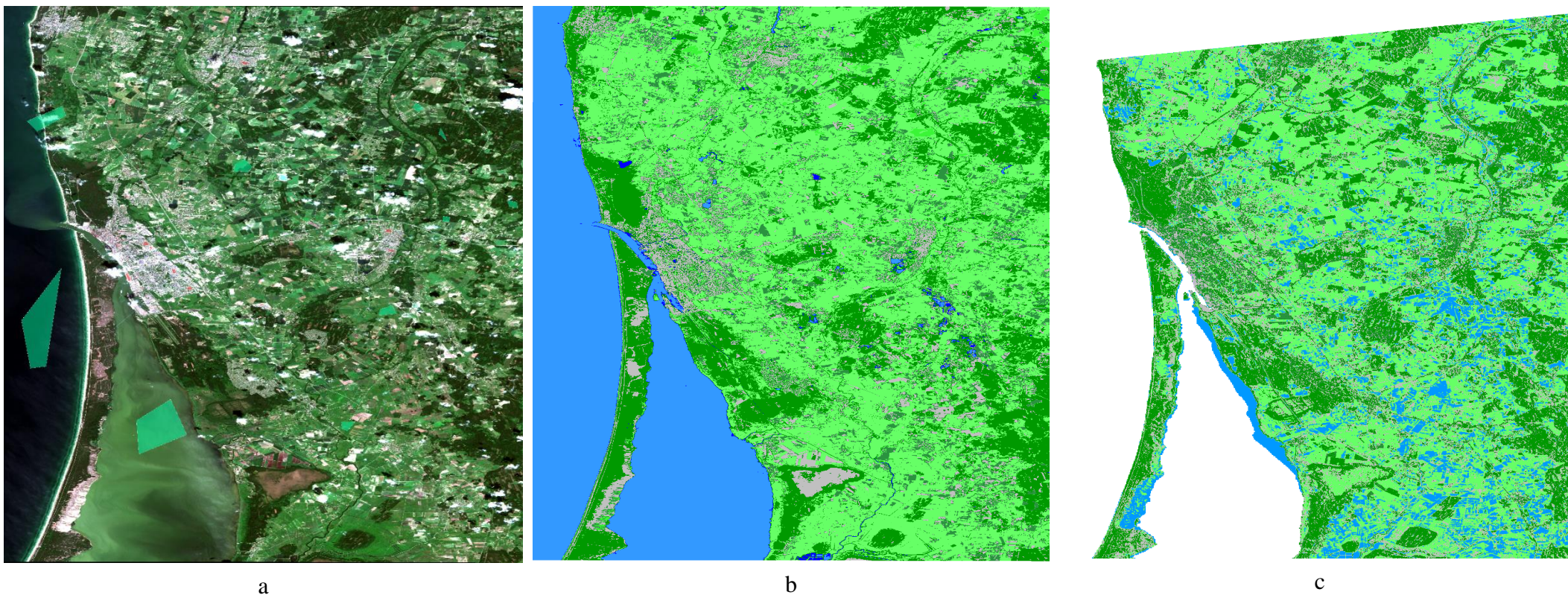
Nepasitvirtinus aukščiau aprašytai naudotai metodikai, toliau buvo nuspręsta atlikti žemės dangos klasifikavimą atskirai SAR ir MSI vaizdams, taikant kontroliuojamą klasifikavimo būdą ir atsitiktinių miškų algoritmą, o vėliau juos apjungiant. 13 *pav. Palydovinių vaizdų apdorojimo ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodinė schema (2 variantas, sudaryta autorės)*. paveiksle pateikta schema, kokia buvo atlikta darbo eiga. Šiam tyrimui taip pat buvo naudojami 2018 ir 2019 metų birželio mėnesio duomenys.



13 pav. Palydovinių vaizdų apdorjimo ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodinė schema (2 variantas, sudaryta autorės).

Kaip matyti schemoje, tai pirmiausia atliktas S-1 ir S-2 vaizdų apdorojimas su SNAP programos įrankiais, kurie detaliau aprašyti 2.6 skyriuje. Atlikus pirminį vaizdų apdorojimą, toliau buvo vykdomas žemės dangos klasifikavimas. 14 paveikslo b ir c dalyse pateikti gauti rezultatai po taikyto kontroliuojamo klasifikavimo būdo, taip pat papildomai pateiktas ir 14 paveikslo a vaizdas tam, kad būtų galima vizualiai palyginti, kokia žemės danga buvo tuo laikotarpiu tiriamojoje teritorijoje RGB spektre, kuris žmogaus akiai įprastas ir aiškiai suprantamas.

Analizuojant gautus vaizdus, matyti, kad rezultatas, gautas iš MSI vaizdų kur kas labiau atitinka realybę, nei SAR klasifikuoti vaizdai. SAR klasifikuotoje nuotraukoje geriausiai išskirtos miškingos teritorijos, tačiau visose kitose objektų klasėse matomi dideli neatitikimai su faktine situacija. Tuo tarpu analizuojant MSI klasifikuotus vaizdus, matyti pakankamai neblogai išskirtos urbanizuotos teritorijos, tačiau vietomis jos sumaišytos su panašaus spalvinio spektro teritorijomis, tai yra smėlingos vietos, sausa ariama žemė, kirtimai ir pan. MSI vaizduose taip pat labai gerai išskirtos mažesnio ir didesnio ploto miškingos teritorijos, bei didesnio ploto vandens telkiniai ir upės, tačiau mažesnio ploto vandeningos teritorijos liko neidentifikuotos, kai tuo tarpu SAR vaizduose jos identifikuotos.

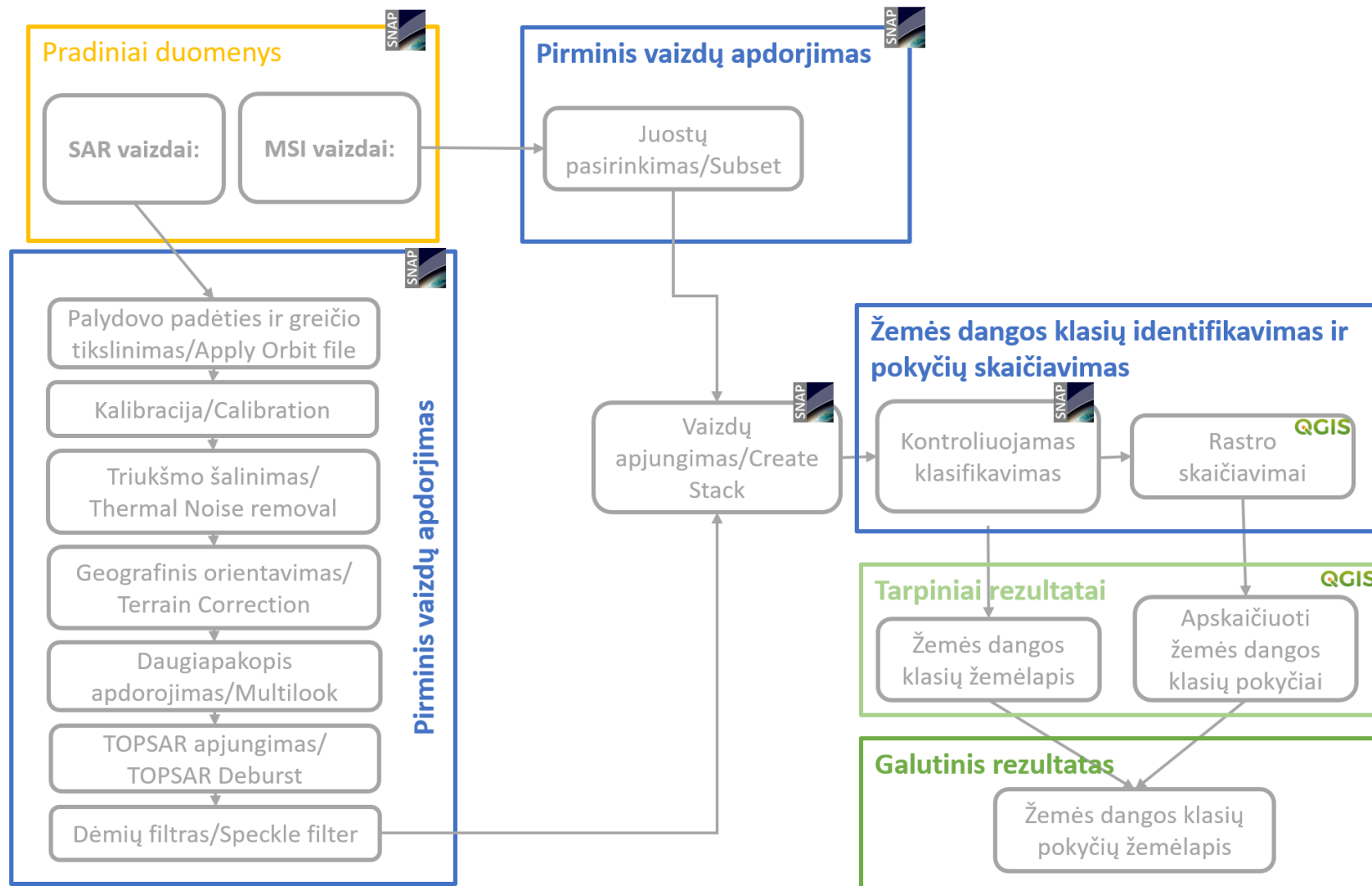


14 pav. a – Sentinel-2 vaizdas RGB spektre; b – Sentinel-2 kontroliuojamas klasifikavimas; c – Sentinel-1 kontroliuojamas klasifikavimas.
Mėlyna spalva - hidrografija, tamsiai žalia - miškai, šviesiai žalia - vegetacinės teritorijos, ruda – augalija nepadengti plotai, pilka – urbanizuotos teritorijos, gelsva – smėlis.

Atskirai klasifikuojant SAR ir MSI vaizdus, gaunamas per didelis rezultatų skirtumas, kad būtų galima vėliau juos apjungti į vieną bendrą žemės dangos klasių žemėlapi. Tad ši metodika taip pat buvo atmesta, kaip netinkama galutiniam užsibrėžtam tikslui pasiekti.

Toliau nagrinėjant kitų mokslininkų darbus panašia tematika, išsiaiškinta, kad programa SNAP leidžia apjungti SAR ir MSI vaizdus į vieną bendrą kompoziciją (angl. *Stack*) dar prieš atliekant žemės dangos klasifikavimą.

Tad pakoregavus prieš tai aprašytą naudotą metodiką, tie patys vaizdai po pradinio apdorojimo buvo apjungti į bendrą SAR ir MSI kompoziciją (15 pav.). Tačiau gautas vaizdas po apjungimo (15 pav.) parodė visiškai kitokį rezultatą nei buvo tikėtasi – faktinis SAR ir MSI vaizdų apjungimas buvo atliktas, tačiau visiškai nesutapo nei jų mastelis, nei projekcija.

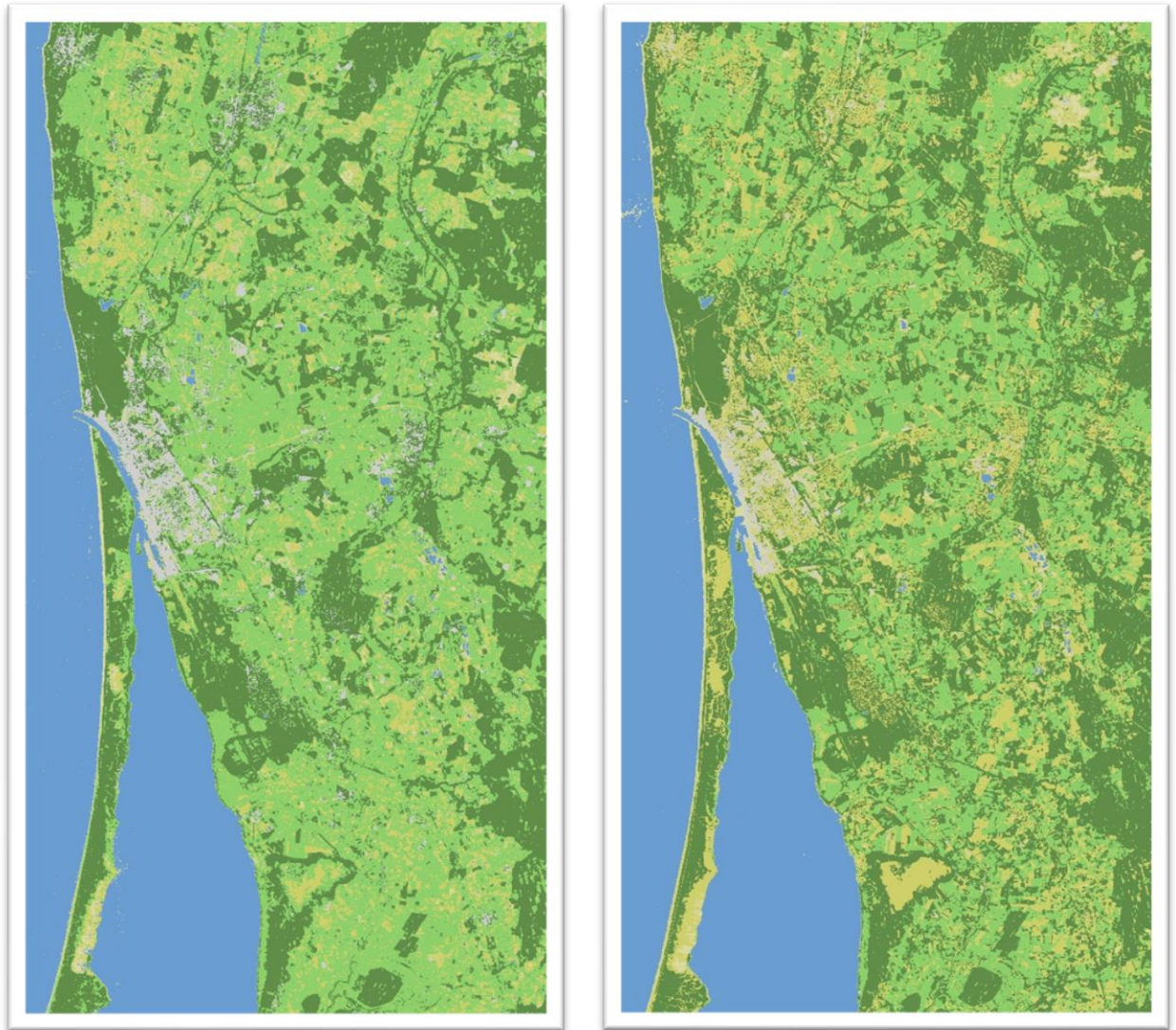


15 pav. Palydovinių vaizdų apdorojimo ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodinė schema (3 variantas, sudaryta autorės).



