



NATURALIT

LIFE INTEGRUOTAS PROJEKTAS
NATURA 2000 TINKLO VALDYMO OPTIMIZAVIMAS LIETUVOJE
LIFE-IP-PAF-NATURALIT
LIFE16 IPE/LT/016

**MOKSLINĖ STUDIJA „BUVEINIŲ IR AGRARINĖS
APLINKOSAUGOS PRIEMONIŲ STEBESŅA
NAUDOJANT NUOTOLINIŲ TYRIMŲ METODUS“**

**Vytauto Didžiojo universitetas
Žemės ūkio akademija**



VYTAUTO DIDŽIOJO
UNIVERSITETO
ŽEMĖS ŪKIO
AKADEMIJA

Ataskaitą parengė: Donatas Jonikavičius

*Sub-action C.7.2: Development of innovative population
and habitat evaluation methods*

Completed by 30.06.2022



Mokslinės studijos
„BUVEINIŲ, AGRARINĖS APLINKOSAUGOS PRIEMONIŲ, GP DARBŲ POKYČIŲ
STEBĖSENOS, NAUDOJANT NUOTOLINIŲ TYRIMŲ METODUS“ ataskaitos
(19 pav., 10 lent., 45 literatūros šaltiniai, 1 priedas)

santrauka

Ataskaitoje aptariamos nuotolinių tyrimų metodų taikymo tiek miško, tiek atvirų teritorijų buveinių stebėsenoje galimybės, atsižvelgiant į šiandienos mokslo bei technologijų pasiekimus ir pateiktos rekomendacijos dėl šių metodų naudojimo. Apžvelgtas Lietuvoje dirbančių aplinkotyros specialistų santykis su nuotoliniais tyrimo metodais bei įvertintas tokių technologijų poreikis šioje srityje. Apibendrintos tiek radaro, tiek optinių kosminių vaizdų naudojimo taikant agrarinės aplinkosaugos priemonės pasaulinės tendencijos. Taip pat įvertinta laisvai prieinamų ir nemokamų radaro tipo bei optinių kosminių vaizdų gavimo ir naudojimo galimybės miško ir atvirų buveinių stebėsenoje Lietuvoje. Įvertinti aukštos skiriamosios gebos aerovaizdų vaizdų naudojimo privalumai bei trūkumai bei nustatyti vertinimo tikslumo pokyčiai kai miško buveinės būklei ir pokyčiams miške prognozuoti naudojami hiperspektriniai vaizdai.

Turinį žymintys žodžiai: miško buveinės, agroaplinkosauginės priemonės, nuotoliniai tyrimo metodai, kosminiai vaizdai, hiperspektriniai vaizdai

Report of feasibility study
“MONITORING OF HABITAT AND AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL PROTECTION
MEASURES USING REMOTE SENSING”
(19 figures, 10 tables, 45 references, 1 annex, in Lithuanian)

summary

The report discusses the possibilities of applying remote sensing in both forest and open area habitat monitoring, taking into account today's scientific and technological achievements, and provides recommendations for the use of these methods. The relationship between environmental research specialists working in Lithuania and remote sensing was reviewed and the need for such technologies in this area was assessed. Global trends in the use of both radar and optical satellite imagery for agro-environmental measures are summarized. The possibility of obtaining and using freely available and free radar-type and optical satellite images in the monitoring of forest and open habitats in Lithuania was also evaluated. The advantages and disadvantages of using high-resolution aerial images were evaluated and changes in the classification accuracy of the assessment were determined when hyperspectral images are used to predict the condition of the forest habitat and changes in the forest.

Key words: forest habitats, agro-environmental measures, remote sensing, satellite images, hyperspectral images

Turinys

Įvadas.....	4
1. Projekte dalyvaujančių suinteresuotų pusių poreikio analizė (Apklausos interviu būdu)	5
1.1 Apklausos tyrimo metodai	5
1.2 Apklausos tyrimo rezultatai	5
2. Nuotolinių tyrimų metodais gautos informacijos naudojimas agroaplinkosaugoje.	8
2.1 Kosminius vaizdus teikiančios sistemos.....	8
2.2 Kosminių vaizdų naudojimas agroaplinkosauginiuose tyrimuose Pasaulyje	11
2.3 Pokyčių nustatymas pievose ir ganyklose naudojant kosminius vaizdus	13
3. Nuotolinių tyrimo metodų naudojimas miško buveinių stebėsenoje	15
3.1 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant nuotolinių tyrimų informaciją.	16
3.1.1 Kosminių vaizdų klasifikavimas	16
3.1.2 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant kosminius vaizdus.....	19
3.1.3 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant CIR aerovaizdus ir Hiperspektrinius vaizdus.....	22
3.2 Pakitimų miške nustatymas naudojant kosminius vaizdus	25
Išvados ir pasiūlymai	30
Literatūra	31
Priedai	34

Įvadas

Lietuvoje kaip ir daugelyje kitų šalių didėja įvairių aplinkosauginių klausimų aktualumas. Mus supanti aplinka nuolat keičiasi, todėl norint ją išlaikyti kuo mažiau paveiktą žmogaus veiklos būtinai tam tikri sprendimai, kurie leistų optimaliai naudoti įvairius žemės resursus nekenkiant aplinkai. Lietuvoje įvairios institucijos nuolatos vykdo tiek saugomų, tiek kitų teritorijų stebėseną, vertina tų teritorijų būklę bei priima sprendimus, kurie padeda valdyti įvairius aplinkosauginius klausimus. Vienas iš komponentų, kuris užtikriną darnią mus supančios aplinkos stebėseną yra informacija apie turimus gamtinius resursus ir jų būklę. Kiekvienam sprendimui priimti reikalinga patikima informacija. Pastaruoju metu įvairių buveinių stebėseną vykdoma tradiciniais senai nusistovėjusiais metodais, kai yra važiuojama į teritoriją ir įvertinama buveinė vietovėje. Viena iš problemų pastaruoju metu yra ta, kad susiduriama su žmogiškųjų išteklių problema, todėl natūralu, kad reikalingi tam tikri sprendimai, kurie leistų palengvinti ir paspartinti kasdienius įvairių specialistų darbus vykdant saugomų ir kitų teritorijų bei įvairių buveinių stebėseną.

Nuolat tobulėjant technologijoms ir sparčiai vystantis įvairiems duomenų apdorojimo algoritmams atsiranda galimybė aplinkos stebėseną vykdyti pasitelkiant nuotolinių tyrimų metodais gautą informaciją. Tokios informacijos šaltiniai tampa vis laisviau prieinami plačiai visuomenei, todėl jos naudojimas atveria naujas galimybes. Dėl Europos kosmoso agentūros vykdomos „Copernicus“ kosmoso programos pastaruoju metu vėl vis daugiau atsiranda įvairių kosminių vaizdų naudojimo įvairiose srityse mokslinių tyrimų ir praktinio taikymo atvejų. Ne išimtis ir klausimų susijusių su aplinkosauga tiek moksliniai tyrimai, tiek praktinis naudojimas.

Šioje ataskaitoje pristatomos mokslo studijos tikslas ir yra atlikti mokslinę studiją, kurios metu būtų pademonstruotos nuotolinių tyrimų galimybės buveinių stebėsenoje. Tikslui pasiekti buvo iškelti uždaviniai:

- Įvertinti nuotolinių tyrimų informacijos naudojimo poreikį ir būtinumą specialistų aplinkos sferoje.
- Nustatyti nuotolinių tyrimų informacijos, galimos naudoti buveinių stebėsenoje, šaltinius, jų prieinamumą ir praktinio naudojimo potencialą;
- Įvertinti nuotolinių tyrimų informacijos naudojimo įvairių buveinių stebėsenoje tinkamumą, bei pateikti pasiūlymus dėl nuotoliniais tyrimais grindžiamos buveinių stebėsenos sistemos tobulinimo.

1. Projekte dalyvaujančių suinteresuotų pusių poreikio analizė (Apklausoos interviu būdu)

Viena iš projekto NATURALIT veiklų yra atlikti mokslinę studiją, kur būtų atsakyta į klausimus kaip nuotolinių tyrimų metodai gali padėti palengvinti kasdieninį darbą aplinkosaugos specialistams. Atliekant mokslinę studiją pirmiausia buvo nuspręsta atlikti projekto partnerių apklausą interviu būdu. Šia apklauso norima išsiaiškinti, kiek projekto partneriai yra susiję su nuotoliniais tyrimo metodais, kiek galbūt jau naudoja šiuos metodus. Taip pat buvo bandoma nustatyti kokie yra partnerių lūkesčiai ir ko tikimasi iš atliktos mokslinės studijos. Visai šiai informacijai surinkti buvo nuspręsta atlikti interviu su NATURALIT projekto partneriais bei su kitais ekspertais, kurie dirba susijusiose srityse.

1.1 Apklausoos tyrimo metodai

Prieš atliekant interviu buvo sudarytas klausimynas (priedas 1), kuris sudarytas iš trijų pagrindinių dalių. Pirmojoje klausimyno dalyje buvo klausimai susiję su informantų padėtimi jų atstovaujamoje įstaigoje t. y. ar jie turi santykį su nuotoliniais tyrimų metodais, kokias funkcijas jie atlieka, kokią patirtį turi savo atliekamame darbe, ar yra nuotolinių tyrimo metodų specialistų jų dirbamose įstaigose, ar įstaiga turi techninių priemonių tiems metodams taikyti ir pan.

Antrojoje dalyje buvo koncentruojamasi ir kalbama apie tiesioginius informantų interesus. Buvo pateikti klausimai susiję su problema su kuria susiduria informantai savo darbuose t.y buvo klausama kokie stebėjimo objektai yra, kokias inventorizacijų metodikos yra naudojamos informantų darbe, ar dabar naudojami stebėjimo ar inventorizacijų metodai tenkina ar tie metodai galėtų būti tobulinami ir pan.

Trečioje klausimyno dalyje buvo pateikiami klausimai kuriais norima išsiaiškinti informanto viziją. Klausimai buvo pateikiami apie tai kaip informantai įsivaizduoja kaip nuotolinių tyrimų metodai galėtų palengvinti jų kasdienes darbus, kokios informacijos trūksta, kad būtų priimti geresni sprendimai ir ar jie planuoja artimiausioje ateityje toliau naudoti ar pradėti naudoti nuotolinių tyrimų metodus.

Klausimynas buvo pateikiamas informantams prieš interviu, kad informantai galėtų susipažinti ir apgalvoti atsakymus į panašius klausimus interviu metu.