16 pav. SAR ir MSI vaizdų netinkamo apjungimo pavyzdys

Dauguma autorių pateikia tik apibendrintas schemas, neišskirdami konkrečių naudojamų metodų jų pateiktiems rezultatams pasiekti, todėl sunku suprasti, kaip kai kuriais atvejais buvo gauti vieni ar kiti rezultatai. Tačiau daugiau pasigilinus į SNAP programines galimybes, buvo atrastas kitas vaizdų apjungimo (angl. *Collocate*) būdas, kuris naudoja vieną vaizdą kaip pagrindinį (angl. *Master*), kad visi kiti vaizdai būtų perprojektuoti pagal jį, atsižvelgiant į jo geografinę poziciją bei gardelės didį. Šiuo atveju SAR vaizdai nurodomi kaip pagrindiniai, nes kaip matyti 15 paveikslėlio schemoje, apdorojimo metu jiems yra taikomas orbitos failas, po kurio vaizdai būna geografiškai labai tikslūs.



17 pav. kairėje – 2018 metų birželio mėnesio žemės dangos klasės; dešinėje - 2019 metų birželio mėnesio žemės dangos klasės. Mėlyna spalva - hidrografija, tamsiai žalia - miškai, šviesiai žalia – vegetaciniai plotai, šviesiai ruda – augalija nepadengti plotai, pilka – urbanizuotos teritorijos, gelsva – smėlynai.

17 paveiksluose pateikti gauti rezultatai, atlikus 2018 metų ir 2019 metų birželio mėnesio žemės dangos klasifikavimą, naudojant SAR ir multispektrinių vaizdų sintezę. Lyginant su anksčiau gautais rezultatais šis rezultatas yra pakankamai geras, tačiau atidžiau analizuojant gautus vaizdus matyti, kad gana prastai išskiriamos urbanizuotos teritorijos, dažnu atveju jos būna sumaišytos su augmenija nepadengta žemės dangos klase arba smėlingomis teritorijomis. Taip pat pastebėta, kad skirtingais metais tą patį birželio mėnesį yra ne vienoda vegetacinio sezono pradžia, kas gali turėti įtakos minėtų trijų klasių atskyrimui, tuo pačiu nesutampantis sezonas apsunkina metinį žemės dangos klasių pokyčių identifikavimą.

Analizuojant N. Clerici su bendraautorai parašytą straipsnį, kuriame taikant S-1 ir S-2 palydovų vaizdų sintezę, atliko žemės dangos kartografavimą Kolumbijos Magdalenos regione. Šie autoriai, skirtingai nei kiti, naudojant multispektrinių vaizdų juostas atliko matematinius skaičiavimus, taikant normalizuoto skirtumo augmenijos, Sentinel-2 raudonojo krašto pozicijos, žaliojo normalizuoto skirtumo augmenijos indeksus.

Normalizuotos augmenijos skirtumo indeksas (NDVI) yra dažniausiai naudojamas indeksas nuotoliniuose stebėjimuose, analizuojant vegetaciją, kuris taip pat palčiai taikomas ir atliekant žemės dangos žemėlapių sudarymui (Clerici, Valbuena Calderón ir Posada, 2017). Šis indekso gautos reikšmės (tarp 0,1 ir 1) apibūdina augalijos būklę, kuo reikšmė didesnė, tuo augalų būklė geresnė (augalai žalesni). Šis indeksas yra patogus vertinant augalijos būklės pokyčius per laiką toje pačioje teritorijoje, palyginti didesnės teritorijos būklę ar, turint daugiamečius duomenis, įvertinti tam tikro laikotarpio anomalijas (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2017).

N. Clerici tyrime teigia, kad žemės naudojimo klasifikacijai taip pat gali būti naudinga įtraukti informaciją iš elektromagnetinio spektro raudonojo krašto juostų. Sentinel-2 raudonojo krašto pozicijos indeksas (angl. *Sentinel-2 Red-Edge Position Index*) (toliau – S2REP) pagrįstas tiesine interpoliacija, naudojant Sentinel-2 5 ir 6 juostas, kurios abi yra raudonojo krašto ir tinkamos augmenijos identifikavimui.

Žaliojo normalizuotos skirtumo augmenijos skirtumo indekso (angl. *Green Normalized Difference Vegetation Index*) (toliau – GNDVI) skaičiavimui naudojami matomosios žalios, o ne matomosios raudonos (kaip NDVI indekse) ir artimojo infraraudonųjų spindulių spektro duomenys. Naudinga matuojant fotosintezės intensyvumą ir stebint augalų stresą, o dėl rodiklyje naudojamų spektrinių ruožų ypatumų, jis yra jautresnis lyginant su NDVI. Šis indeksas padeda ne tik identifikuoti augaliją, bet ir išryškinti skirtumus tarp hidrografijos ir augmenijos klasių (hidrografiniai objektai įgauna neigiamas reikšmes) (Kriščiukaitienė *et al.*, 2020).

Visi trys minėti indeksai daugiau ar mažiau yra skirti augalijos geresniam identifikavimui palydoviniuose vaizduose. Tačiau analizuojant žemės dangos klasifikavimo rezultatus buvo paminėta, kad urbanizuotos teritorijos taip pat yra prastai išskiriamos ir maišomos su kitomis klasėmis. Todėl buvo nuspręsta taip pat naudoti ir indeksą, kuris padėtų išskirti urbanizuotas teritorijas. Vienas tokių yra normalizuoto pastatų skirtumo indeksas (angl. *Normalized Difference Built-Up Index*) (toliau – NDBI). Šis indeksas išryškina urbanizuotas teritorijas, pasižyminčias didesniu trumpųjų bangų atspindžiu infraraudonųjų spindulių spektro diapazone (He *et al.*, 2010; Kuc ir Chormański, 2019).

Visi minėti indeksai apskaičiuojami, naudojant šias formules:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} = \frac{(B8-B4)}{(B8+B4)} \quad (1)$$

$$S2REP = 705 + 35 * \left[\frac{\left(\frac{RE683+RED}{2} \right) - RE705}{RE740-RE705} \right] = 705 + 35 * \left[\frac{\left(\frac{B7+B4}{2} \right) - B5}{B6-B5} \right] \quad (2)$$

$$GNDVI = \frac{(GREEN-RED)}{(GREEN+RED)} = \frac{(B3-B4)}{(B3+B4)} \quad (3)$$

$$NDBI = \frac{(SWIR-NIR)}{(SWIR+NIR)} = \frac{(B11-B8)}{(B11+B8)} \quad (4)$$

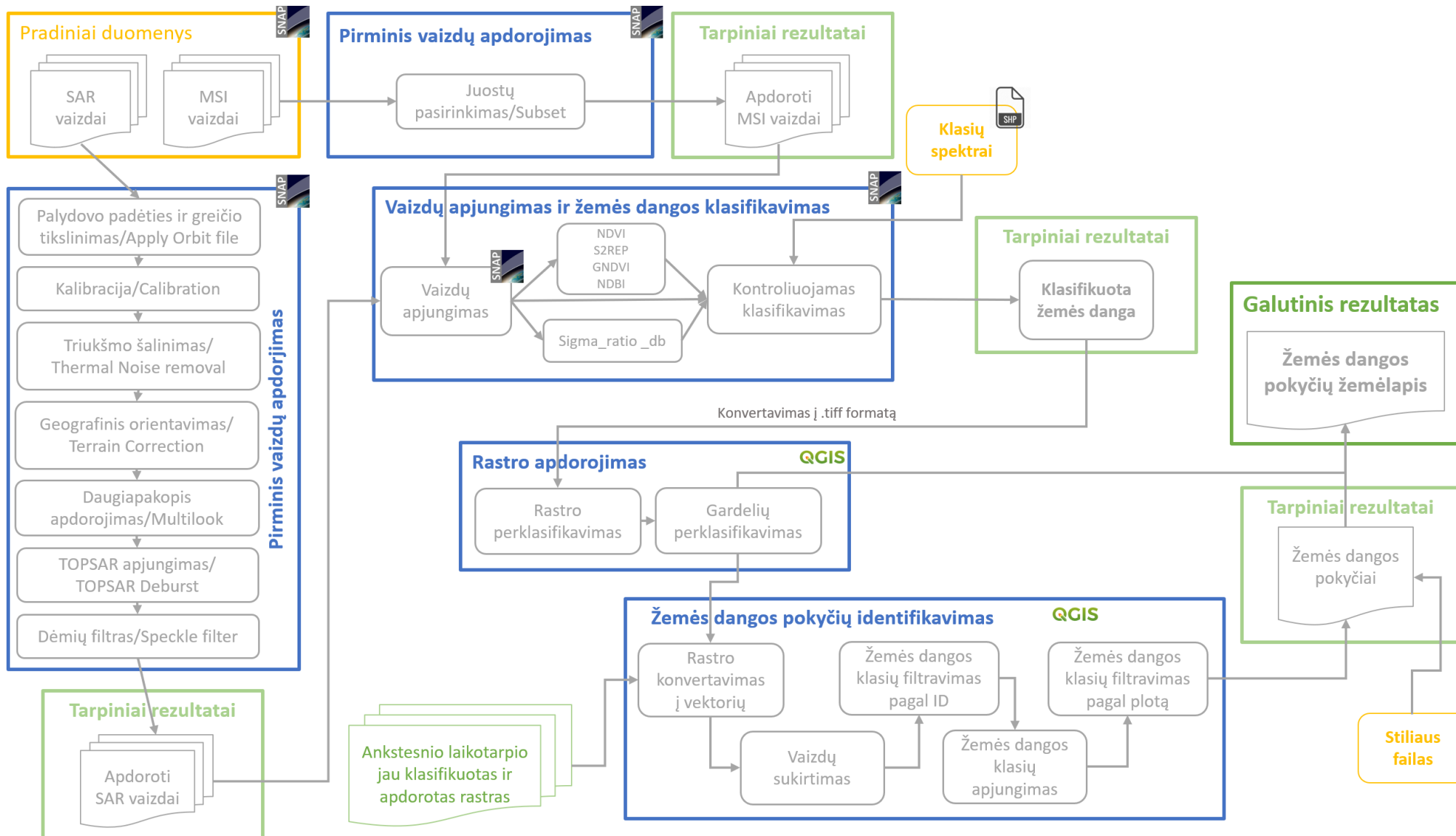
kur B4, B5, B6, B8, B11 Sentinel-2 multispektrinių vaizdų juostos.

Be minėtų indeksų, skirtų matematiniam skaičiavimams su multispektrinių vaizdų juostomis, papildomai buvo atlikti skaičiavimai ir apdorotiems SAR vaizdams. Norint sumažinti juostų disbalansą, naudojant VV ir VH juostas, apskaičiuojamas santykis tarp dviejų poliarizacijų pagal žemiau pateiktą formulę.

$$Sigma_ratio_db = Sigma0_VV_db - Sigma0_VH_db, \quad (5)$$

kur Sigma_VV_db ir Sigma_VH_db Sentinel-1 apdorotų SAR vaizdų juostos.

Atlikus aprašytus pakeitimus bei detalizavus žemės dangos pokyčių identifikavimą, buvo patikslinta ir sudaryta galutinė metodinė schema, kuri pateikta 18 paveiksle.



18 pav. Palydovinių vaizdų apdorojimo ir žemės dangos pokyčių identifikavimo metodinė schema (4 variantas, sudaryta autorės).

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Žemės dangos pokyčių kartografavimas

Vadovaujantis 18 paveiksle pateikta metodine schema, sudarytas 2018 ir 2019 metų žemės dangos pokyčių žemėlapis.

Atsižvelgiant į tarpinių tyrimų rezultatus, palydovinius vaizdus buvo numatyta naudoti tuos, kurie užfiksuoti vegetacinio piko metu, tai yra liepos mėnesį, kad būtų maksimaliai išvengti sezoniniai skirtumai. Tačiau 2019 metais liepos mėnesį nėra užfiksuotų multispektrinių vaizdų, kurie turėtų mažesnę nei 15 % debesuotumą, tad buvo pasirinkti birželio mėnesio antros pusės ir rugpjūčio mėnesio vaizdai. Tuo tarpu SAR vaizdų kokybei, kaip minėta analizėje, debesuotumas ir paros laikas nėra aktualus, tad jie tyrimui buvo pasirenkami, atsižvelgiant į vegetacinį piką.

10 lentelė. SAR ir multispektriniai vaizdai, naudoti tyrimo metu.

SAR vaizdai	MSI vaizdai
2018 m. liepos 13 d.	2018 m. birželio 17 d.
2018 m. liepos 18 d.	2018 m. liepos 7 d.
2018 m. liepos 24 d.	2018 m. liepos 22 d.
2019 m. liepos 7 d.	2018 m. rugpjūčio 1 d.
2019 m. liepos 13 d.	2019 m. birželio 12 d.
2019 m. liepos 19 d.	2019 m. birželio 22 d.
2019 m. liepos 25 d.	2019 m. rugpjūčio 26 d.

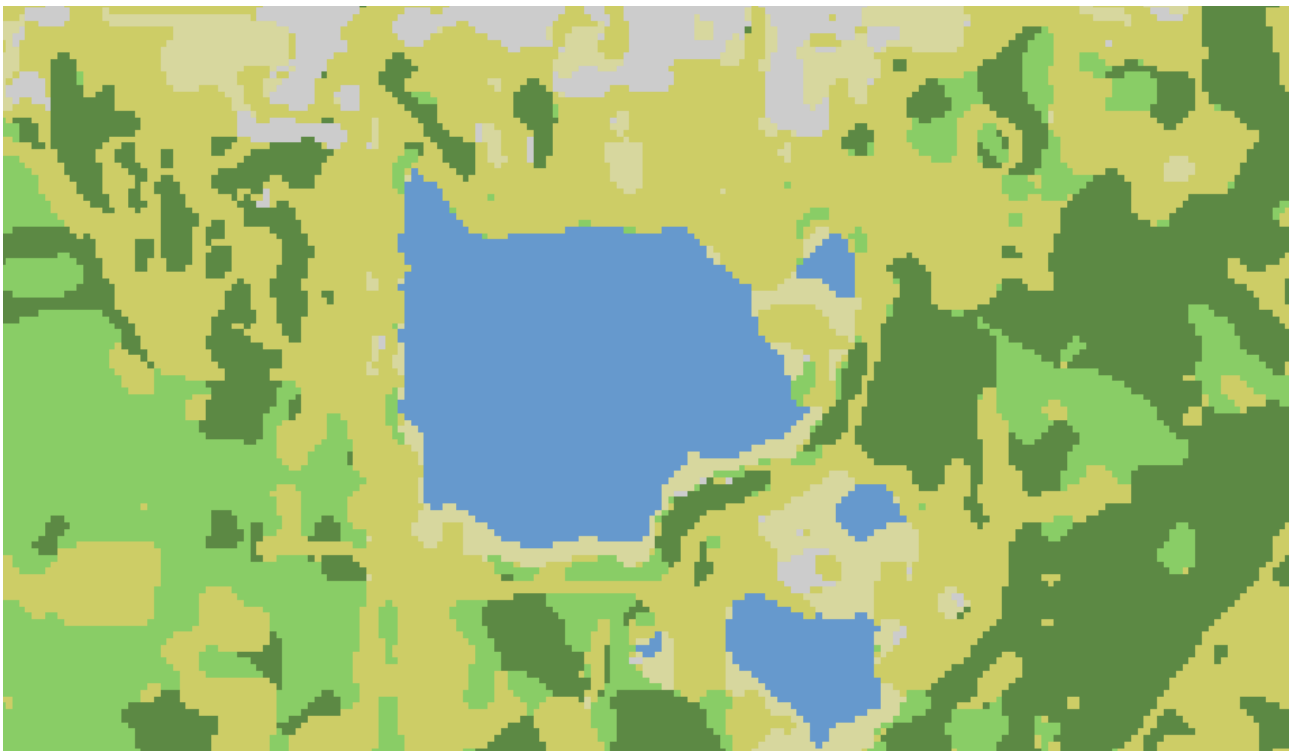
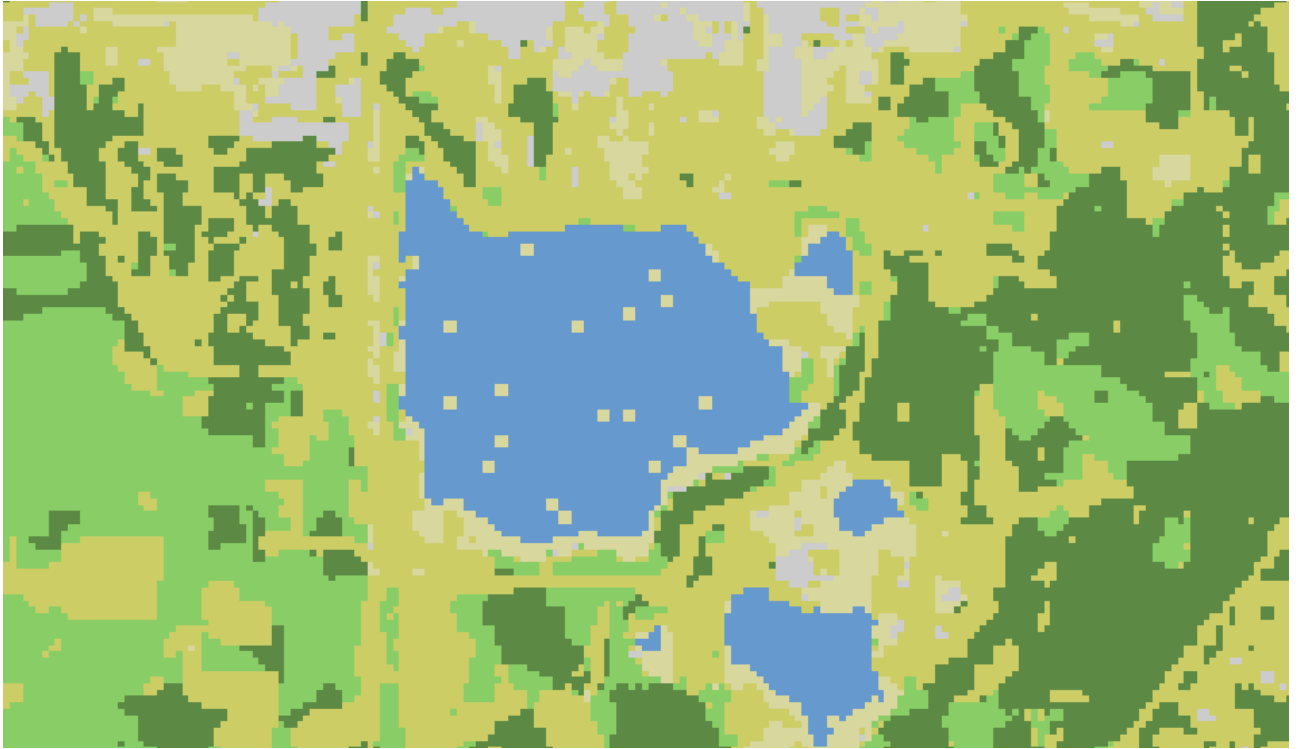
Kaip matyti metodinėje schemoje, pirmiausia atliekamas pradinių vaizdų apdorojimas, vadovaujantis 2.6 skyriuje aprašyta eiga.

Sekančiame žingsnyje atliekamas SAR ir multispektrinių vaizdų apjungimas, kuriame visi vaizdai perprojektuojami pagal labai tikslus SAR vaizdus. Sudarytame SAR ir MSI vaizdų komplekte atliekami matematiniai skaičiavimai su vaizdų juostomis pagal 2.7 skyriuje aprašytas formules. Naudojant visas SAR ir multispektrinių vaizdų juostas, taip pat ir apskaičiuotus indeksus, atliekamas kontroliuojamas klasifikavimas, naudojant atsitiktinių miškų algoritmą. Apmokymo pavyzdžiai klasifikavimui buvo paruošti .shp formatu (11 lentelė).

11 lentelė. Naudotų apmokymo pavyzdžių kiekiai.

Žemės dangos klasė	Apmokymo pavyzdžių kiekis
Augalija nepadengti plotai	184
Miškai	321
Smėlynai	114
Urbanizuotos teritorijos	140
Vegetaciniai plotai	154
Hidrografija	81

Kadangi SNAP programoje palydovinių vaizdų apdorojimai ir skaičiavimai vyksta BEAM-DIMAP formatu, tai atlikus žemės dangos klasifikavimą, rastras yra konvertuojamas į .GeoTIFF-BigTIFF formatą, kad vaizdas neprarastų savo geolokacinės informacijos bei būtų tinkamas tolimesnei analizei GIS programomis. Tad konvertuotas vaizdas QGIS programoje yra perklasifikuojamas, kad būtų galima manipuluoti su atskiromis žemės dangos klasėmis. Dažnu atveju klasifikuotame žemės dangos rastre pasitaiko pavienių klaidingai klasifikuotų gardelių, kurios atrodo kaip triukšmas (19 pav.). Tokias gardeles galima sumažinti atlikus gardelių perklasifikavimą, kurio veiksmo metu pavienėms gardelėms yra perduodama kitos klasės reikšmė, su kuria turi bendras keturias sienas.



19 pav. Žemės dangos klasės prieš pavienių gardelių perklasifikavimą (viršuje) ir po (apačioje).

Sekančiame etape vykdomas žemės dangos pokyčių identifikavimas. Dviejų skirtingų laikotarpių apdoroti ir paruošti rastrai žemės dangos pokyčių identifikavimui yra konvertuojami į vektorinius duomenis. Šis žingsnis atliekamas tam, kad būtų galima pašalinti gardeles, kuriose neįvyko žemės dangos pokytis, taip paliekant tik tuos plotus, kur pokytis buvo užfiksuotas.

Žemės dangos klasių pokytis yra atliekamas sukurtus skirtingų laikotarpių vektorinius klasifikuotus žemės dangos sluoksnius. Taip gaunamas naujas sluoksnis, kuriame pateikti duomenys, tiksliau žemės dangos klasių identifikatoriai, pagal kuriuos galima matyti, kokios dvi klasės buvo sukertamos.

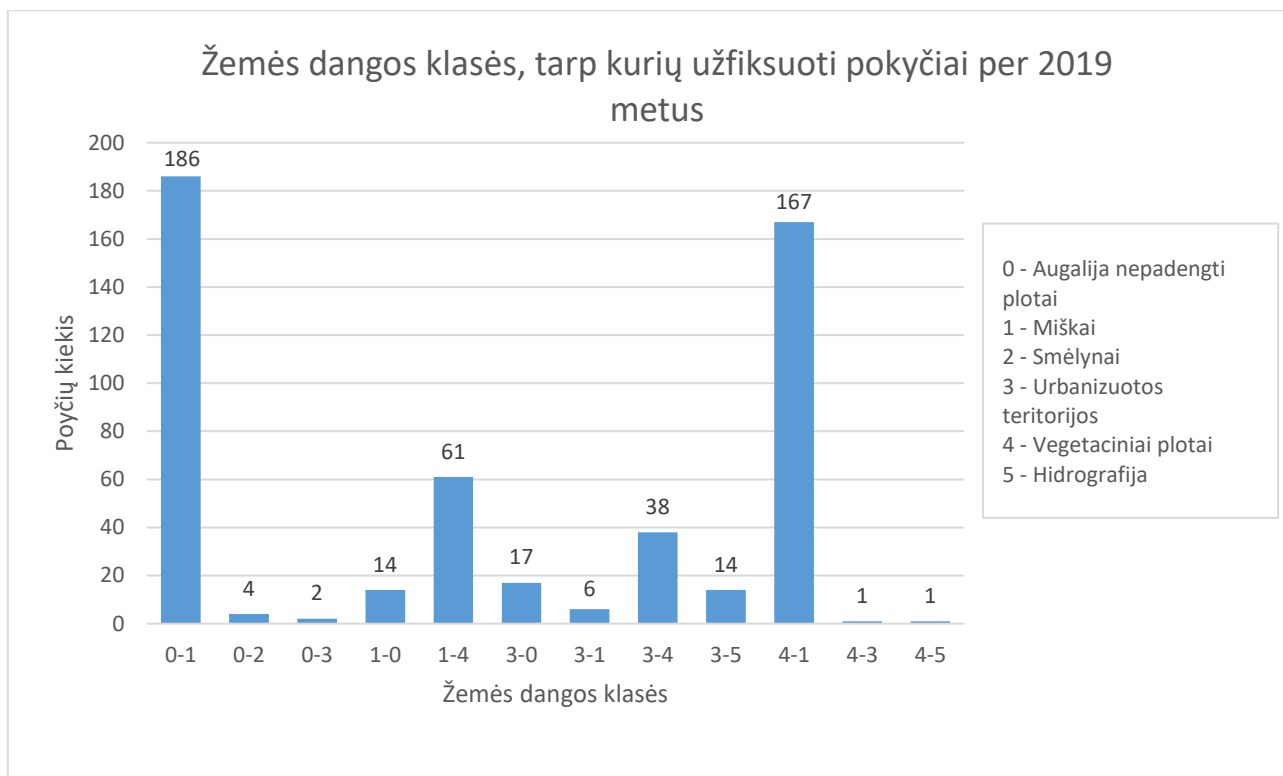
Toliau atliktas pirmasis filtravimas pagal sutampantį gardelių identifikatorių, tai reiškia, kad pašalinamos tos gardelės, kurios skirtingų laikotarpių vaizduose turi tą patį žemės dangos klasės identifikatorių, kitaip tariant gardelės, kuriose žemės dangos pokytis neįvyko. Taip pat yra pašalinamos ir tos gardelės, kuriose pokytis įvyko tarp vegetacijos ir augalais nepadengtų plotų klasių, nes tai sezoninis žemės naudmenų pokytis, o ne žemės dangos pokytis. Atrinkus gardeles su pokyčiais, vykdomas jų apjungimas pagal žemės dangos klasės identifikatorių, tačiau nesukuriant sudėtinių (angl. *Multipart*) geometrijos objektų, tai reiškia, kad bus apjungiami vienodos klasės objektai, kurie turi bendrą sieną.