Apklausoos interviu metodu buvo organizuojamos kviečiant visus suinteresuotus vienos įstaigos asmenis. Skirtingais atvejais pokalbiai vyko esant skirtingam informantų kiekiui tai vieno interviu metu dalyvavo nuo 1 iki 5 asmenų. Interviu metu kur dalyvavo daugiau nei vienas informantas buvo klausama kiekvieno dalyvavusio asmens nuomone tuo klausimu. Viso buvo atlikta 4 interviu pokalbiai su skirtingų institucijų atstovais. Su dviem institucijų atstovais nepavyko suderinti pokalbio laiko, todėl jiems buvo pateiktas klausimynas į kurį informantai raštu pateikė atsakymus. Apklausoje interviu metodu dalyvavo Aplinkos ministerijos Gamtos apsaugos politikos grupės, Valstybinės saugomų teritorijų tarnybos (VSTT), Baltijos aplinkos forumo (BMF), Nacionalinės mokėjimo agentūros (NMA), Vytauto didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Miškų tarnybos atstovai. Interviu atskirais atvejais trukdavo 1 – 1,5 valandos. Pokalbiai su informantais buvo įrašinėjami ir po to analizuojama ir apibendrinama interviu metu surinkta informacija.

1.2 Apklausoos tyrimo rezultatai

Apibendrinus visus darytus interviu galime teigti, jog nuotoliniai tyrimo metodai šiuo metu buveinių stebėsenai naudojami tik epizodiškai, nes kol kas nėra pakankamai tyrimų ir sukurtų metodikų kaip būtų galima nuotolinius tyrimo metodus integruoti į miško ir kitų buveinių stebėseną. Pastaraisiais metais vis plačiau pradedama naudoti kosminiai vaizdai agrarinių teritorijų stebėsenai „kas jau liečia Sentinel duomenis, tai jau iš Sentinelio kartais tenka identifikuoti ar šienavimą, ar nešienavimą“, bet naudojamos metodikos ir būdai dar neleidžia pasiekti norimo tikslumo, todėl į nuotolinius tyrimų metodus žiūrima atsargiai „O kas su Sentineliais, tai mes dirbam tiek su HORIZON2020 projektais, Europos kosmoso agentūros projektais. Ten jau daugiau iš tokios teorinės, įrankių kūrimo pusės prieinam, bet agentūra visuose projektuose daugiau kaip testuotojai yra, kaip duomenų teikėja. Jau tą galutinį rezultatą testuojam, žiūrim ir duodam pastabas ką ten galim padaryt ir ko mums reikia būtent darbinėj aplinkoj.“, „Dabar visi pradeda tą Sentinel'į tyrinėti, dar vis tyrinėja, o jau norisi kad būtų kažkokie tai jau rezultatai. <...> Norisi, kad ta kokybė algoritmų vis aukštesnė ir jau nebekiltų klausimų gerai, blogai nustatė, kažkokių abejonių. Palydovas jei jau taip pasakė, reiškia taip ir yra“.

Įvairios su aplinkosaugos stebėseną susijusios valstybinės įstaigos dažnu atveju savo kasdieniame darbe vadovaujasi metodikomis, kurios sukurtos ir patvirtintos kai įvairi nuotolinių tyrimų informacija buvo sunkiai prieinama arba buvo ganėtinai brangi. Šiuo metu nuotolinių tyrimo metodų technologijos sparčiai vystosi atsiranda vis naujesnių ir tobulesnių tiek jutiklių kurie fiksuoja detalią informaciją, tiek vaizdų apdorojimo metodų kurie yra gerokai tobulesni ir leidžia pasiekti geresnius tikslumo rezultatus. Pastaraisiais metais labai daug informacijos gaunama iš kosminių vaizdų. Tiek Europoje, tiek visame pasaulyje pradėtos įvairios programos ir projektai kurių metu kuriami ir paleidžiami nauji palydovai, kuriuose montuojami jutikliai gebantys fiksuoti žemės paviršiaus atspindžius. Viena tokių programų yra Copernicus programa. Ši programa sukurta norint paskatinti progresą kosmoso technologijų bei žemės stebėjimo srityse, todėl visa informacija kuri gaunama iš toje programoje sukurtų palydovų yra nemokama visiems vartotojams.

Interviu metu pastebėta, kad apie nuotolinius tyrimo metodus (apie kosminius vaizdus, aeronuotraukas, lazerinio skenavimo duomenis) specialistai tikrai yra girdėję ir žino, kad tokia informacija galėtų būti prieinama, tačiau pažinimas kaip ta informacija galėtų būti naudojama jų kasdieniame darbe yra ribotas. Dauguma kalbintų specialistų teigė, kad jie neturi laiko kurį galėtų skirti gilinimuisi į nuotolinius tyrimų metodus todėl ir šių metodų naudojimas yra gan ribotas „Aš neturiu tokios patirties rimtesnės. Tiek kiek eilinis vartotojas visokių gatavų produktų gautų distanciniais metodais. Tai tik tiek, ne daugiau.“ (AM atstovas)

„Manau tie kurie atlieka buveinių inventorizacijas neturės kompetencijų, kad ten dar kažką analizuoti turint pradinis duomenis ir ta informacija turėtų būti apdorota iki galutinio lygio“ (VDU atstovas)

„Jeigu tuo užsiimti turi ir aukoti didžiąją laiko dalį (nuotoliniais metodams).“ (VSTT atstovas).

„Turiu supratimą, rezultatų esu matęs bet pats nedarau.“ (VDU atstovas)

Vis dėlto yra tikimasi, kad nuotoliniai tyrimai bus vis plačiau naudojami jų srityje. Tikimasi, kad nuotoliniu tyrimo metodais galėtų būti sumažintos darbo apimtys, kurias dabar reikia atlikti vykdant tiek buveinių stebėseną tiek kitą miškų ir agrarinių teritorijų stebėseną. Taip pat manoma, kad nuotoliniai tyrimai palengvintų daugelio specialistų kasdienes darbus, nes naudojant nuotolinių tyrimų metodus būtų galima apimti didesnes teritorijas

„Praskanavo, išbraižė kontūrus, ekologas atėjo. Nereikia vaikščioti po visą plotą. Prieš lauko darbus tie duomenys išsibraižo kur eit, kur neit.“ (VSTT atstovas)

„Iš sentinelio vaizdų galima atpažinti pvz.: kur vyko gaisras, ten nieko neliko, nėra ko eiti. Beliktų nueiti patikrinti kitas vietas“.

„Perspektyva manau yra didelė. Aš įsivaizduoju miškų buveinės būtų galima daryti daug didesnėse teritorijose analizuoti ir paskui jau tie ekspertai lankytųsi jau tik tose vietose kur kažkokie pasikeitimai jau užfiksuoti, tada realiai būtų daug didesnis efektyvumas, nes ekspertas eitų tik ten kur jau kažkas pasikeitė“ (VDU atstovas)

Taip pat tarp pašnekovų buvo dažna nuostata, kad (metodiniu požiūriu) nuotoliniai tyrimai turi papildyti/pakeisti žmogaus atliekamas inventorizacijas tokias, kokios jos yra dabar. Alternatyvių inventorizacijų schemų (tarkime, grindžiamų kitokiomis atrankos schemomis, kiek kitokių surenkamų duomenų turiniu ar forma ir pan.) galimybės arba nesvarstomos, arba laikomos kaip neperspektyvios.

„... kad iš principo nebeliktų agentūroje rankinio darbo ir mūsų tikrintojai, nebūtų tie, kurie važinėja į laukus ir tikrina <..?>, bet sėdėtų su kostiumu ofise ir dirbtų būtent su nuotoliniais duomenimis“ (NMA atstovas)

„Tikrai matau dideles perspektyvas ir galimybes sutaupant išteklius“ (VDU atstovas)

„Jeigu šitoje srityje būtų pasiūlymų, tai mes džiaugtumėmės, jeigu dalis tų tyrimo darbų galėtų būti atlikti distanciniais metodais.“ (AM atstovas)

Po pokalbių su suinteresuotais asmenimis pastebėta, kad kartais vis atsigręžiama į nuotolinių tyrimų metodus, nes iš įvairių šaltinių gaunama informacija, kad šie metodai yra naudingi ir juos naudojant gali būti gauta papildoma nauda, tačiau kažkokios inovacijos šiuo klausimu dažniausiai atskirose institucijose yra atsitiktinio pobūdžio. Tos institucijos, kurios turi daugiau informacijos apie nuotolinius tyrimo metodus ar pačios vis daugiau naudoja šiuos metodus savo tikslams pasiekti yra labiau linkusios į inovacijas, bet vieningos strategijos, kaip galėtų plėsti nuotolinių tyrimų metodų naudojimą savo kuruojamose srityse nėra „Dronus mes pirmiausia pasiėmė sunkiai pasiekiamoms teritorijom fiksuoti, apžiūrėti, nes turim atvejų kai negalim nuo tvoros prieiti pasižiūrėti pasėlių ar pvz., turime šlapynių dekoruotus plotus, kurių tu negali pažiūrėti būdamas lauke“ (NMA atstovas)

„Augalijos monitoringas daromas kartografuojant augalų bendrijas ir pradedamas daryti su satelitiniais žemėlapiais, spektrinės analizės ir tuomet išmodeliuojamas bendrijų mozaika“ (BMF atstovas).

Taigi matome, kad tiek įvairių buveinių stebėsenoje tiek agrarinėje aplinkosaugoje Lietuvoje nuotolinių tyrimų metodų naudojimas yra gan ribotas ir pagrindinė priežastis galėtų būti įvardinta kaip tam tikros informacijos ir specialistų pajėgumo stoka. Taip pat pokalbių metu paaiškėjo, kad reiktų daugiau mokslinių tyrimų kurie padėtų ir pademonstruotų nuotolinių tyrimų metodų galimybes naudojant juos įvairių buveinių stebėsenoje ir agroaplinkosaugoje.

2. Nuotolinių tyrimų metodais gautos informacijos naudojimas agroaplinkosaugoje.

2.1 Kosminius vaizdus teikiančios sistemos.

Pasaulyje yra pakankami daug įvairių sistemų, kurios vartotojams teikia optinius kosminius vaizdus. Viena pirmųjų programų kuri buvo skirta kurti ir pritaikyti palydovus Žemės stebėjimui dar 1972 metais startavusi Landsat programa. Landsat palydovai ilgą laiką buvo ir galima sakyti yra vieni pagrindinių Žemės paviršiaus palydovinių nuotraukų šaltinių. Kosminiai vaizdai gauti iš Landsat palydovų ilgą laiką visame pasaulyje buvo naudojami įvairiems moksliniams tyrimams gamtos išteklių matavimams ir pan. Dabar visas sistemas, kurios teikia optinius kosminius vaizdus galime suskirstyti į tris pagrindines klases. Vidutinės skiriamosios gebos kosminiai vaizdai ir aukštos skiriamosios gebos kosminiai vaizdai ir labai aukštos skiriamosios gebos kosminiai vaizdai. Pastarieji gali būti gaunami iš tokių komercinių palydovų kaip Pleiades, Worldview, Geoeye, kur vaizdų skiriamoji geba gali būti iki 30 cm, tačiau tokios skiriamosios gebos kosminiai vaizdai yra mokami. Kita kategorija kosminių vaizdų tai aukštos skiriamosios gebos vaizdai. Dažniausiai tai vaizdai kur skiriamoji gaba būna nuo keletos metrų iki metro. Tokius vaizdus galime gauti iš tokių palydovų kaip Spot 6, Spot 7, Rapideye. Plačiausiai šiuo metu pasaulyje yra naudojami vidutinės skiriamosios gebos kosminiai vaizdai. Tai yra keliolikos metrų skiriamosios gebos kosminiai vaizdai. Tokius vaizdus galima gauti iš ankščiau minėtos Landsat programos palydovų, taip pat Europos kosmoso agentūros programos „Copernicus“ Sentinel 2 palydovų. Landsat šiuo metu veikiantys yra du palydovai tai Landsat 8 kuris buvo paleistas 2013 metai ir 2021 metais paleistas Landsat 9 palydovas (2.1 pav.), kuris pakeitė netinkamai veikiantį Landsat 7 palydovą. Abiejų Landsat palydovų gaunami vaizdai yra nuo 15 iki 30 metrų skiriamosios gebos priklausomai nuo fiksuojamų spektrinių juostų. Landsat palydovų vaizdų techninės charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje.



2.1 pav. Landsat-9 palydovas, kuriame sumontuoti dviejų tipų optiniai jutiklis.(nuotrauka imta iš: https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/landsat9_still_sw2_print_0.jpeg)

2.1 lentelė. Iš Landsat 8-9 misijų palydovų gautų vaizdų charakteristikos. (Šaltinis: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/>)

Spektrinių juostų pavadinimas	Jutiklis	Spektrinio kanalo numeris	Fiksuojamų bangų ilgiai (mikrometrais)	Skiriamoji geba (metrais)
Aerozolių fiksuojanti (Coastal aerosol)	OLI	1	0.43-0.45	30
Mėlyna (Blue)	OLI	2	0.45-0.51	30
Žalia (Green)	OLI	3	0.53-0.59	30
Raudona (Red)	OLI	4	0.64-0.67	30
Artimųjų infraraudonųjų (NIR)	OLI	5	0.85-0.88	30
SWIR 1	OLI	6	1.57-1.65	30
SWIR 2	OLI	7	2.11-2.29	30
Panchromatinė (Panchromatic)	OLI	8	0.50-0.68	15
Cirrus	OLI	9	1.36-1.38	30
Šiluminė infraraudonųjų-1 (Thermal Infrared)	TIRS	10	10.6-11.19	100
Šiluminė infraraudonųjų-2 (Thermal Infrared)	TIRS	11	11.50-12.51	100

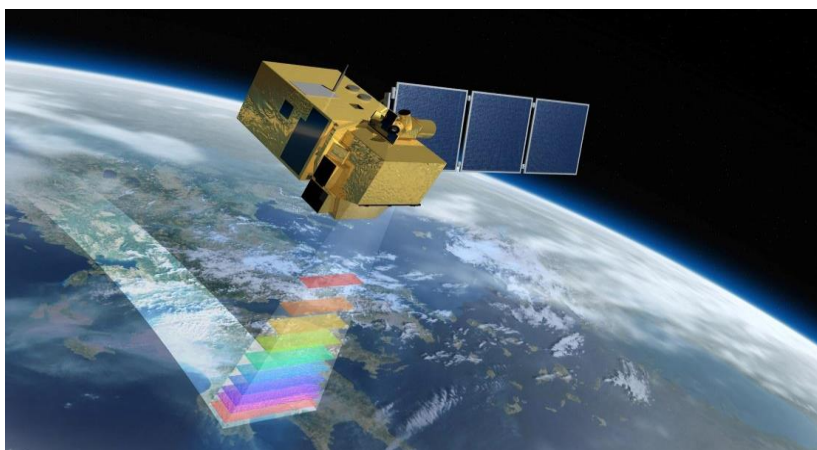
Kitos Žemės stebėjimo programos palydovai kurie vis plačiau naudojami tiek moksliniuose tyrimuose tiek praktinėje veikloje yra Sentinel 2 A ir Sentinel 2 B palydovai (2.2 pav.). Jų teikiamų vaizdų techninės charakteristikos pateikiamos 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Iš Sentinel 2 misijos palydovų gautų vaizdų charakteristikos. (Šaltinis: <https://sentinel.esa.int>)

Spektrinių juostų pavadinimas	Jutiklis	Spektrinio kanalo numeris	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Skiriamoji geba (metrais)
			Spektrinės zonos vidurys (nm)	Spektrinė skiriamoji geba (nm)	Spektrinės zonos vidurys (nm)	Spektrinė skiriamoji (nm)	
Aerozolių fiksuojanti (Coastal aerosol)	MSI	1	443.9	20	442.3	20	60
Mėlyna (Blue)	MSI	2	496.6	65	492.1	65	10
Žalia (Green)	MSI	3	560.0	35	559	35	10
Raudona (Red)	MSI	4	664.5	30	665	30	10
Kraštinė raudona (Red Edge)	MSI	5	703.9	15	703.8	15	20
Kraštinė raudona augalijai tirti (Vegetation Red Edge)	MSI	6	740.2	15	739.1	15	20

Kraštinė raudona augalijai tirti (Vegetation Red Edge)	MSI	7	782.5	20	779.7	20	20
Artimųjų infraraudonųjų (NIR)	MSI	8	835.1	115	833	115	10
Siauroji artimųjų infraraudonųjų (Narrow NIR)	MSI	9	864.8	20	864	20	20
Vandens garus fiksuojanti (Water vapour)	MSI	10	945.0	20	943.2	20	60
SWIR – Cirrus	MSI	11	1373.5	30	1376.9	30	60
SWIR	MSI	12	1613.7	90	1610.4	90	20
SWIR	MSI	13	2202.4	180	2185.7	180	20

Sentinel 2 kosminių vaizdai plačiai naudojami įvairiose sferose pavyzdžiui žemės ūkyje, miškininkystėje, energetikos srityje ir t.t. Dėl lengvo prieinamumo Sentinel 2 vaizdai taip pat plačiai naudojami aplinkosauginiuose, agroaplinkosauginiuose ir kituose tyrimuose.



2.2 pav. „Copernikus“ programos Sentinel 2 palydovas, kuriame sumontotas optinis jutiklis.(nuotrauka https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/04/Sentinel-2)

Dar vienas informacijos šaltinis apie Žemę yra pirmasis Europos kosmoso agentūros vykdomos „Copernicus“ programos palydovas Sentinel1. Šią misiją sudaro du palydovai Sentinel-1A ir Sentinel1B. Šie abu palydovai skrieja toje pačioje orbitos plokštumoje ir juose sumontuotas C juostos radaro jutiklis, kurio pagalba informacija apie Žemės paviršių gali būti gaunama bet koku oru. Gaunamų radaro vaizdų skiriamoji geba iki 5 m. Palydovas visą savo orbitą apskrieja per 12 dienų, todėl esant dviem palydovam (Sentinel-1A ir Sentinel-1B) tos pačios vietovės radaro vaizdas gali būti gaunamas kas 6 dienas. Radaro vaizdai savo esme skiriasi nuo optinių vaizdų todėl vaizdų apdorojimo ir informacijos interpretavimo metodai ir būdai yra skirtingi. Optiniuose vaizduose yra

fiksuojamasis objektų elektromagnetinės spinduliuotės atspindys, kas leidžia nustatyti informaciją apie objekto sudėtį, ypatybes, struktūrą ir pan. Tuo tarpu radaro vaizduose mes galime fiksuoti pagrįstai objektų padėtį ir paviršių struktūrą, tačiau kaip buvo anksčiau minėta tokiose sistemose naudojamos mikrobangos nekliudomai gali skrieti per debesis tiek dieną, tiek naktį ir tai leidžia gauti informaciją nepriklausomai nuo oro sąlygų ir ištisą parą. Toks nenutrūkstamas informacijos šaltinis leidžia vystyti ir tobulinti tokius informacijos apdorojimo metodus kur reikalingos ilgos stebėjimų ir periodinės informacijos sekos.

2.2 Kosminių vaizdų naudojimas agroaplinkosauginiuose tyrimuose Pasaulyje

Visam pasauliui susiduriant su klimato šiltėjimo problema vis dažniau reikalinga priimti tam tikrų sprendimų, kurie padėtų subalansuotai naudoti gamtos išteklius. Norint priimti tinkamus sprendimus reikalinga turėti pakankamai informacijos apie mus supančią aplinką ir joje vykstančius procesus. Nuolat tobulėjant technologijoms atsiranda galimybė analizuoti ir apdoroti vis didesnius informacijos kiekius, todėl informacijos rinkimas apie mus supančią aplinką taip pat nuolat kinta ir atsiranda vis tobulesni prietaisai kurių pagalba tą informaciją galime surinkti. Vienas iš informacijos apie mus supančią aplinką šaltinių yra nuotoliniais tyrimo metodais gauta informacija. Aero vaizdai, kosminiai vaizdai, lazerinio skenavimo duomenys visa ši informacija leidžia mums modeliuoti aplinkoje vykstančius reiškinius ir procesus bei priimti tinkamus sprendimus susijusius su gamtos saugojimu ir jos subalansuotu išteklių naudojimu.

Nuotoliniai tyrimo metodai agroaplinkosaugoje vis labiau atranda savo vietą. Pastebima, kad šiais metodais surenkama informacija padeda gerokai sumažinti duomenų rinkimo kaštus palyginus su įprastiniais metodais surinkta informacija juolab, kad informacijos surenkama gerokai daugiau. Pasaulyje pastaraisiais metais sparčiai daugėja mokslinių tyrimų kur bandoma įvertinti nuotolinių tyrimų naudą agroaplinkosaugoje. Ypatingai mokslinių tyrimų šia tema padaugėjo startavus „Copernicus“ programai. Tai yra Europos Sąjungos Žemės stebėjimo programa, kurią vykdydant visų Europos piliečių labai stebima mūsų planeta ir jos aplinka ir kosminiai vaizdai gali būti gaunami neatlygintinai. Taip pat tyrimams šioje tematikoje postūmį davė sparčiai besivystančios bepiločių orlaivių technologijos, kurių pagalba labai operatyviai ir pakankamai nebrangiai galima surinkti itin didelio tikslumo duomenis.