Po apjungimo vykdomas antrasis filtravimas, kurio metu yra pašalinami plotai mažesni nei 5 ha. Šis skaičius pasirinktas atsižvelgiant į sudaromo žemėlio mastelį, kuris šiuo atveju yra 1:50 000, tokio mastelio žemėlapyje 5 ha plotas sudaro 4 x 5 mm stačiakampį, tad jis bus įžiūrimas tiek skaitmeniniame, tiek ir spausdintame žemėlapyje. Tuo pačiu bus atskirti smulkūs pokyčiai nuo reikšminių, didesnių pokyčių. Atlikus filtravimą, gaunami žemės dangos pokyčiai analizuotoje laiko skalėje.

Žemės dangos pokyčių žemėlapis pateiktas 1 priede.

3.2. Pokyčių analizė

Pasirinktoje teritorijoje atlikus tyrimą, buvo identifikuoti 511 žemės dangos klasių pokyčių per 2019 metus, kurie užima didesnę nei 5 ha plotą. 20 paveiksle pateikta diagrama, kurioje matoma užfiksuotų žemės dangos pokyčių statistika. Per 2019 metus daugiausia žemės dangos pokyčių yra užfiksuota dvejose klasių porose, t. y. iš augalija nepadengtų žemės dangos plotų pakito į miškus ir iš vegetacinių žemės dangos plotų pakito taip pat į miškus. Mažiausiai pokyčių užfiksuota smėlynų ir hidrografijos klasėse.



20 pav. Žemės dangos klasių pokyčių statistika per 2019 metus.

Taikant sudarytą metodiką, tyrime naudojamos teritorijos aprėpčiai atlikti dviejų skirtingų laikotarpių palydovinių vaizdų apdorojimą, žemės dangos klasifikavimą ir jos pokyčių identifikavimą užtrunka apie dvi darbo dienas.

Identifikuotiems pokyčiams buvo atliktas kokybės tikslumo tikrinimas. Visose klasių porose atsirinkta atsitiktinių 20 objektų (arba visi, jei pokyčių identifikuota mažiau) ir tikrintas jų faktinis pokytis, remiantis 2018 ir 2019 metų RGB vaizdais. 12 lentelėje yra pateikta tikrinimo rezultatų suvestinė. Joje matyti, kad net 6 iš 13 žemės dangos klasių porų turi šimtaprocentinį neigiamą rezultatą, tai reiškia, kad faktinis pokytis tose vietose neįvyko ir yra identifikuoti klasifikavimo nesutapimai.

Smulkiau analizuojant užfiksuotus pokyčius pastebėta, kad pavyzdžiui pirmoje klasių poroje, kurioje žemės dangos pokyčiai identifikuoti tarp augmenijos nepadengtų plotų ir miškų, beveik visuose tikrintuose objektuose iš tikrųjų pokytis įvyko tarp augmenija nepadengtų plotų klasės ir vegetacinių plotų klasės (21 pav.).



21 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Antroje klasių poroje identifikuoti pokyčiai tarp augmenija nepadengtų plotų ir smėlynų. Patikros metu, remiantis RGB vaizdais taip pat buvo sudėtinga įsitikinti identifikavimo teisingumu, nes šviesa nuo fiksuotų objektų atsispindėjusi taip, kad vaizdas gautas pakankamai šviesus ir panašus į smėlį, o ne dirbamą žemę (22 pav.). Tačiau šią teritoriją patikrinus kituose vaizduose, įsitikinta, kad pokyčiai identifikuoti klaidingai.



22 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Trečioje klasių poroje identifikuoti 2 pokyčiai tarp augalija nepadengtų plotų ir urbanizuotos teritorijos klasių. Vizualinės patikros metu, kaip ir prieš tai aprašyto atveju, įsitikinti ar faktinis pokytis įvyko sudėtinga dėl stipraus spindulių atsispindėjimo nuo objektų (23 pav.). Tačiau patikrinus šią vietą visuose 2019 metų atsisiųstuose multispektriniuose vaizduose matyti lygiai toks pat ryškus atsispindėjimas, todėl galima traktuoti, kad šioje vietoje identifikuotas pokytis yra teisingas ir plečiasi urbanizuota teritorija.



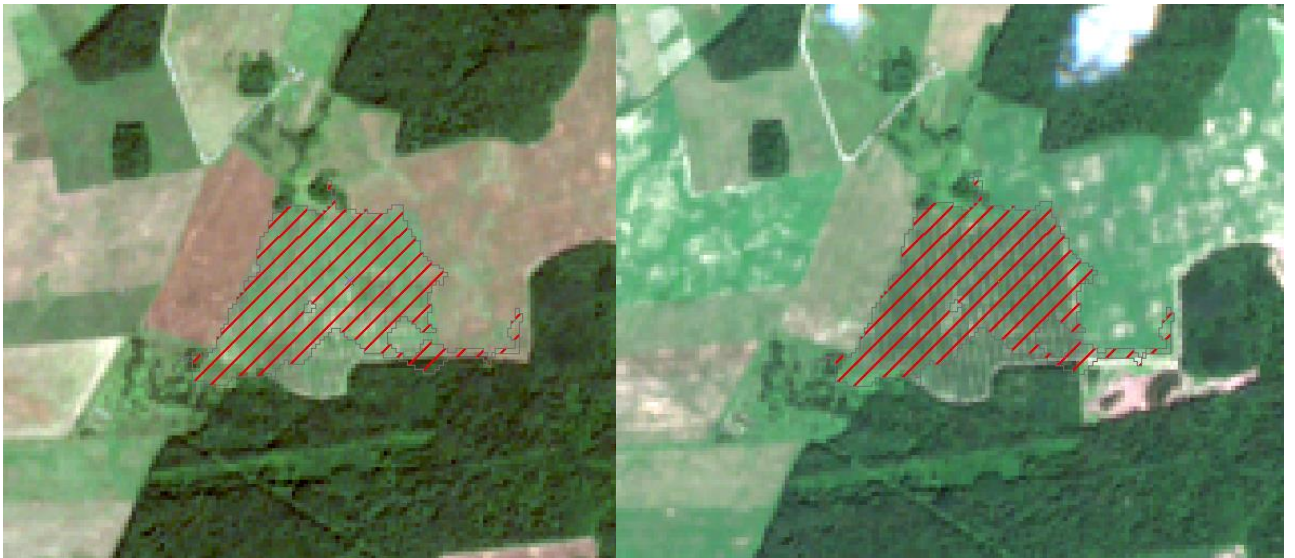
23 pav. Teisingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Ketvirtoje klasių poroje identifikuota 14 pokyčių tarp miškų ir augmenija nepadengtų plotų klasių. Iš visų patikrintų objektų, teisingai identifikuoti pokyčiai yra tik dvejose vietose, kurios abi Neringoje (24 pav.).



24 pav. Teisingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Penktoje klasių poroje identifikuoti pokyčiai tarp miškų ir vegetacinių plotų klasių. Iš patikrintų dvidešimties objektų, teisingai identifikuoti tik du, tačiau klaidos daugiausia užfiksuotos vegetaciniuose plotuose, kurie yra šalia miškų (25 pav.).



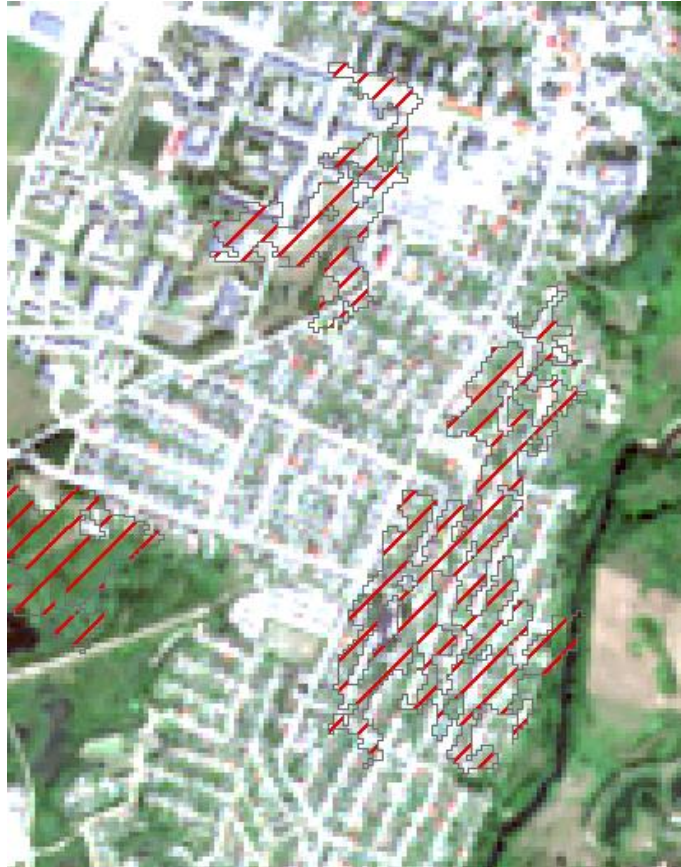
25 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Šeštoje klasių poroje identifiukuoti pokyčiai tarp urbanizuotų teritorijų ir augmenija nepadengtų plotų klasių. Šioje klasėje visi tikrinti septyniolika objektų buvo klaidingai identifiukuoti, visais atvejais urbanizuota teritorija klaidingai identifiukuota kaip augmenija nepadengtas plotas ir atvirkščiai (26 pav.).



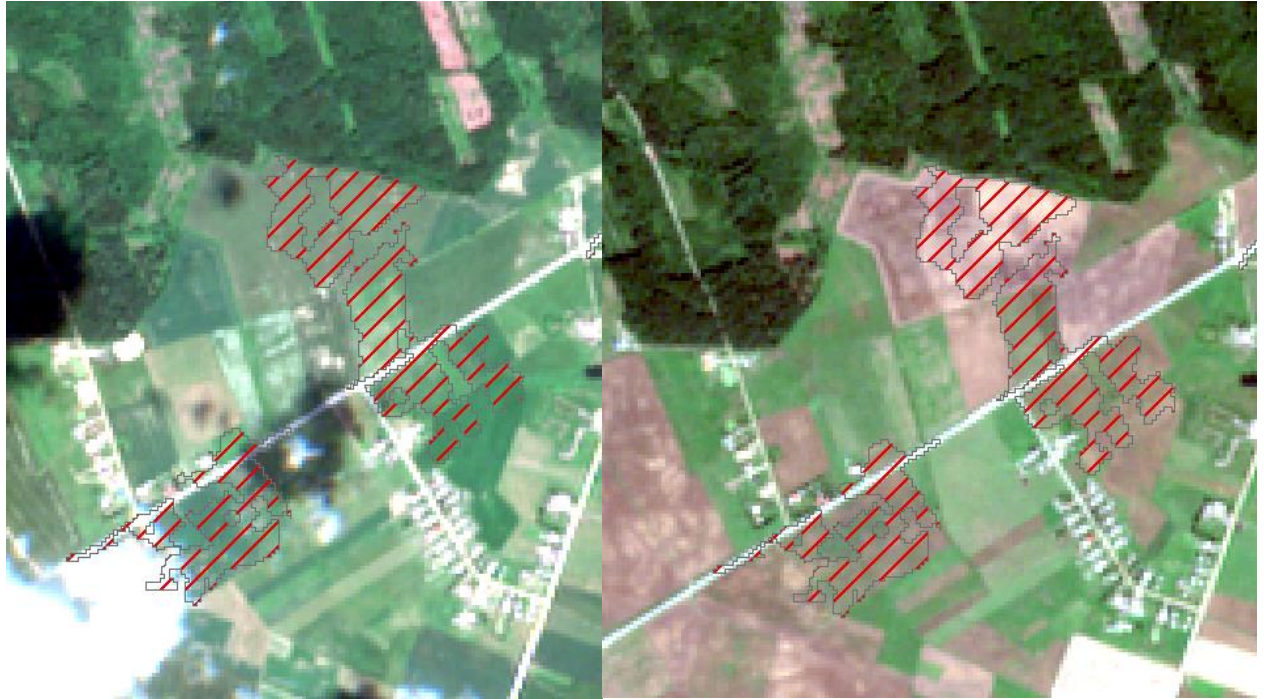
26 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Septintoje klasių poroje identifiukuoti šeši pokyčiai tarp urbanizuotų teritorijų ir miškų klasių. Atlikus patikrą nustatyta, kad keturiose vietose pokytis įvyko ne iš urbanizuotos teritorijos, o iš augmenija nepadengtos plotų klasės į miškų klasę. Šie pokyčiai įvyko Neringoje, kur atauga išdegę miškai. Likę du pokyčiai užfiksuoti kaimų teritorijose, kur urbanizuotas plotas persipynęs su įvairia vegetacija, medžiais ir pan., todėl urbanizuotų klasių identifikavimas tokiose teritorijose yra sudėtingas (27 pav.).



27 pav. Persipynusių urbanizuotos teritorijos ir miško klasių pavyzdys.

Aštuntoje klasių poroje identifikuoti pokyčiai tarp urbanizuotos teritorijos ir vegetacinių plotų klasių. Šioje klasėje taip pat visi tikrinti objektai buvo klaidingai identifikuoti. Didžiojoje daugumoje atvejų įvyko sezoninis pokytis, ta reiškia įvyko pokytis tarp augalija nepadengto ploto ir vegetacinio ploto klasių (28 pav.).



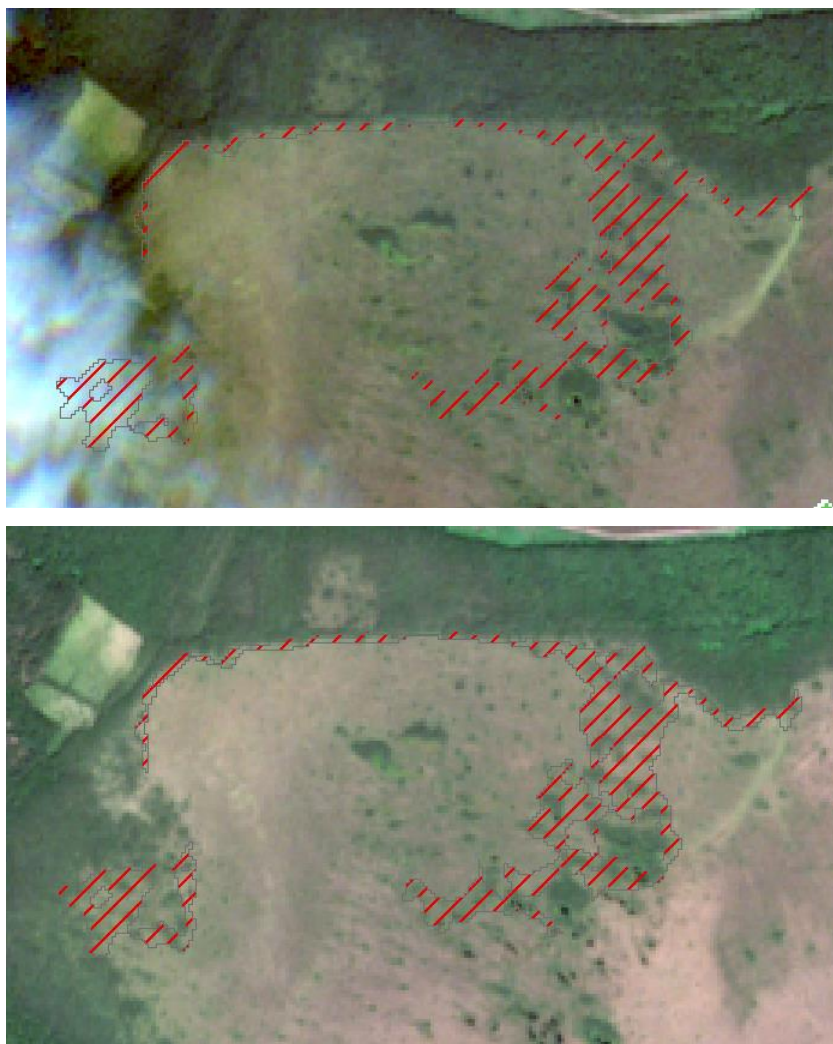
28 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

Devintoje klasių poroje identifikuoti pokyčiai tarp urbanizuotos teritorijos ir hidrografijos klasių. Patikrinus visus, šioje pokyčių klasėje identifikuotus objektus nustatyta, visi pokyčiai fiksuoti pakrantėje su Baltijos jūra, tačiau faktiniai pokyčiai ten nėra įvykę. Lyginant 2018 ir 2019 metų vaizdus, matosi vandens paviršiaus pokytis pakrantės zonoje, kuris turėjo įtakos netiksliam žemės dangos klasifikavimui (29 pav.).



29 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo ir pakitusio kranto pavyzdys. Viršuje - 2018 metai, apačioje - 2019 metai.

Dešimtoje klasių poroje identifikuoti pokyčiai tarp vegetacinių plotų ir miškų klasių. Iš patikrintų dvidešimties objektų, nustatyta aštuoniolika klaidingų atvejų ir du teisingi. Dalis atvejų užfiksuoti zonoje, kur susikerta miškas ir vegetacinė arba augalija nepadengta zona, kaip parodyta 30 paveiksle. Tokiose vietose sudėtinga identifikuoti, klasių pasikeitimą, todėl pasitaiko daugiau klaidingų atvejų.



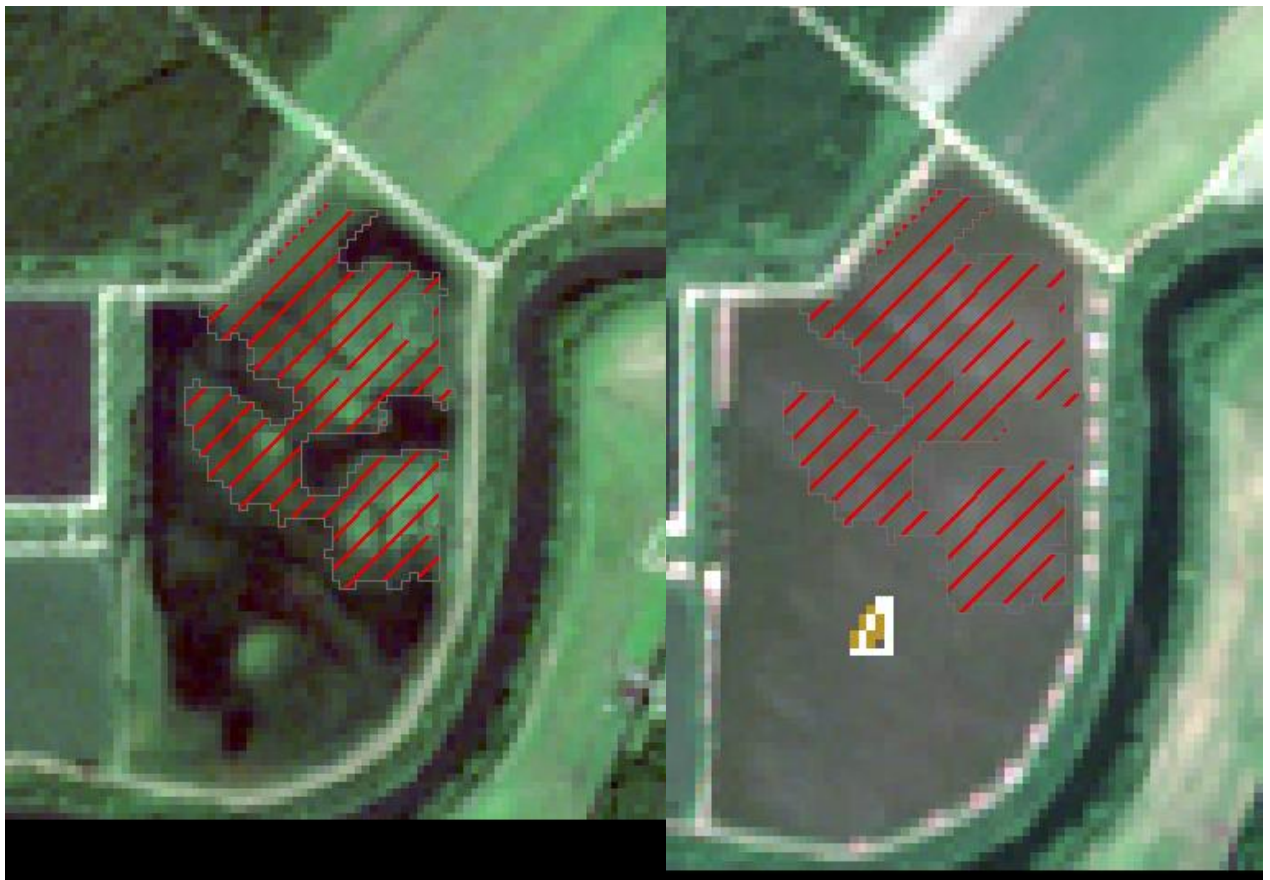
30 pav. Identifikuoto pokyčio tarp klasių susidūrimo pavyzdys. Viršuje - 2018 metai, apačioje – 2019 metai.

Vienuoliktoje klasių poroje identifikuotas vienas pokytis tarp vegetacijos ploto ir urbanizuotos teritorijos. Patikrinus šią vietą matosi, kad pokytis įvyko, tačiau sezoninis – vegetacinio ploto į augmenija nepadengtą plotą (31 pav.).



31 pav. Klaidingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

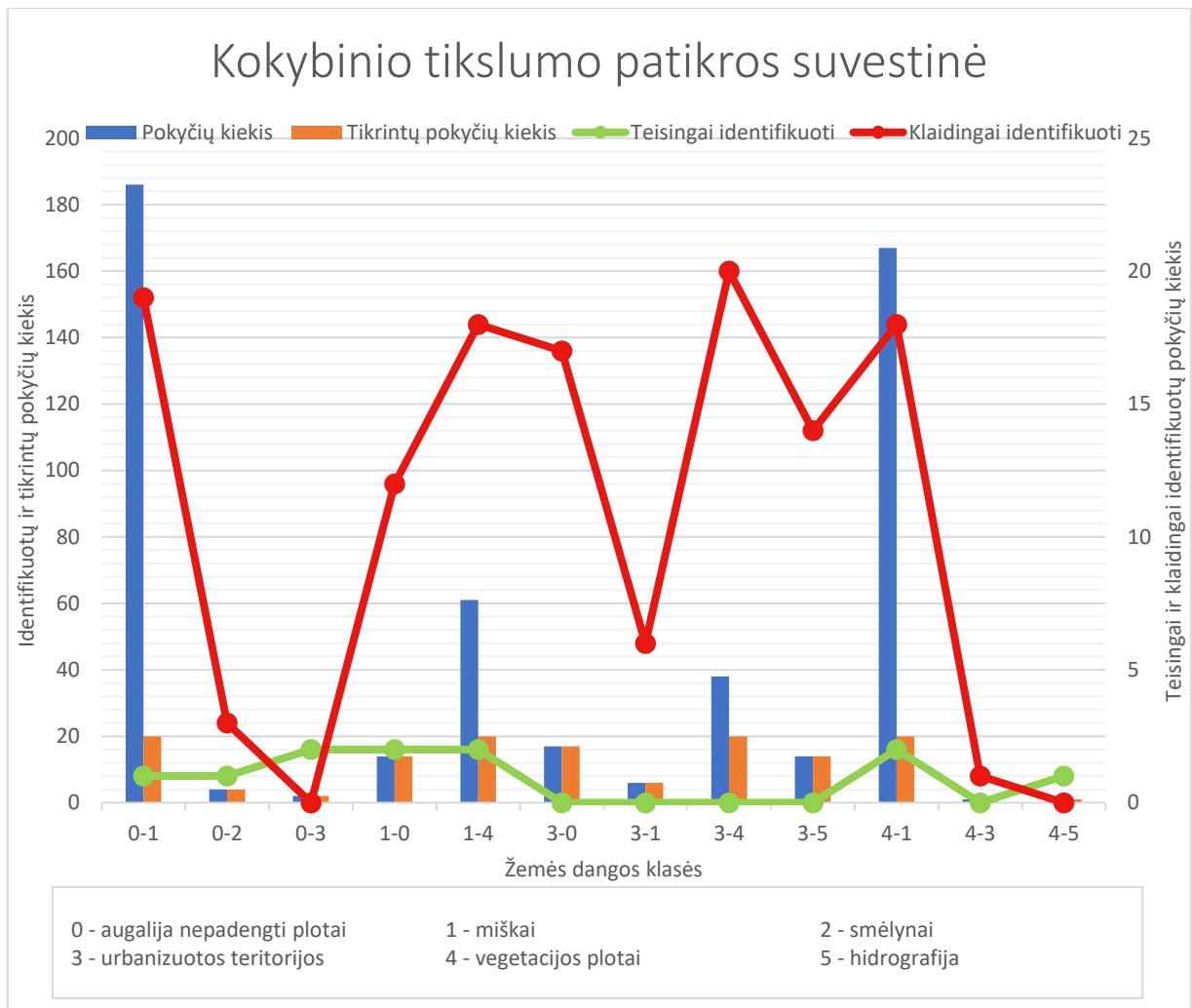
Dvyliktoje klasių poroje identifikuotas vienas pokytis tarp vegetacijos ir hidrografijos objektų. Šis pokytis yra teisingas ir įvyko pelkėtoje teritorijoje (32 pav.).