Kaip jau buvo minėta, nuotolinių tyrimų sistemos nuolat tobulėja, todėl tai leidžia kurti įvairias sistemas kurios automatiškai vykdytų didelių teritorijų stebėseną. Taip pat tobulėjant ir didėjant vaizdų skiriamajai gebai atsiranda galimybės vykdyti stebėseną net mažuose ploteliuose (plotas mažesnis nei 1 ha). Vis daugiau informacijos didiną stebimų parametrų nustatymo tikslumą, todėl dabar dažnai yra naudojamos ne vienos datos vaizdai, bet daug skirtingų datų vaizdų, kurių analizė leidžia nustatyti tam tikrus pasikeitimus ir tendencijas. Naudojamos nuotolinių tyrimų įvairios sistemos tokios kaip labai aukštos skiriamosios gebos AVHRR, MODIS, Landsat ir Sentinel-2, kuriose įmontuoti multispektriniai jutikliai, leidžia išskirti augmeniją ir nustatyti gyvybingumą, tankumą ir pan. Kosminiai hyperspektriniai vaizdai iš sistemų Hyperion ar CHRIS/Proba leidžia nustatyti biofizines ir biochemines augalų savybes (Rast M et al. 2019, Transon J. et al. 2018, Verrelst J. et al. 2019). Augalų rodikliai tokie kaip aukštis, struktūra, dangos šiurkštumas, dialektinės savybės gali būti nustatomos naudojant radarinius jutiklius (TerraSAR-X, Sentinel-1 ir panašios sistemos) (Hill M.J. et al. 1999, Wegmuller U. Et al. 1997, McNairn H. Et al. 2004, 2016).

Nemažai mokslinių tyrimų rodo, kad Nuotoliniai tyrimų metodai turi potencialo ir gali būti naudojami pievų ir ganyklų būklės stebėsenoje (Hopping et al., 2018, Numata et al., 2007, Tepanosyan

et al., 2017, Tomasella et al., 2018; Zhumanova et al., 2018). Pievų ir ganyklų būklę galime stebėti naudojant nuotolinių tyrimų informaciją, nes pagal nuotolinių tyrimų informaciją mes galime nustatyti augalijos kiekius. Dažniausiai augmenijos dangos procentas parodo ganyklų ir pievų degradavimo laipsnį. Vienas iš degradacijos požymių yra kai atsiranda sparti žolių rūšių kaita. Degradavusios ganyklos turi labai nedidelį šansą savaime atsikurti ir susitvarkyti. Jei ganyklos bus alinamos, tai ganyklos gali pasiekti dirvožemio išteklių visišką degradaciją ir taip padaryti nepataisomą žalą visai aplinkai (Eswaran et al., 2001). Ganyklose atsirandant kitoms ne tokioms produktyvioms augalų rūšim gali sumažėti žolinės augalijos danga ir biomasės kiekiai (Fearnside, 1996, Martínez and Zinck, 2004). Ganyklų ir pievų būklę dažnu atveju gali būti stebima pagal nuotolinių tyrimo metodais gautą informaciją skaičiuojant įvairius indeksus.

Vienas iš indeksų kuris parodo ganyklų degradaciją yra NDVI indeksas, kuris plačiai naudojamas įvairiose biomasės kiekio nustatymo uždaviniuose (Bai et al., 2008; Haberl et al., 2007). Nepaisant plataus šio indekso naudojimo gautų rezultatų skaičiuojant NDVI indeksą interpretavimas yra gan sudėtingas, nes NDVI indeksas parodo žalios augalijos buvimą ar nebuvimą, todėl sunku nustatyti ar augalija sumažėja ar padidėja dėl degradacijos ar dėl kokių tai kitų priežasčių (Gibbs and Salmon, 2015; Riva et al., 2017).

Daugelyje atvejų įvairiuose tyrimuose kalbama apie indeksų suskaičiuotų iš nuotolinių tyrimų vaizdų ryšį su antžeminiais matavimais vietovėje (Reinermann S. et al. 2020). Dažniausiai augalijos įvairiems rodikliams nustatyti yra naudojami Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) rečiau kiti indeksai tokie kaip Enhanced Vegetation Index (EVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) ar Leaf Area Index (LAI). Moksliniuose straipsniuose dažniausiai augalijos parametrų ryšys su nuotolinių tyrimų duomenimis nustatinėjamas naudojant tiesinės regresijos modelius (Reinermann S. et al., 2020; Edirisinghe A. et al., 2011, 2012; Smith R.C. et al. 2011), bet tobulėjant modeliavimo algoritmams vis daugiau pradedama taikyti įvairūs kiti mašininio mokymo algoritmai tokie kaip Random Forest (Magiera et al., 2017, Ramoelo et al., 2015, Wang et al., 2017, Zeng et al., 2019), Support Vector Machines (Zhang et al., 2016), Generalized Linear Models (Baghi and Oldeland, 2019) Gaussian process regression (Yin et al., 2018), Artificial Neural Networks (Xie et al., 2009, Li et al., 2013, 2016, Ali et al., 2014, 2017, Quan et al., 2017, Yang et al. 2018) ir Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (Ali et al., 2017). Įvairūs tyrimai apžvelgtuose straipsniuose parodė, kad biomasę naudojant įvairias kosmines nuotraukas galime sumodeliuoti ir nustatyti pakankamai gerai modelio R^2 0,4 – 0,9 (Reinermann et al., 2020). Taip pat geriausi rezultatai kai $R^2 > 0,95$ gautas kai tyrimai atliekami jau žinant ir nurodant kur tiriami objektai galėtų būti pagal vietovės matavimus (Reinermann et al., 2020). NDVI indeksas taip pat dažniausiai naudojamas pievų ir ganyklų būklės nustatymui vertinant šienavimą ir ganymą. Net apie 42 % pastaruoju metu vykdytų tyrimų kur bandoma naudojant kosminius vaizdus nustatyti ganymo intensyvumą ir šienavimo intensyvumą buvo daryti skaičiuojant NDVI indeksą (Reinermann et al., 2020). Pievų ir ganyklų vertinimui dažniausiai naudojami tokios trys pagrindinės metodų grupės: klasifikavimas, regresinė analizė, skirtingo laiko duomenų analizė. Klasifikavimo technikos labai dažnai naudojamos norint nustatyti šienavimo ir ganymo faktą (Dusseux et al., 2012, 2013, Price et al., 2002). Taip pat yra daryta eilė tyrimų kur bandyta nustatyti ganymo ir šienavimo intensyvumą (Asam et al. 2015, Franke et al., 2012, Kurtz et al., 2010, Halabuk et al., 2015, Siegmund et al., 2016, Taravat et al., 2019).

Taigi dėl tam tikrų šios srities ypatumų nuotolinių tyrimų informacijos naudojimas gali būti sudėtingas, tačiau uždaviniuose kur reikia nustatyti tam tikras tendencijas žemės dangų pasikeitimus ir pan. didelėms teritorijoms ir pakankama tam tikro tikslumo nuotolinių tyrimų informacija yra

nepakeičiamas informacijos šaltinis. Pasaulyje atliekama vis daugiau mokslinių tyrimų, kur vertinamas tokios informacijos patikimumas ir naudojimo galimybės.

2.3 Pokyčių nustatymas pievose ir ganyklose naudojant kosminius vaizdus

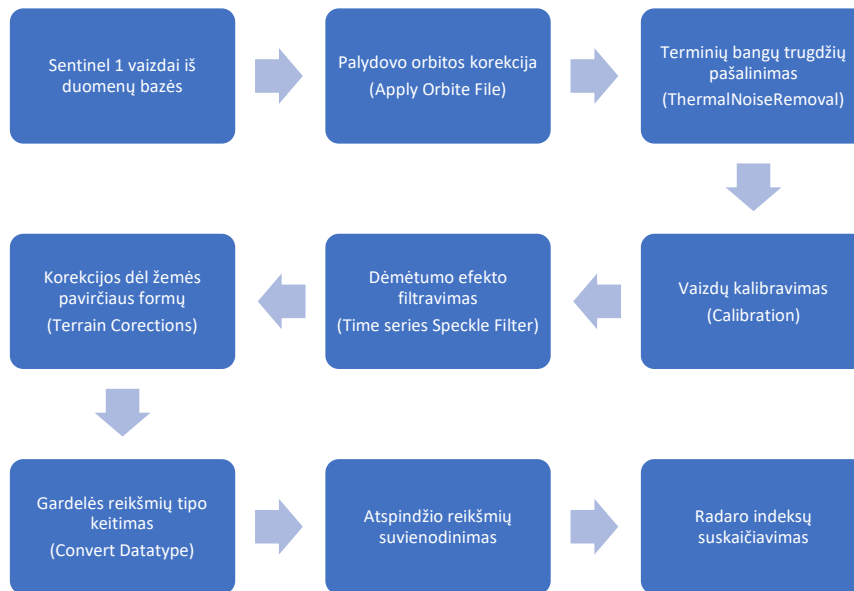
Apžvelgus pasaulyje vykdomus mokslinius tyrimus agroaplinkosaugine tematika, kur bandoma įvertinti nuotolinių tyrimo metodais gautos informacijos tinkamumą buvo įvertintos kosminių radaro vaizdų naudojimo galimybės. Kaip anksčiau buvo minėta pagal atliktus tyrimus matome, kad dažniausiai tikslesni rezultatai gaunami kai naudojami optiniai kosminiai vaizdai, bet šiuo atveju buvo pasirinkta įvertinti kosminių radaro vaizdų naudojimo galimybes. Taip pat radaro vaizdai pasirinkti dėl to, kad jų informacijos kokybės praktiškai neįtakoja oro sąlygos t.y. dėl savo technologijos vaizdai gaunami nepriklausomai nuo oro sąlygų, tuo tarpu optinių kosminių vaizdų kokybė didele dalimi lemia debesuotumas. Lietuva yra vėsiojo vidutinio klimato zonoje su vidutinio šaltumo vasaromis bei vidutinio šaltumo žiemomis (Lietuvos klimatas ..., 2007), todėl didžiąją dalį laiko ypač šviesiu paros metu (optiniai kosminiai vaizdai gaunami tik šviesiu paros metu) yra debesuota. Dėl šios priežasties optinius kosminius vaizdus su tam tikru pasikartojimu (pvz. kiekvieną pavasario ir vasaros savaitę) konkrečiai Lietuvos teritorijai gauti yra praktiškai neįmanoma. Todėl čia buvo nuspręsta vertinti tik kosminių radaro vaizdų naudojimo galimybes.

Tyrimui atlikti buvo surinkti kosminiai Sentinel 1 misijos radaro vaizdai ir sudaryta vaizdų duomenų bazė. Norint vertinti pievų ir ganyklų pokytį šiltuoju metu laiku naudoti skirtingų datų kosminiai radaro vaizdai (2.3 lentelė.).

2.3 lentelė. Kosminių radaro vaizdų naudotų pievų ir ganyklų pasikeitimų įvertinimo tyrime techninės charakteristikos.

Vaizdo užfiksavimo data	Palydovas ir jutiklis	Vaizdo tipas	Vaizdo skiriamoji geba, m
2021 06 15	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2021 06 21	Sentinel 1B, SAR	Radaras	10
2021 06 27	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2021 07 9	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2021 07 15	Sentinel 1B, SAR	Radaras	10
2021 07 21	Sentinel 1B SAR	Radaras	10
2021 07 27	Sentinel 1A SAR	Radaras	10
2021 08 02	Sentinel 1A SAR	Radaras	10
2021 08 08	Sentinel 1B SAR	Radaras	10
2021 08 14	Sentinel 1A SAR	Radaras	10
2021 08 20	Sentinel 1BSAR	Radaras	10
2021 09 01	Sentinel 1B SAR	Radaras	10
2021 09 13	Sentinel 1B SAR	Radaras	10

Kaip galim pastebėti 2.1 lentelėje kosminiai radaro vaizdai buvo gauti birželio, liepos rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiai. Vidutiniškai vaizdai gauti kas 6 dienas. Gauti vaizdai buvo paruošiami analizei. Buvo atliktas vaizdų kalibravimas ir pagerinimas pagal 2.3 paveiksle pateiktą schemą.



2.3 pav. Sentinel 1 SAR kosminių vaizdų (skirtingų datų sekos) pirminio apdorojimo schema.

Visų datų kosminių radarų vaizdų atspindžiai buvo suvienodinti, kad būtų galima juos lyginti tarpusavyje. Taip pat buvo pagal kiekvienos datos vaizdą atskirai apskaičiuotas Radaro Vegetacijos Indeksas (RVI), kuris labai glaudžiai siejasi su žolinės augalijos kiekiu (F. Lobert et al., 2021).

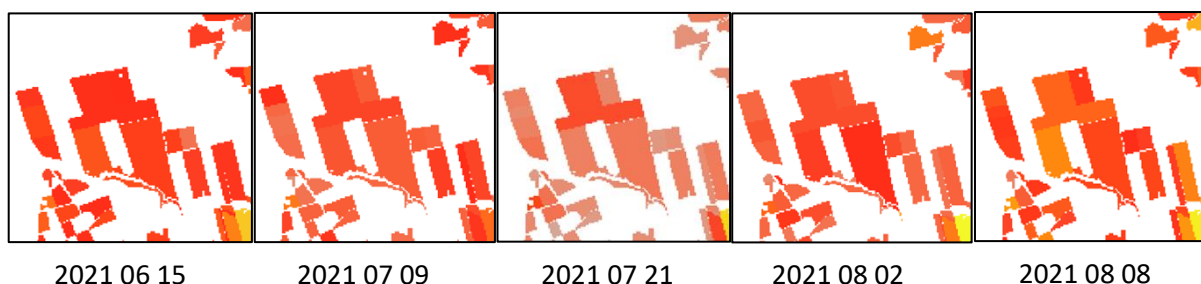
Iš Lietuvos pasėlių duomenų bazės buvo paimtas duomenų rinkinys, kur nustatytos pievų ir ganyklų ribos (2.4 pav.) bei kita atributinė informacija tokia kaip pievų ir ganyklų grupė, plotas ir pan.



2.4 pav. Pievų ir ganyklų 2021 metų duomenų rinkinio fragmentas. Raudonos linijos žymi pievų ir ganyklų ribas.

Šis pievų ir ganyklų duomenų rinkinys naudotas kaip teritorija, kurioje vertinama ar galime aptikti tam tikrus pasikeitimus augalų vegetacijos periodo metu. Toliau kiekvienam plotui pagal kosminių radaro vaizdų informaciją buvo ištrauktos atspindžio reikšmės. Reikšmės ištraukto iš kiekvieno atskiros datos vaizdo, taip gautas 13 skirtingo laiko reikšmių, kurių skirtumas reiškia

vienokį ar kitokį paviršiaus pokytį. Kiekvienam pievų ir ganyklų sklypui sudaromas grafikas (2.5 pav.) pagal kurį nustatoma kada galimai buvo atliktas šienavimas ar kitas pasikeitimas.



2.5 pav. Pievų ir ganyklų augalijos dangos kitimas. Spalvos intensyvumas rodo augalijos kiekį.

Taip pat pokyčius pasirinktame plote galime nustatyti sudarant pokyčio kreives (2.6 pav.)



2.6 pav. RVI indekso apskaičiuoto pagal kosminio radaro vaizdo reikšmes kitimas skirtingu laiku.

Pagal 2.6 paveikslą pavaizduota vieno sklypo kuris yra daugiametė pieva pavyzdį. Matome, kad vaizdų atspindžio reikšmės didėja ir po to staigiai krenta. Tai reiškia, kad vietovėje įvyko paviršiaus pasikeitimai ir galime daryti prielaidą, kad tie pasikeitimai įvyko dėl žolės netekimo t. y. pieva buvo nušienauta. Dėl matavimų vietovėje duomenų stokos šiame tyrime nustatymo tikslumas nebuvo vertintas, bet atsižvelgiant į kitų mokslininkų ir institucijų darytus tyrimus bei patirtį galime teigti, kad kosminių vaizdų informacija gali būti naudojama tokiems pasikeitimams kaip šienavimas aptikimui.

Matome, kad augalijos pasikeitimus pievose ir ganyklose galime nustatyti savaitės tikslumu. Kaip anksčiau apžvalgoje buvo minėta kitų autorių tiek visame pasaulyje tiek Lietuvoje tyrimai rodo, kad tokių pasikeitimo nustatymo tikslumas dažniausiai siekia 70- 80 %. Panašūs metodai leidžia daryti prielaidas, kad toks pievų ir ganyklų pokyčių stebėjimas galėtų palengvinti įvairias tam tikras patikrų procedūras, taip palengvinant ir paspartinant specialistų kasdienį darbą.

3. Nuotolinių tyrimo metodų naudojimas miško buveinių stebėsenoje

Pagal 2020 FAO duomenis pasaulyje visos sausumos teritorijos miškai užima 30 %. Keičiantis klimatui žmonės vis labiau supranta miškų reikšmę mūsų planetos gyvavimui. Viena iš sričių, kuri pastaraisiais metais įgauna vis didesnę reikšmę yra aplinkosauga. Vis griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams labai svarbu turėti pakankamai tikslią informaciją apie mus supančią aplinką ir joje vykstančius procesus. Įvairiose šalyse dirbančios aplinkosauginės organizacijos nuolat stebi ir vertina miškų būklę. Miškas dažnu atveju ne vien tik medienos šaltinis,

bet ir tam tikra sistema kurioje gyvena ir sąveikauja daugybė organizmų, todėl yra labai svarbu įvertinti tą sistemą ir stengtis išlaikyti ją kuo natūralesnę.

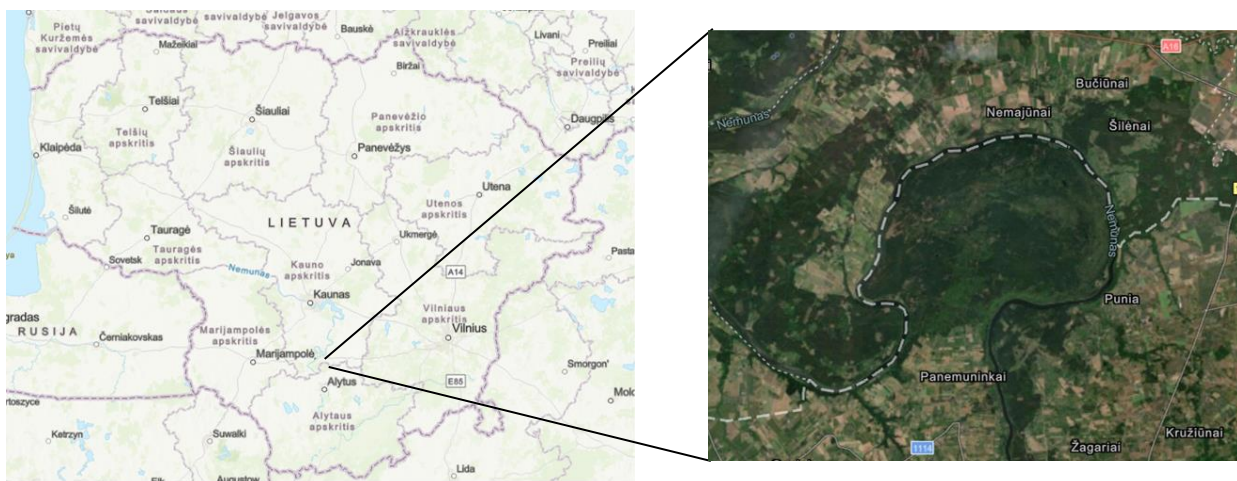
Lietuvoje miškų plotas užima 33,7 % (Oficialios Statistikos Portalas, 2020) visos teritorijos. Kaip ir kitose šalyse mūsų šalyje nuolatos yra stebimos ir vertinamos miško buveinės. Tačiau mažėjant žmogiškiesiems ištekliams vis sunkiau surinkti informaciją apie pakankamai didelius miškų plotus naudojant nusistovėjusius iki šiol naudotus metodus. Todėl reikalingi nauji metodiniai sprendimai, kurie leistų pakankamai operatyviai surinkti didelių teritorijų informaciją. Nuotolinių tyrimų metodai būtent tai ir leidžia padaryti.

Vienas iš procesų, kuris nuolatos vykdomas vertinant miškus yra miško buveinių būklės vertinimas. Norint įvertinti nuotolinių tyrimų metodais surinktos informacijos tinkamumą vertinant miško buveinių būklę buvo atliktas tyrimas, kur vertinta ar galima nustatyti miško buveinės būklę pagal kosminius, aero ir kitus vaizdus.