32 pav. Teisingų pokyčių identifikavimo pavyzdys. Kairėje -2018 metai, dešinėje - 2019 metai.

12 lentelė. Identifikuotų žemės dangos pokyčių kokybės tikslumo tikrinimo suvestinė.

Nr.	Žemės dangos klasės					Pokyčių kiekis	Tikrintų pokyčių kiekis	Teisingai identifikuoti		Klaidingai identifikuoti		
	Kodas	2018 metai	Kodas	2019 metai	Kodas			Vnt.	Procentai, %	Vnt.	Procentai, %	
1.	0	Augmenija nepadengti plotai	1	Miškai	0-1	186	20	1	5	19	95	
2.	0	Augmenija nepadengti plotai	2	Smėlynai	0-2	4	4	1	25	3	75	
3.	0	Augmenija nepadengti plotai	3	Urbanizuotos teritorijos	0-3	2	2	2	100	0	0	
4.	1	Miškai	0	Augmenija nepadengti plotai	1-0	14	14	2	14,28	12	85,71	
5.	1	Miškai	4	Vegetacija	1-4	61	20	2	10	18	90	
6.	3	Urbanizuotos teritorijos	0	Augmenija nepadengti plotai	3-0	17	17	0	0	17	100	
7.	3	Urbanizuotos teritorijos	1	Miškai	3-1	6	6	0	0	6	100	
8.	3	Urbanizuotos teritorijos	4	Vegetacija	3-4	38	20	0	0	20	100	
9.	3	Urbanizuotos teritorijos	5	Hidrografija	3-5	14	14	0	0	14	100	
10.	4	Vegetacija	1	Miškai	4-1	167	20	2	10	18	90	
11.	4	Vegetacija	3	Urbanizuotos teritorijos	4-3	1	1	0	0	1	100	
12.	4	Vegetacija	5	Hidrografija	4-5	1	1	1	100	0	0	
						Iš viso	511	139	11	7,91	128	92,08



33 pav. Kokybinio tikslumo patikros rezultatai diagramoje.

Iš atlikto kokybinio tikslumo patikros matyti, kad dauguma identifikuotų pokyčių yra ne faktiniai pokyčiai tarp 2018 ir 2019 metų, o pokyčiai tarp netikslaus žemės dangos klasifikavimo. Nepaisant to, kad be multispektrinių duomenų buvo naudoti ir SAR duomenys, tačiau vis tiek išliko sudėtingas vegetacinių plotų, urbanizuotų teritorijų ir augalija nepadengtų plotų klasių identifikavimas ir šių klasių tarpusavio atskyrimas.

Taip pat svarbu paminėti, kad visi klaidingai identifikuoti pokyčiai yra klaidingai teigiami rezultatai, tai reiškia, kad tyrimo metu pokyčiai identifikuoti, tačiau jie neįvyko (arba įvyko, bet ne tarp tų klasių), tačiau analizuojant vaizdus nepastebėta klaidingai neigiamų rezultatų, tai yra pokyčių, kurie tyrimo metu nebuvo užfiksuoti, bet iš tikrųjų įvyko. Toks rezultatas leidžia daryti prielaidą, kad nepaisant to, jog pokyčiai identifikuoti klaidingai, tačiau jų peržiūra rankiniu būdu vis tiek sunaudotų mažiau laiko resursų nei visos teritorijos nuosekli peržiūra ir pokyčių vektorizavimas.

3.3. Tolimesnių tyrimų galimybės

Ateityje šį darbą galima tęsti ir tobulinti paruoštą, žemės dangos pokyčiams identifikuoti, naudojant SAR ir multispektrinių duomenų sintezę, metodiką. Atsižvelgiant į tyrimo metu gautus rezultatus, norėtusi išbandyti keletą kitų dar netaikytų metodų, kurie gali padėti sumažinti klaidingų identifikavimo atvejų bei pagerinti galutinio produkto kokybę.

- Vietoj rankiniu būdu paruošiamų apmokymo pavyzdžių, skirtų kontroliuojamo klasifikavimo vykdymui, pabandyti taikyti jau esamus erdvinių duomenų produktus, kaip pavyzdžiui CORINE projekto metu sukuriamus aukštos raiškos žemės dangos duomenis (angl. *High Resolution Layers*). Taip pat labiau apmokinus modelį, galimai būtų galima sumažinti arba apskritai išvengti pokyčių identifikavimo klaidų.

- Vietoj kontroliuojamo gardelėmis paremto klasifikavimo metodo, naudoti objektais paremtą klasifikavimą, kuriam nereikėtų rankiniu būdu paruošti apmokymo pavyzdžių. Taip pat objektais paremtas klasifikavimo metodas galimai padidintų žemės dangos klasifikavimo tikslumą ir būtų sumažintas klaidingai identifikuotų pokyčių skaičius.

- Metodikoje aprašytus procesus atlikti tik programiniu kodu, nes atsisakius grafinės vartotojo aplinkos, procesas pagreitėtų ir taptų produktyvesnis, būtų galima dar greičiau atlikti palydovinių vaizdų apdorojimą, žemės dangos klasifikavimą bei jos pokyčių identifikavimą.

- Šio tyrimo metu buvo naudotas kompiuteris su 8 GB operatyviaja atmintimi, i5 procesoriumi ir 1 TB SSD kietosios atminties disku, tačiau atliekant tyrimą 2 000 km² teritorijai, kai kurie vaizdų apdorojimo procesai jau strigo ir teko juos atlikti pakartotinai, todėl turint galimybę pagerinti techninius resursus, išbandyti paruoštą metodiką taikyti didesnei teritorinei aprėpčiai.

IŠVADOS

1. Sudaryta žemės dangos pokyčių identifikavimo, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, metodika, skirta identifikuoti žemės dangos pokyčius norimame laikotarpyje.

2. Taikant paruoštą metodiką, galima sudaryti žemės dangos pokyčių žemėlapi, kuriame išskiriamos 6 žemės dangos klasės (augmenija nepadengtos teritorijos, miškai, smėlynai, urbanizuotos teritorijos, vegetacijos plotai, hidrografiniai objektai) tarp kurių identifikuojama 511-a pokyčių (didesnių nei 5 ha) tarp 2018 ir 2019 metų vyravusių žemės dangų.

3. Identifikuotų pokyčių kokybinio tikslumo patikros metu klaidingai identifikuoti pokyčiai (92,08 % visų tikrintų pokyčių) yra klaidingai teigiami (angl. *False Positive*) rezultatai ir analizuojant vaizdus nepastebėta klaidingai neigiamų (angl. *False Negative*) rezultatų. Nepaisant to, kad pokyčiai tam tikrais nustatytais atvejais būna identifikuoti neteisingai, jų vizuali peržiūra (ypač kai žinomos potencialios galimų netikslumų vietos) ir patikslinimas rankiniu būdu, vis tiek sunaudotų mažiau laiko resursų nei neautomatizavus proceso.

4. Atliktas klasifikavimas parodė, kad paprastai, taikant kontroliuojamą klasifikavimo metodą, yra sumaišomos urbanizuotų teritorijų ir augalija nepadengtų teritorijų arba urbanizuotų teritorijų ir smėlynų klasės dėl labai panašaus spektrinio „parašo“. Šie klasifikavimo netikslumai vėliau identifikuojami kaip žemės dangos pokyčiai, kurie vis tik yra klaidingi ir neatitinkantys realios situacijos. Tokias situacijas automatizuotai aptikti reikalingi tolimesni moksliniai tyrimai.

5. Technologinė išvada. Taikant galutinę sudarytą metodiką, tyrime naudojamos teritorijos 2 000 kv² apėmčiai dviejų skirtingų laikotarpių palydovinių vaizdų apdorojimas, žemės dangos klasifikavimas ir jos pokyčių identifikavimas užtruko apie 72 valandas (neįskaitant palydovinių vaizdų atsiuntimo). Tačiau atkreiptinas dėmesys, kad palydovinių vaizdų apdorojimas ir analizė yra labai imlūs techniniams resursams (rekomenduojama naudoti kompiuterius su ne mažesne nei 16 GB operatyviaja atmintimi, i5 procesoriumi ir SSD vidiniu kietuoju disku), todėl didinant tiriamąją teritoriją, būtinai reikia į tai atsižvelgti ir pagal galimybes juos padidinti

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Abdikan, S. *et al.* (2016) „Land cover mapping using Sentinel-1 SAR data“, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), p. 757–761. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B7-757-2016.

Antanavičiūtė, U. ir Marma, M. (2018) „InCULT projektas“.

Barbier, C. (2019) *Synthetic Aperture Radar - Another Look at Earth and Planetary Surfaces*. Available at: https://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw65/barbier.html (Žiūrėta: 2019 m. birželio 15 d.).

Belenguer-Plomer, M. A. *et al.* (2019) „Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies“, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier, 233(July), p. 111345. doi: 10.1016/j.rse.2019.111345.

Bioresita, F. *et al.* (2019) „Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 image time series for permanent and temporary surface water mapping“, *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 40(23), p. 9026–9049. doi: 10.1080/01431161.2019.1624869.

Bontemps, S. (2019) „Methods for cropland & crop type mapping from S2 and/or S1 time series“.

Braun, A. (2020) „Sentinel-1 Toolbox: Synergetic use of radar and optical data Combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 and application of analysis tools“, (February).

Chase, T. N. *et al.* (2000) „Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter“, *Climate Dynamics*, 16(2–3), p. 93–105. doi: 10.1007/s003820050007.

Chaturvedi, S. K., Banerjee, S. ir Lele, S. (2019) „An assessment of oil spill detection using Sentinel 1 SAR-C images“, *Journal of Ocean Engineering and Science*. Elsevier B.V., (xxxx). doi: 10.1016/j.joes.2019.09.004.

Chen, Y. *et al.* (2020) „Investigating the potential use of Sentinel-1 data for monitoring wetland water level changes in China’s Momoge National Nature Reserve“, *PeerJ*, 2020(2), p. 1–24. doi: 10.7717/peerj.8616.

Ciparytė, I. (2018) *Kartografavimas naudojant SAR vaizdus (Žuvinto ir Amalvo šlapynių pavyzdžiu)*.

Clerici, N., Valbuena Calderón, C. A. ir Posada, J. M. (2017) „Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia“, *Journal of Maps*. Taylor & Francis, 13(2), p. 718–726. doi: 10.1080/17445647.2017.1372316.

Comber, A., Fisher, P. ir Wadsworth, R. (2005) „What is land cover?“, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(2), p. 199–209. doi: 10.1068/b31135.

Copernicus (2018) „Copernicus and the free & open source software community“. Available at: <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-and-free-open-source-software-community>.

Copernicus (2020) *Sentinel-2*. Available at: <http://spaceflight101.com/copernicus/sentinel-2/> (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 2 d.).

CORINE (2010) „CORINE Land Cover Nomenclature Conversion to Land Cover Classification System“, (Clc), p. 6. Available at: http://www.igeo.pt/gdr/pdf/CLC2006_nomenclature_addendum.pdf.

CORINE (2018) *Corine Land Cover classes*. Available at: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

Cortes, C. ir Vapnik, V. (1995) „Support-Vector Networks“, *Machine Learning*, 7(5), p. 63–72. doi: 10.1109/64.163674.

Cui, X. ir Graf, H. F. (2009) „Recent land cover changes on the Tibetan Plateau: A review“, *Climatic Change*, 94(1–2), p. 47–61. doi: 10.1007/s10584-009-9556-8.

Danėnas, P. (2013) *Atraminių vektrojų mašinomis grindžiami klasifikavimo metodai intelektualioje sprendimų paramos sistemoje kredito rizikos vertinimui*.

Denize, J. et al. (2019) „Evaluation of using Sentinel-1 and -2 time-series to identify winter land use in agricultural landscapes“, *Remote Sensing*, 11(1). doi: 10.3390/rs11010037.

Eiten, G. (1968) *Vegetation forms : a classification of stands vegetation based on structure, growth form of the components, and vegetative periodicity*. Sao Paulo: Instituto de Botanica.

ESA (2020a) *Sentinel-2 - Heritage*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/heritage> (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 2 d.).

ESA (2020b) *Sentinel-2 Spectral Response Functions*. Available at: https://earth.esa.int/web/sentinel/document-library/latest-documents/-/asset_publisher/EgUy8pfXboLO/content/sentinel-2a-spectral-responses;jsessionId=AA5AEEAE5B3515EFB534D44F239D5FD1.jvm2?redirect=https%3A%2F%2Fearth.esa.int%2Fweb%2Fsentinel%2Fdocument-li (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 3 d.).

ESA (sine anno) *Sentinel-1 Missions*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1> (Žiūrėta: 2020 m. balandžio 19 d.).

European Commission (2009) „LUCAS 2006 (Land Use / Cover Area Frame Survey) - Technical reference document C3 Classification (Land cover & land use)“, (February), p. 1–53.