3.1 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant nuotolinių tyrimų informaciją.

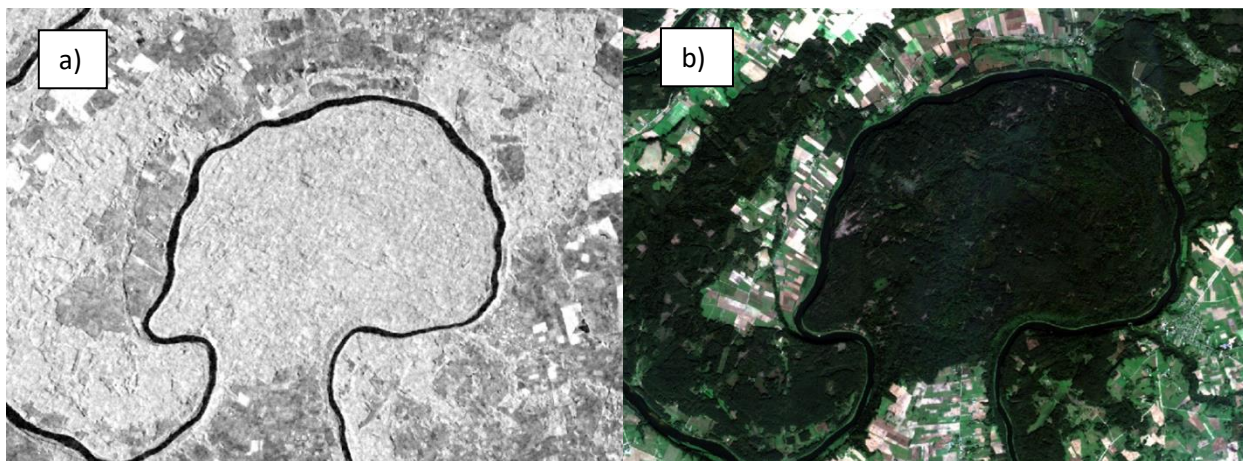
3.1.1 Kosminių vaizdų klasifikavimas

Tyrimui buvo pasirinkta pietinėje Lietuvos dalyje esanti Punios šilo teritorija (3.1 pav.). Punios šilas laikomas pats vertingiausias miškas Lietuvoje biologinės įvairovės požiūriu. Punios šilo miškingas plotas užima apie 2500 ha. Medžių rūšinė įvairovė taip pat didelė, augimvietės vidutinio derlingumo, normalaus drėgnumo. Punios šile kultūrinės kilmės medynų yra tik apie 5 %. Vyrauja pušynai, kurie sudaro apie 42 % visų medynų, eglynų apie 24 %, beržynų ir ąžuolynų po 11 %. Taip pat dar yra juodalksnynų, drebulynų, liepynų, skroblynų ir kitų kietųjų lapuočių medynų 1-6%. Miškas yra labai našus, yra išlikusių sengirių bei medynų kurių aukštis apie 40 m (A. Brukas ir kt.).



3.1 pav. Punios šilas

Tiek optiniai, tiek radaro kosminiai vaizdai dengiantys tyrimo teritoriją buvo gauti iš Europos Kosmoso Agentūros viešai prieinamų duomenų bazių (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) (3.2 pav.).



3.2 pav. Kosminių vaizdų fragmentai: a) Sentinel 1A SAR kosminis vaizdas; b) Sentinel-2A natūralių spalvų kosminis vaizdas.

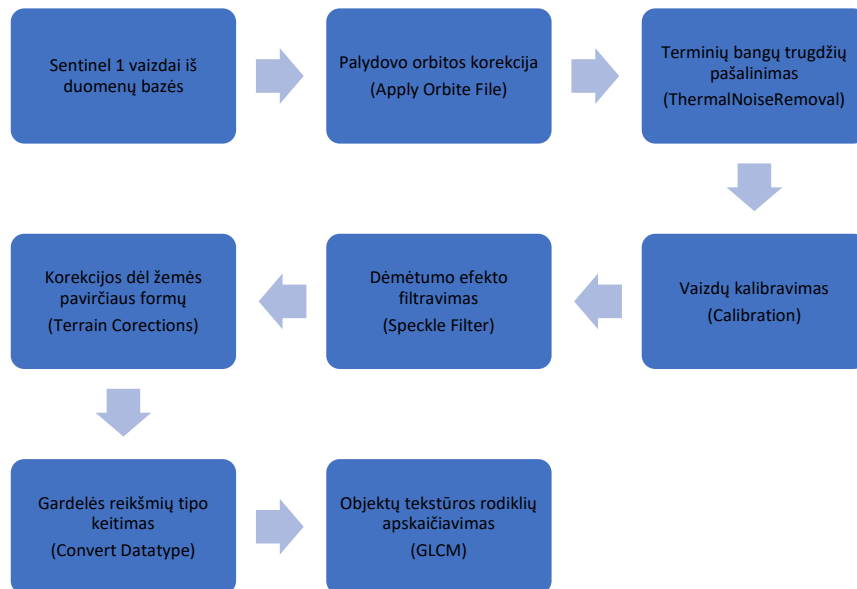
Tyrime naudotų kosminių vaizdų techninės charakteristikos pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Sentinel kosminių vaizdų naudotų klasifikavime charakteristikos.

Palydovas ir jutiklis	Vaizdo užfiksavimo data	Vaizdo skiriamoji geba, m	Vaizdo tipas
Sentinel-2B	2019 09 09	10 - 60	Optinis jutiklis
Sentinel-1A	2019 09 18	10	Radaras

Iš duomenų bazių gaunami vaizdai dažniausiai nėra paruošti analizei. Dėl tam tikros jutiklių sandaros ir žemės atmosferos savybių fiksuojant vaizdą yra įrašomi ir įvairūs signalo triukšmai ir netikslumai, todėl prieš atliekant vaizdų analizę visada reikalinga atlikti vaizdo geometrinius ir radiometrinius kalibravimus. Kalibravimo metu buvo pašalinami visi vaizde fiksuojami triukšmai ir netikslumai. Visi Sentinel 2 misijos vaizdai buvo kalibruoti ir atliktas pirminis vaizdų paruošimas analizei.

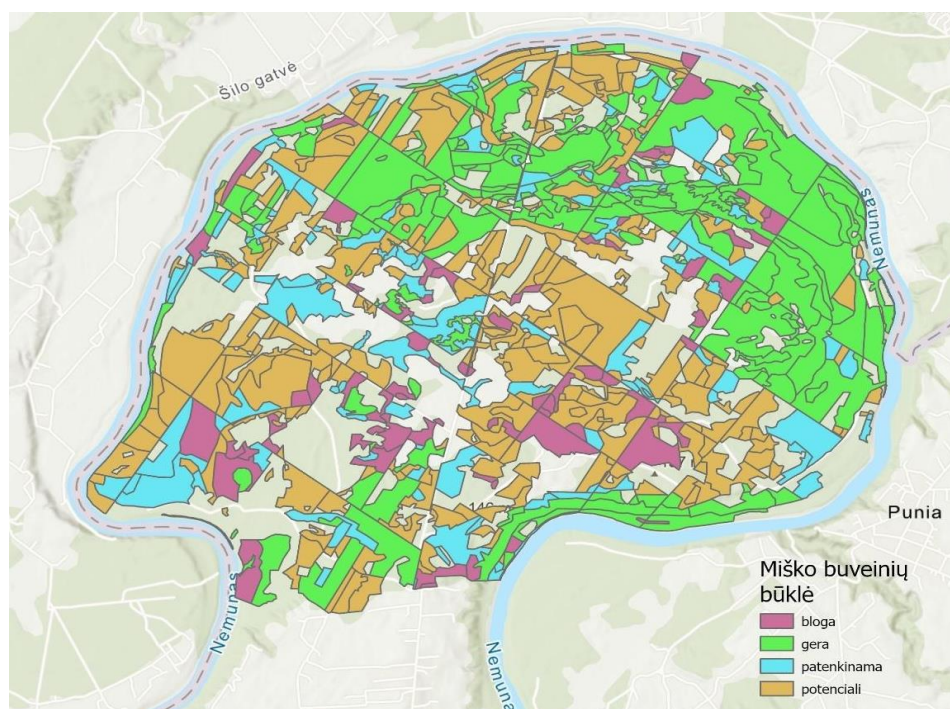
Kadangi Sentinel 1 misijos gaunami radaro vaizdai fiksuojami kitokiais principais nei optiniai vaizdai, todėl reikalingas kalibravimas yra sudėtingesnis ir apima daugiau reikalingų atlikti operacijų. Tyrime naudoti Sentinel 1 misijos vaizdai buvo paruošti analizei pagal 3.3 paveiksle pateiktą schemą.



3.2 pav. Sentinel 1 SAR kosminių vaizdų pirminio apdorojimo schema.

Atlikus radarinio vaizdo kalibravimą buvo gauti šešių skirtingų datų vaizdai kur skirtinguose vaizdo kanaluose pateiktos apskaičiuotos originalių vaizdų kontrastų ir tekstūros statistiniai rodikliai. Šie rodikliai dažniausiai naudojami norint atlikti tikslesnį vaizdų klasifikavimą (Haralick R.M. et al. 2019). Vaizdų paruošimas analizei buvo atliktas su SNAP programine įranga.

Miško buveinių būklės klasifikavimo pagal nuotolinių tyrimų vaizdus tikslumo įvertinimui buvo naudotas miško sklypų duomenų rinkinys. Kiekviename miško sklype specialistai vietovėje įvertino miško buveinės būklę (3.3 pav.). Buvo išskirtos 4 miško buveinių būklės klasės: gera, patenkinama, perspektyvi ir bloga. Inventorizacija ir patikra vietovėje buvo atlikta 2019 metais.



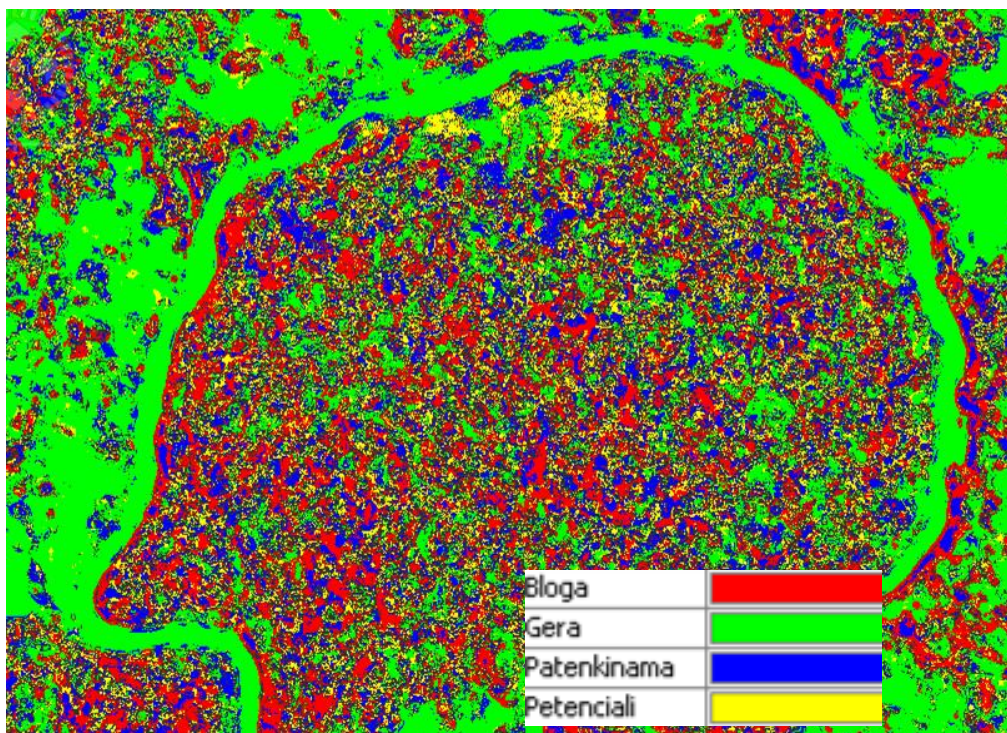
3.3 pav. Miško sklypai su vietovėje specialistų nustatyta miško buveinės būkle.

Vaizdų klasifikavimas buvo atliktas naudojant du mašininio mokymo algoritmus. Klasifikavimas atliktas su Atraminių vektorių klasifikatoriaus (ang. support vector machine, SVM) ir Atsitiktinių šakų (ang. Random Forest) klasifikavimo algoritmais.

Klasifikavimo tikslumas vertintas sudarant patikimo identifikavimo matricą (Congalton, R.G. ir Green, K., 2019). Buvo apskaičiuotas „Vartotojo“ tikslumas, „Tiekėjo“ tikslumas ir bendras klasifikavimo tikslumas. Skirtingos nuotolinių tyrimų informacijos palyginimui toliau buvo pagrinde naudojamas kiekvienu atveju apskaičiuotas bendras klasifikavimo tikslumas. Statistinis klasifikavimo įvertinimas buvo atliktas su Orange, atviro kodo ir Python pagrindu sukurta statistinio duomenų apdorojimo programine įranga.

3.1.2 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant kosminius vaizdus

Suklasifikuotas kosminis radaro vaizdas, kur automatiškai išskirtos anksčiau minėtos miško buveinių būklės 4 klasės (gera, patenkinama, potenciali, bloga) pateiktas 3.4 paveiksle.



3.4 pav. Kosminis radaro vaizdas suklasifikuotas į 4 klases naudojant Random Forest algoritmą.

Įvertinus klasifikavimo tikslumą nustatyta, kad visas 4 išskirtas klases pagal kosminius radaro vaizdus galime nustatyti bendru 47 % tikslumu. Pagal 3.2 lentelėje pateiktą patikimo identifikavimo matricą buvo apskaičiuoti kiekvienai išskirtai klasei „Vartotojo“ ir „Vykdymo“ tikslumai. „Vykdymo“ tikslumas parodo, kiek procentų mūsų sukurtas klasifikavimo modelis pataikė ir teisingai priskyrė klasę. Tuo tarpu „Vartotojo“ tikslumas parodo kokia dalis reikšmių buvo sumodeliuota vienoje klasėje teisingai. „Vykdymo“ ir „Vartotojo“ tikslumai kiekvienai išskirtai klasei pateikti 3.3 lentelėje.

3.2 lentelė. Kosminio radaro vaizdo klasifikavimo į 4 klases patikimo identifikavimo matrica, lentelėje pateiktas atvejų skaičius.

	Sumodeliuota klasė					
Vietovėje nustatyta klasė		Bloga	Gera	Patenkinama	Potenciali	Σ
	Bloga	3	16	2	54	75
	Gera	0	76	13	111	200
	Patenkinama	2	31	7	81	121
	Potenciali	1	53	6	246	306
	Σ	6	176	28	492	702

3.3 lentelė. Klasifikavimo „Vartotojo“ ir „Vykdytojo“ tikslumai.

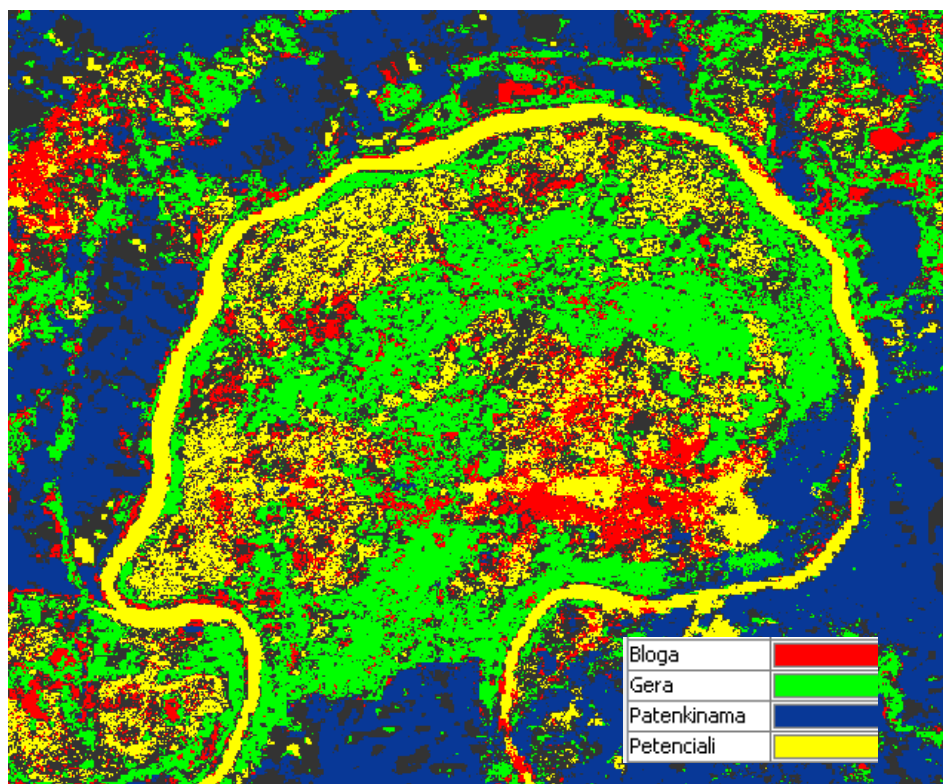
Klasės pavadinimas	„Vartotojo“ tikslumas	„Vykdytojo“ tikslumas
Bloga	50,3 %	4,0 %
Gera	43,2 %	38,0 %
Patenkinama	25,0 %	5,8 %
Potenciali	50,0 %	80,4 %

Iš pateiktų rezultatų matome, kad 4 miško buveinių būklės klasės (gera, bloga, potenciali ir patenkinama) nustatomos pagal vien tik kosminius radaro vaizdus pakankamai netiksliai, todėl tiesiogiai prognozuoti miško buveinių būklę naudojant tik kosminius radaro vaizdus yra netikslinga. Pagal 3.2 lentelėje pateiktus duomenis matome, kad radaro vaizdai mažiausiai koreliuoja su blogos miško buveinių būklės klase t.y nėra praktiškai jokio ryšio tarp radaro vaizdo informacijos ir blogos miško buveinės būklės, . Geriausiai vien tik pagal radaro vaizdus galime išskirti potencialią miško buveinės būklės kategoriją. Net 80% sklypų kurie buvo sumodeliuoti kaip potencialios būklės iš tiktųjų vietovėje specialistų nustatyti buvo kaip potencialios būklės.

Taip pat buvo pabandyta sumažinti prognozuojamų klasių skaičių ir radaro vaizdą klasifikuoti į dvi klases (Gera ir Bloga miško buveinės būklė). Tokiu atveju klasifikavimo bendras tikslumas padidėjo iki 72,4 %, bet reiktų pažymėti, kad bloga miško buveinės būklė nustatyta tik 13,3 % tikslumu, tuo tarpu net 94,7 % visų miško sklypų klasifikuotų kaip geros būklės iš tiesu vietovėje specialistų buvo įvertinti kaip geros būklės.

Toliau buvo vertinama ar klasifikavimo tikslumas pasikeistų jei prie kosminių radaro vaizdų informacijos pridėtume optinių kosminių vaizdų informaciją. Kaip ir su radaro vaizdais, taip ir optinis kosminis vaizdas buvo klasifikuojamas pirmiausiai į 4 miško buveinės būklės klases (Gera, Bloga, Patenkinama ir Potenciali). Šiame tyrime buvo naudotas 3.1 lentelėje pateiktų charakteristikų optiniai Sentinel 2 misijos 2019 metų vaizdai.

Naudojant vien tik Sentinel 2 misijos kosminį vaizdą miško buveinės būklė (gera, bloga, patenkinama, potenciali) gali būti nustatyta šiek tiek tiksliau nei naudojant vien tik radaro kosminį vaizdą (3.5 pav.). Klasifikavimo tikslumas siekė 55 %.



3.5 pav. Kosminis Sentinel 2 misijos vaizdas suklasifikuotas į 4 klases naudojant Random Forest algoritmą.

Geriausias rezultatas gaunamas jei klasifikavimui naudojama informacija iš abiejų tipų kosminių vaizdų t.y. klasifikavimui naudojama tiek radaro tiek optinių kosminių vaizdų informacija. Tokiu atveju klasifikavimo tikslumas pagerėja 10 % lyginant su klasifikavimo tikslumu jei naudojami vien tik optiniai kosminiai vaizdai ir siekia 65 %.

Lietuvoje Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipai yra patvirtinti aplinkos ministro įsakymu. Tyrimo objekte esančios Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipai pateikti 3.4 lentelėje. Pagal lentelės duomenis matome, kad šiame tyrimo objekte labai didelė miško buveinių tipų variacija. Manoma, kad didelė tipų variacija gali daryti įtaką vaizdų klasifikavimo tikslumui, todėl toliau buvo pabandyta pagal kosminius vaizdus nustatyti miško buveinės tipą pagal Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipų klasifikaciją. Taip pat buvo įvertintos šių buveinių būklės nustatymo galimybės atskiro tipo miško buveinėse.