European Commission (2018) *LUCAS: Land Use and Coverage Area frame Survey*. Available at: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

European Environment Agency (2019) *Land Cover | Copernicus Global Land Service*. Available at: <https://land.copernicus.eu/global/products/lc> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

European Space Agency (2020a) *User Guides - Sentinel-1 SAR - Interferometric Wide Swath*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes/interferometric-wide-swath> (Žiūrėta: 2020 m. vasario 20 d.).

European Space Agency (2020b) *User Guides - Sentinel-2 MSI - Product Types - Sentinel Online*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types> (Žiūrėta: 2020 m. vasario 19 d.).

Europos komisija (2018) *Europos Sąjungos komisijos įgyvendimimo sprendimas dėl programos „Copernicus“ kosmoso komponento techninių specifikacijų laikantis Europos Parlamento ir Tarybos reglamento Nr. 377/2014*.

Eurostat (2015) *LUCAS Land Use and Cover Area frame Survey*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/other_documents/index.cfm?TargetUrl=DSP_LUCAS (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

FAO (2011) *Managing FAO in turbulent times*.

Fernandez-Beltran, R. *et al.* (2018) „Multimodal probabilistic latent semantic analysis for Sentinel-1 and Sentinel-2 image fusion“, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. IEEE, 15(9), p. 1347–1351. doi: 10.1109/LGRS.2018.2843886.

Fitrzyk, M. (2019) „Pre-processing and multi-temporal analysis of SAR time series. Coherence-intensity composites“.

Fosberg, F. (1961) „A classification of vegetation for general purposes.“, *Tropical Ecology*.

Gerrells, N. S. (2018) *Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for forest disturbance mapping: detection of bark beetle mortality in the southern Sierra Nevada*.

Government of Canada (2020) *Viewing Geometry and Spatial Resolution, 2016-02-29*. Available at: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/microwave-remote-sensing/viewing-geometry-and-spatial-resolution/9341> (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 4 d.).

Gregorio, A. Di (2016) *Land Cover Classification System, October*. Available at: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm>.

Di Gregorio, A. ir J. M. Jansen, L. (2000) *Land Cover Classification System*. Available at: <http://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

Haas, J. ir Ban, Y. (2017) „Sentinel-1A SAR and sentinel-2A MSI data fusion for urban ecosystem service mapping“, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Elsevier B.V., 8(June), p. 41–53. doi: 10.1016/j.rsase.2017.07.006.

Hartvigsen, M. (2014) „Land reform and land fragmentation in Central and Eastern Europe“, *Land Use Policy*, 36, p. 330–341. doi: 10.1016/j.landusepol.2013.08.016.

He, C. *et al.* (2010) „Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach“, *Remote Sensing Letters*, 1(4), p. 213–221. doi: 10.1080/01431161.2010.481681.

Iurist, N.-V., Stănescu, F. ir Bartic, C. G. (2017) „Analysis of land cover changes using Sentinel-1 data. Case study - Galati County, Romania“, p. 109–116.

Juodkienė, V. (2018) *Hiperspektrinio skenavimo galimybės medžių charakteristikoms įvertinti*. Available at: <http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:33310574/datastreams/MAIN/content> (Žiūrėta: 2019 m. birželio 17 d.).

Jurikovska Orlíková, L. ir Horák, J. (2019) „Land cover classification using Sentinel-1 SAR data“, *ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies, Proceedings*, (May). doi: 10.1109/MILTECHS.2019.8870125.

Khan, A. *et al.* (2020) „Synergistic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 for improved LULC mapping with special reference to bad land class: a case study for Yamuna River floodplain, India“, *Spatial Information Research*. Springer Singapore. doi: 10.1007/s41324-020-00325-x.

Kriščiukaitienė, I. *et al.* (2020) *Tvaraus ūkininkavimo metodika*. Available at: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sGn3hVIROjUJ:https://www.laei.lt/x_file_download.php%3Fpid%3D3428+&cd=1&hl=lt&ct=clnk&gl=lt (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 15 d.).

Kuc, G. ir Chormański, J. (2019) „Sentinel-2 Imagery for Mapping and Monitoring Imperviousness in Urban Areas“, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-1/W2, p. 43–47. doi: 10.5194/isprs-archives-xlii-1-w2-43-2019.

Kussul, N., Skakun, S., Kravchenko, O., *et al.* (2013) „Application of Satellite Optical and SAR Images for Crop Mapping and Area Estimation in Ukraine“, *Information Technologies & Knowledge*, 7(3), p. 203–211.

Kussul, N., Skakun, S., Shelestov, A., *et al.* (2013) „Crop classification in Ukraine using satellite optical and SAR images“, *International Journal „Information Models and Analyses“ Vol.2/2013, Number 2, 2(2)*, p. 118–122.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (2017) *Augalinės dangos būklės atlasas*. Available at: http://www.meteo.lt/lt/naujienos/-/asset_publisher/RrOmWx3nFPCR/content/2017-08-01-augalines-dangos-bukles-atlasas?inheritRedirect=false (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 15 d.).

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (sine anno) *Mėnesio apžvalgos*. Available at: <http://www.meteo.lt/lt/2020-kovas> (Žiūrėta: 2020 m. balandžio 19 d.).

Liu, F. *et al.* (2018) „The research on dryland crop classification based on the fusion of Sentinel-1A SAR and optical images“, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3), p. 1041–1048. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-1041-2018.

Liu, Z. *et al.* (2017) „Fusing synergistic information from multi-sensor images: An overview from implementation to performance assessment“, *Information Fusion*. Elsevier, 42(October 2017), p. 127–145. doi: 10.1016/j.inffus.2017.10.010.

Louwagie, G. (2015) „Žemę ir dirvožemį vis labiau veikia žmonių veikla“, p. 1–4.

Maarel, E. (1991) „Vegetation mapping: vegetation science in need of a new handbook“, *Journal of Vegetation Science*. Wiley, 2(3), p. 421–424. doi: 10.2307/3235936.

Mas, J. F. (1999) „Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques“, *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), p. 139–152. doi: 10.1080/014311699213659.

Mercier, A. *et al.* (2019) „Evaluation of Sentinel-1 and 2 time series for land cover classification of forest-agriculture mosaics in temperate and tropical landscapes“, *Remote Sensing*, 11(8), p. 1–20. doi: 10.3390/rs11080979.

Milieškaitė, J. ir Vaitkus, G. (2011) „Landsat TM kosminių nuotraukų segmentavimo metodų palyginimas atliekant žemės dangos klasifikavimą“, *Geodesy and Cartography*, 37(3), p. 135–142. doi: 10.3846/13921541.2011.626264.

Molis, G. (2017) *Kaip fotografuoti radaru? – Mokslo Lietuva, 2017-03-17*. Available at: <http://mokslolietuva.lt/2017/03/kaip-fotografuoti-radaru/> (Žiūrėta: 2019 m. birželio 15 d.).

Mora, O. *et al.* (2016) „Earthquake Rapid Mapping Using Ascending and Descending Sentinel-1 TOPSAR Interferograms“, *Procedia Computer Science*, 100, p. 1135–1140. doi: 10.1016/j.procs.2016.09.266.

Moreira, A. (2013) „Synthetic Aperture Radar (SAR): Principles and Applications“. Available at: www.dlr.de/HR (Žiūrėta: 2019 m. birželio 15 d.).

Muro, J. *et al.* (2016) „Short-term change detection in wetlands using Sentinel-1 time series“, *Remote Sensing*, 8(10), p. 1–14. doi: 10.3390/rs8100795.

Nacionalinė mokėjimo agentūra (2020) *Stebėkite savo žemę iš kosmoso – 2019 metų palydoviniai vaizdai jau NMA programėlėje, 2019-08-07*. Available at: <https://www.nma.lt/index.php/naujienos/stebekite-savo-zeme-is-kosmoso-2019-metu-palydoviniai-vaizdai-jau-nma-programeleje/22439> (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 5 d.).

Pandit, V. R. ir Bhiwani, R. J. (2015) „Image Fusion in Remote Sensing Applications: A Review“, *International Journal of Computer Applications*, 120(10), p. 22–32. doi: 10.5120/21263-3846.

Paris, C. ir Bruzzone, L. (2015) „A three-dimensional model-based approach to the estimation of the tree top height by fusing low-density LiDAR data and very high resolution optical images“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. IEEE, 53(1), p. 467–480. doi: 10.1109/TGRS.2014.2324016.

Parker, M. (2019) *Radar basics - Part 5: synthetic aperture radar | EE Times, 2011-07-18*. Available at: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278931# (Žiūrėta: 2019 m. birželio 15 d.).

Pinheiro, M. A. (2010) „Thesis presented to the Faculty of the Department of Graduate Studies of the Aeronautics Institute of Technology, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master in Science in the Program of Electronic Engineering and Computer Science“.

Pohl, C. ir van Genderen, J. (2016) „Remote sensing image fusion a practical guide. Preprocessing.“, *Remote Sensing Image Fusion*, p. 71–92. doi: 10.1201/9781315370101-4.

Ribokas, G. (2011) „Apleistų žemių (dirvonų) problema retai apgyventose teritorijose“, p. 298–307.

SE „GIS-Centras“ (2018) *CORINE Land Cover CLC2018*. Available at: <https://www.geoportal.lt/geoportal/web/copernicus/projektai> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

Serco Italia SPA (2018) „Urban classification with Seineinel-1 Case study: Germany, 2018 (version 1.2)“, p. 1–27.

Shah, E., Jayaprasad, P. ir James, M. E. (2019) „Image Fusion of SAR and Optical Images for Identifying Antarctic Ice Features“, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. Springer India, 47(12), p. 2113–2127. doi: 10.1007/s12524-019-01040-3.

Simoes, M. *et al.* (2015) „A convex formulation for hyperspectral image superresolution via subspace-based regularization“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(6), p. 3373–3388. doi: 10.1109/TGRS.2014.2375320.

Solari, L. *et al.* (2019) „A Sentinel-1 based hot-spot analysis: landslide mapping in north-western Italy“, *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 40(20), p. 7898–7921. doi: 10.1080/01431161.2019.1607612.

Sun, C. *et al.* (2019) „Using of multi-source and multi-temporal remote sensing data improves crop-type mapping in the subtropical agriculture region“, *Sensors (Switzerland)*, 19(10), p. 1–23. doi: 10.3390/s19102401.

Torres, R. *et al.* (2012) „GMES Sentinel-1 mission“, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 120, p. 9–24. doi: 10.1016/j.rse.2011.05.028.

UAB „GEOMATRIX“ (2018) *SAGRIS Backend testing service, 2018*. Available at: <http://www.sagris.eu/> (Žiūrėta: 2020 m. gegužės 9 d.).

Urbanavičienė, I. ir Urbanavičius, V. (2018) *Kosminių vaizdų tyrimai*.

USGS (2018) „Landsat-Earth Observation Satellites“, *Landsat Missions Timeline*, 2020(November), p. 2013–2016. doi: 10.1177/0033688205055578.

Vaitkus, G. (2005) „Lietuvos CORINE žemės dangos GIS duomenų bazės taikomojo panaudojimo aplinkosaugos srityje studija“.

Vaitkus, G. (2016) „Sentinel-1 products used for monitoring of drainage systems“.

Veteikis, D. ir Piškinaitė, E. (2019) *Geografiniai žemėnaudos kaitos tyrimai Lietuvoje: raida, kryptys, perspektyvos*. Available at: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zNFG8yRj04UJ:https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/geologija-geografija/article/download/3992/2791/+&cd=8&hl=lt&ct=clnk&gl=lt> (Žiūrėta: 2019 m. gruodžio 17 d.).

Vivone, G. *et al.* (2015) „A Critical Comparison Among Pansharpening Algorithms“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(5), p. 2565–2586.

VšĮ „Informatikos mokslų centras“ (2015) *Duomenų analizės įrankio DAMIS instrukcija*

naudotojui.

Yang, X. ir Lo, C. P. (2002) „Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area“, *International Journal of Remote Sensing*, 23(9), p. 1775–1798. doi: 10.1080/01431160110075802.

SANTRAUKA

GUSTĖ METRIKAITYTĖ

Žemės dangos pokyčių skaitmeninio kartografavimo galimybių tyrimas, naudojant SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę

Žemės danga geografijos moksle tam tikru pažiūriu, t. y. aplinkos apsaugos, kraštovaizdžio morfologijos ir funkcionavimo, ekonominiu ir socialiniu, laikoma svarbiu tyrimo objektu. Ji nuolatos kinta ir tam turi įtakos tiek ekonominiai, tiek politiniai, tiek kultūriniai bei kiti visuomenės veiksniai. Atliekant ilgalaikius žemės dangos stebėjimus, galima įvertinti veiksnius, kurie daro įtaką kraštovaizdžiui, įvertinti jų mastą, taip pat prognozuoti kraštovaizdžio kaitos tendencijas, atpažinti raidos dėsningumus, užkirsti kelią destruktiniams procesams, įvertinti gamtos ar žmogaus padarytą žalą kraštovaizdžiui, todėl ilgalaikiai žemės dangos pokyčių stebėjimai yra aktuali tema, tačiau tuo pačiu ir problema, norint tai padaryti, kuo mažesniais resursais ir gauti, kuo efektyvesnę procesą. Žemės dangos pokyčių stebėjimas darosi vis paprastesnis pradėjus naudoti nuotoliniuose tyrimuose įvairius atviros prieigos palydovinius vaizdus.

Šio magistro darbo tikslas yra sudaryti žemės dangos pokyčių identifikavimo metodiką, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę. Šiam tikslui įgyvendinti išsikelti keturi uždaviniai: apžvelgti žemės dangos klasifikavimo metodikas, pritaikyti jas Lietuvos teritorijai ir išskirti žemės dangos klases, naudojamas darbo tyrime; apžvelgti žemės dangos pokyčių identifikavimo ir skaitmeninio kartografavimo, naudojant radaro ir multispektrinius palydovinius vaizdus, metodikas, paruošti bendrą metodiką, kuri bus taikoma darbo tyrime; atlikti žemės dangos klasifikavimą, naudojant radaro ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, remiantis paruošta metodika; atlikti žemės dangos pokyčių skaitmeninį kartografavimą, remiantis paruošta metodika.

Darbe naudojami Sentinel-1 palydovo sintetinės apertūros radaro ir Sentinel-2 palydovo multispektriniai palydoviniai vaizdai, paruošta metodika, kaip naudojant šių duomenų sintezę, atlikti žemės dangos klasifikavimą ir jos pokyčių identifikavimą.

Tyrimo rezultatai parodė, kad naudojant minėtų duomenų sintezę, identifikuoti žemės dangos pokyčius galima, tačiau juos reikia papildomai patikrinti, todėl buvo atlikta identifikuotų žemės dangos pokyčių kokybinė tikslumo patikra. Atlikus patikrą pastebėta, kad patikros metu klaidingai identifikuoti pokyčiai (92,08 % visų tikrintų pokyčių) yra klaidingai teigiami (angl. *False Positive*) rezultatai ir analizuojant vaizdus nepastebėta klaidingai neigiamų (angl. *False Negative*) rezultatų. Nepaisant to, kad pokyčiai tam tikrais nustatytais atvejais būna identifikuoti neteisingai, jų

vizuali peržiūra (ypač kai žinomos potencialios galimų netikslumų vietos) ir patikslinimas rankiniu būdu, vis tiek sunaudotų mažiau laiko resursų nei neautomatizavus proceso.

Reikšminiai žodžiai: duomenų sintezė, Sentinel-1, Sentinel-2, SAR, MSI, žemės dangos pokyčiai.

SUMMARY

GUSTĖ METRIKAITYTĖ

Research of the possibilities of digital mapping of the land cover changes using the fusion of SAR and multispectral satellite data

In the science of geography, land cover is considered an important object of study in some respects, such as environmental protection, landscape morphology and functioning, economic and social. It is constantly changing and is influenced by economic, political, cultural and other societal factors. Long-term observations of land cover can assess the factors that affect the landscape, assess their extent, as well as predict trends in landscape change, identify patterns of development, prevent destructive processes, assess natural or man-made damage to the landscape, so long-term observations of land cover changes are relevant topic, but at the same time a problem to do so with as few resources as possible and get the most efficient process as possible. Monitoring of land cover changes is becoming easier, because of various open source satellite images for remote sensing.

The aim of this master 's thesis is to develop a methodology for the identification of land cover changes using the fusion of radar and multispectral satellite images. To achieve this goal, four tasks have been set: to review the land cover classification methodologies, to apply them to the territory of Lithuania and to distinguish the land cover classes used in the research; to review the methodologies for the identification of ground cover changes and digital mapping using radar and multispectral satellite images, to prepare a common methodology that will be applied in the research of the work; to perform ground cover classification using radar and multispectral satellite image synthesis based on the prepared methodology; perform digital mapping of land cover changes based on the prepared methodology.

For the research used Sentinel-1 satellite synthetic aperture radar and Sentinel-2 satellite multispectral satellite images, prepared a methodology for the fusion of these data, land classification and identification of its changes.

The results of the study showed that using the fusion of the above data, it is possible to identify land cover changes, but they need to be further verified, so a qualitative accuracy check of the identified land cover changes was performed. The inspection revealed that the changes incorrectly identified (92.08% of all the inspected changes) during the inspection were false positive results and no false negative results were observed in the analysis of the images. Although changes are incorrectly identified in certain identified cases, their visual review (especially when potential

locations for potential inaccuracies are known) and manual correction would still use less time than not automating the process.

Keywords: data fusion, Sentinel-1, Sentinel-2, SAR, MSI, land cover changes.

PRIEDAI

1. 1 Priedas. Žemės dangos pokyčių, naudojant SAR ir multispektrinių palydovinių vaizdų sintezę, žemėlapis.

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 ir geoinformatikos katedros vadovas:.....
(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)

ŽĖMĖS DANGOS POKYČIAI, NAUDOJANT SAR IR MULTISPEKTRINIŲ Palydovinių VAIZDŲ SINTEZĘ

M 1:50 000

SUTARTINIAI ŽENKLAI

2019 m. žemės danga

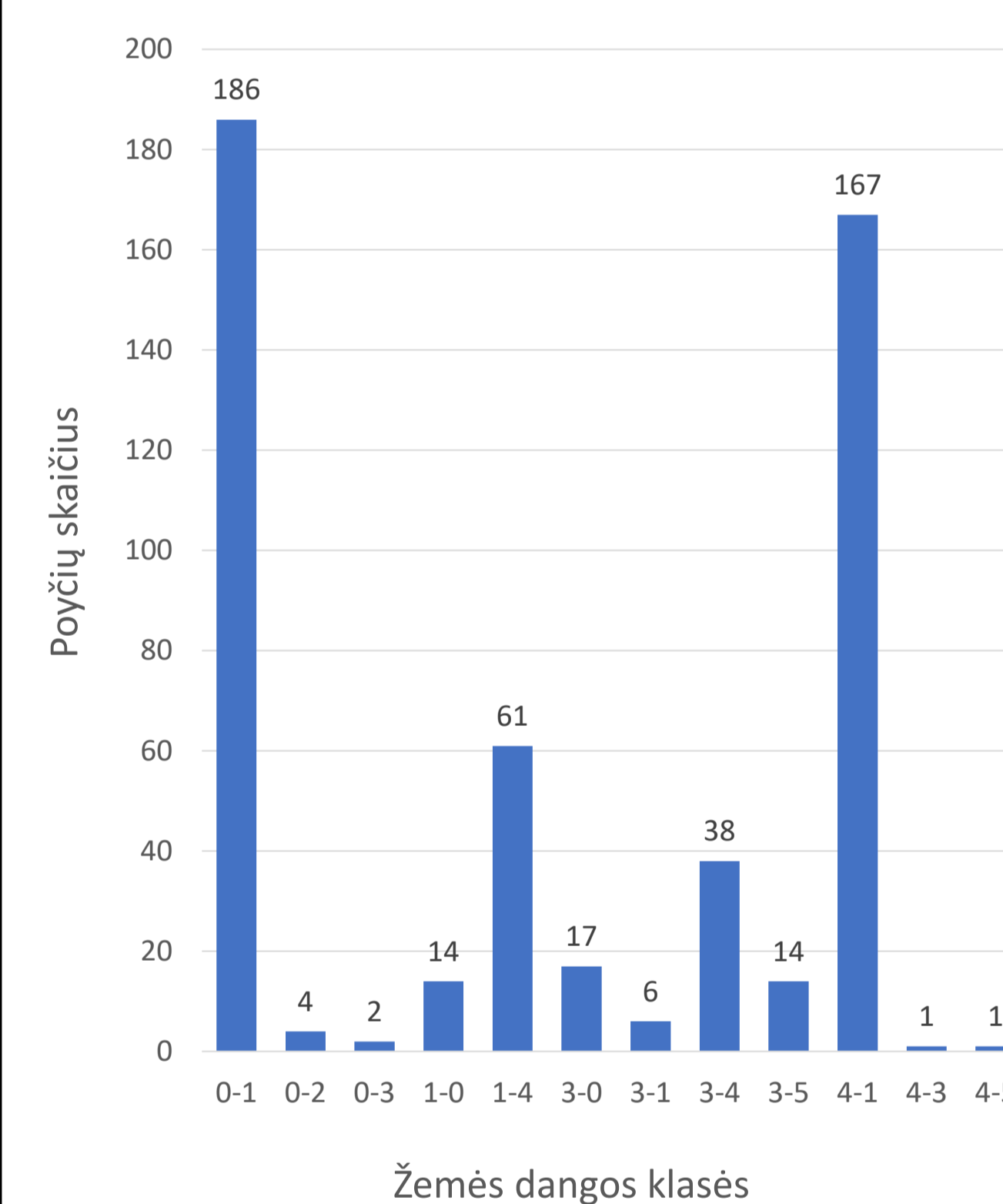
- 0 - augmenija nepadengti plotai
- 1 - miškai
- 2 - smėlynai
- 3 - urbanizuotos teritorijos
- 4 - vegetaciniai plotai
- 5 - hidrografiniai plotai

Žemės dangos pokyčiai tarp 2018 ir 2019 metų

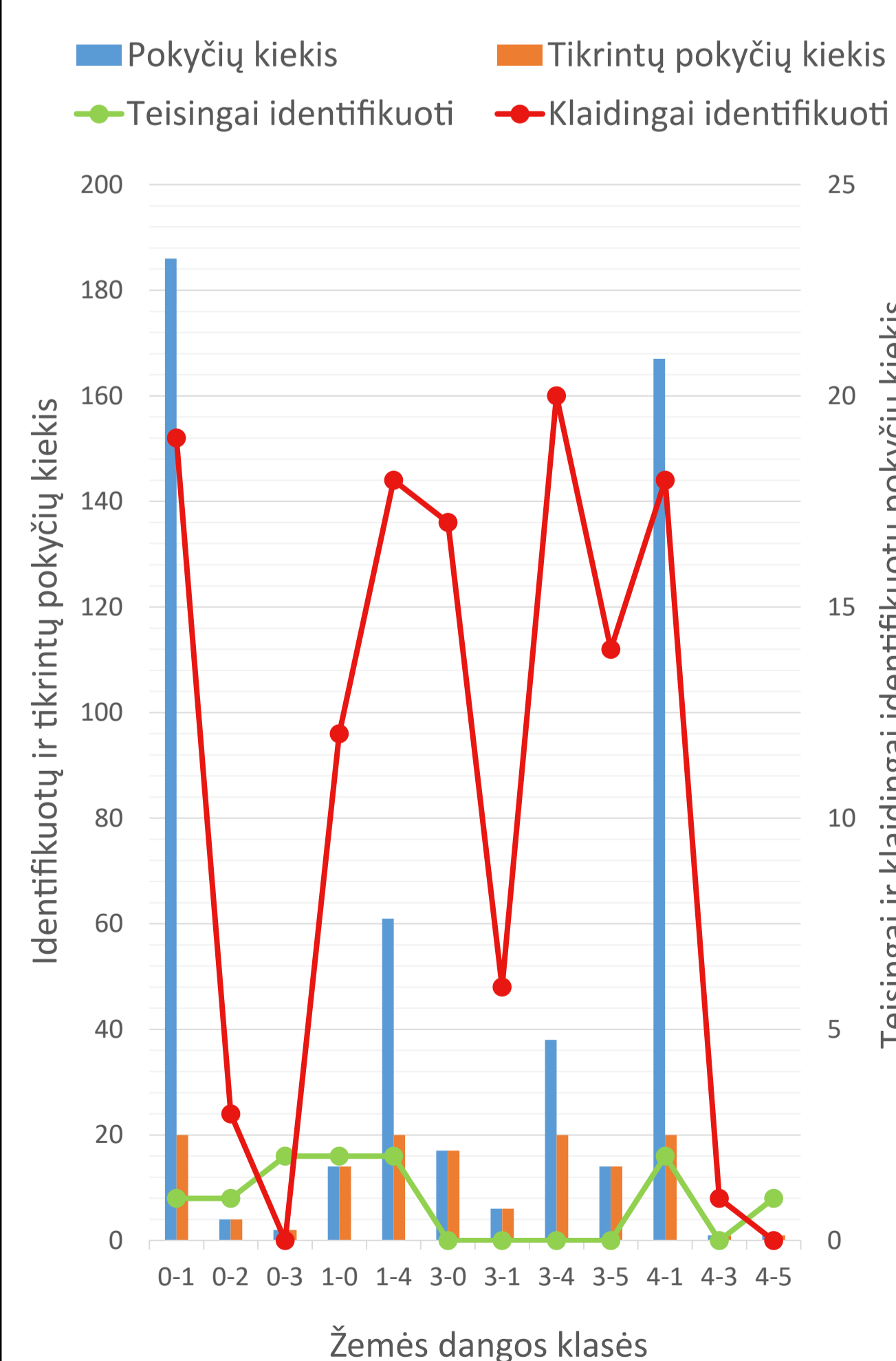
- Teritorijos, kuriose žemės danga pasikeitė
- 0-1 2019 m. žemės danga
- 2018 m. žemės danga

STATISTIKA

Žemės dangos klasės, tarp kurių užfiksuoti pokyčiai per 2019 metus



Kokybinio tikslumo patikros suvestinė



Sudarė: Gustė Metrikaitytė

Naudoti duomenys: Europos žemės stebėsenos programos Copernicus Sentinel palydovų vaizdai © Europos kosmoso agentūra, 2020