3.4 lentelė. Tyrimo objekte esantys Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipai.

Buveinės tipo kodas Pagal patvirtintą Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipų klasifikaciją	Tyrimo objekte esančių sklypų skaičius	Plotas, ha
6270	2	1,82
6430	11	6,42
6450	2	3,61
6530	8	7,48
7110	1	0,39
7140	4	2,58
7160	2	1,40
9010	295	979,98
9020	94	305,56

9050	58	151,72
9070	22	33,01
9080	35	41,10
9160	47	186,23
9180	7	26,30
91D0	21	21,35
91E0	94	173,81

3.4 lentelėje galime matyti, kad kai kurių miško buveinių tipų tyrimo objekte yra nepakankamai daug, todėl nėra galimybės objektyviai įvertinti mažą plotą užimančio miško buveinių tipo išskyrimo tikslumą. Toliau tyrime nuspręsta naudoti tik to tipo miško buveines kurių plotas didesnis kaip 6 ha.

Kaip anksčiau buvo minėta geriausias rezultatas gautas kai klasifikavimui naudojama tiek optinių, tiek radaro kosminių vaizdų informacija, todėl tolimesniame tyrime naudota abiejų tipų kosminių vaizdų informacija. Atlikus kosminių miško buveinių klasifikavimą pagal kosminių vaizdų informaciją gavome, kad bendras klasifikavimo tikslumas (klasifikuojant į 11 klasių pagal tipą) siekia 68 %. Matome, kad klasifikuodami miško buveines pagal miško buveinės tipus ar pagal buveinės būklę gaunamas labai panašus klasifikavimo tikslumas.

Toliau buvo pabandyta suklasifikuoti kosminius vaizdus į keturias klases (bloga, gera, patenkinama, potenciali) pagal miško buveinės būklę tik tas buveines kurios yra to pačio tipo. Šiame tyrimo objekte didžiausią teritoriją užima 9010 (Vakarų taiga) tipo miško buveinė todėl tolimesnis tyrimas darytas tik šio tipo miško buveinės teritorijoje. Kosminius vaizdus klasifikuojant tik šio tipo buveinėje esančią teritoriją klasifikavimo tikslumas padidėjo nežymiai ir geriausiu atveju kai naudojamas Random Forest klasifikavimo algoritmas pasiekė 67 %.

Manytina, kad aukštesnės skiriamosios ar spektrinės gebos vaizdai būtų tinkamesni automatiniam miško buveinių būklės įvertinimui, todėl toliau įvertintas tokių vaizdų informacijos naudojimas buveinių stebėsenoje.

3.1.3 Miško buveinių būklės nustatymas naudojant CIR aerovaizdus ir Hiperspektrinius vaizdus

Taip pat tyrimo metu buvo nuspręsta įvertinti aukštos skiriamosios gebos vaizdų perspektyvas miško buveinių būklei įvertinti. Šiam tikslui pasiekti buvo atliktas Punios šilo aerofotografavimas. aerofotografavimo metu buvo gauti CIR aerovaizdai (fiksuotos trys spektro juostos: raudona, žalia ir artimųjų infraraudonųjų spindulių) ir hiperspektriniai vaizdai (fiksuota 20 spektro juostų), kurių charakteristikos pateiktos 3.4 lentelėje. Gautų CIR aerovaizdų skiriamoji geba 0,25 m, o hiperspektrinių vaizdų 1 m. Vaizdams gauti naudoti du vaizdo fiksavimo jutikliai: NIKON 800D fotoaparatas su modifikuotu objektyvu, kuris fiksuoja tris spektrines juostas ir Rikola hiperspektrinė kamera, pasirinkta naudoti 20 spektro juostų, kurių elektromagnetinių bangų ilgiai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Hiperspektrinių vaizdų charakteristikos.

Spektro juostos vaizdo skiriamoji geba, m	Fiksuotos spektro juostos bangos ilgis, nm	Spektrinė skiriamoji geba (FVHM), nm
1	503.451	12.35
1	523.163	11.49
1	543.112	10.84

1	563.298	10.35
1	583.079	9.99
1	603.082	9.7
1	623.308	9.41
1	637.796	9.18
1	663.375	9.52
1	682.93	9.42
1	703.23	9.27
1	722.919	9.1
1	743.357	8.92
1	763.181	8.74
1	783.07	8.58
1	803.026	8.46
1	823.047	8.38
1	841.747	8.37
1	862.774	12.67
1	883.203	12.41
1	902.746	12.19

Prieš aerofotografavimą buvo parengtas skrydžio planas, kur nustatomas skersinis ir išilginis aeronuotraukų persidengimai, skrydžio aukštis ir kiti aerofotografavimui atlikti reikalingi parametrai (3.6 pav.). Vykdyto aerofotografavimo parametrai pateikti 3.6 lentelėje. Aerofotografavimas buvo atliktas naudojant Bekas -x32 ultra-lengvąjį orlaivį (3.7 pav.).

3.6 lentelė. Aerofotografavimo skrydžio parametrai.

Aerofotografavimo aukštis, m	1500
Skersinis persidengimas, %	40
Išilginis persidengimas, %	65
Aeronuotraukų skaičius, vnt	592

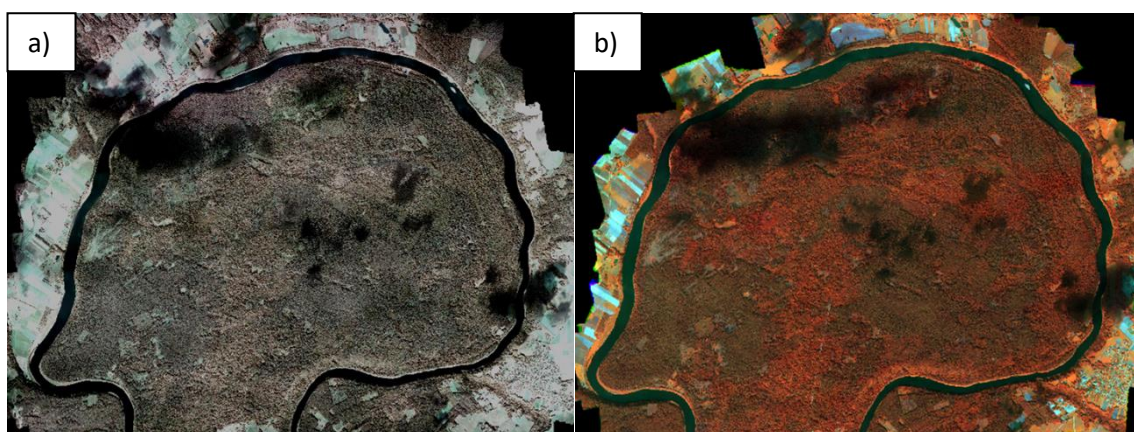


3.6 pav. Suplanuotos skrydžio linijos virš tyrimo objekto.



3.7 pav. Ultra-lengvasis orlaivis Bekas x32 pritaikytas aerofotografavimo darbams.

Gavus aeronuotraukus buvo atliktas vaizdų kalibravimas. Buvo atliktas vaizdų tiek geometrinis tiek radiometrinis kalibravimai. Kalibravimo metu eliminuoti vaizdo netikslumai atsiradę dėl jutiklių konstrukcijos ypatumu bei dėl Žemės atmosferos elektromagnetinės spinduliuotės pralaidumo savybių. Atlikus gautų nuotraukų pirminį paruošimą buvo pagaminti CIR ir hiperspektrinių vaizdų ortofotoplanai (3.8 pav.). Fotoplanų gamyba buvo atlikta su Metashape Agisoft vaizdų apdorojimo programine įranga.



3.8 pav. Iš ultra-lengvo orlaivio darytų aeronuotraukų pagamintų ortofotoplanų fragmentai: a) Iš CIR vaizdų pagamintas ortofotoplanas (atvaizduotos spektro juostos: raudonai-artimieji infraraudonieji spinduliai, žaliai – žalia, mėlynai - raudona); b) Iš hiperspektrinių vaizdų pagamintas ortofotoplanas (atvaizduotos spektro juostos: raudonai-883 nm, žaliai – 563 nm, mėlynai – 663 nm).

Paruošti ortofotoplanai buvo toliau naudojami klasifikuojant juo ir bandant pagal vaizdus nustatyti miško buveinių būklę. Kaip ir kosminių vaizdų atveju klasifikuojama buvo naudojant Random Forest, SVM ir multi-layer perceptron (MLP) algoritmus. Klasifikavimo tikslumui įvertinti kaip ir kosminių vaizdų klasifikavimo atveju naudotas miško sklypų duomenų rinkinys, kur vietovėje specialistų buvo įvertinta kiekvieno sklypo miško buveinės būklė. Klasifikavimo rezultatai parodė, kad naudojant CIR vaizdus, kurių skiriamoji geba 0,25 m klasifikavimo tikslumas pagerėjo 3 % lyginant su klasifikavimu kai naudojama tik kosminiai vaizdai. Bendras klasifikavimo tikslumas gautas 68 % . Tau tarpu hiperspektrinių vaizdų informacija klasifikavimą pagerino nežymiai 5 % lyginant su pagal CIR vaizdus darytu klasifikavimu ir siekė bendrą 72 % tikslumą.

Miško buveinės būklę lemia daugelis veiksnių ir kaip matome iš rezultatų tiesioginis nustatymas miško buveinės būklės pagal kosminius ar aero vaizdus yra komplikotas pagrinde dėl to, kad optiniai vaizdai fiksuoja informaciją atspindėjusią nuo objekto paviršiaus, o miško buveinės būklė dažnai priklauso nuo tokių veiksnių kaip virtuolių skaičius, polajinių kultūrų ir pan., kuriuos optiniais jutikliais fiksuoti neįmanoma. Kaip parodė rezultatai ryšys tarp miško paviršiaus atspindžio ir miško buveinės būklės nėra tamprus.

Tyrime naudotos C-bangos kosminiai radaro vaizdai taip pat neleidžia patikimai nustatyti miško buveinės būklės. Nors radaro signalas skverbiasi giliau nei optiniai spinduliai ir fiksuoja pagrinde paviršiaus šiurkštumą, bet kaip parodė rezultatai tokių vaizdų informacija nepakankama, kad pakankamai tiksliai galėtumėme nustatyti miško buveinės būklę.

Kombinacija optinių ir radaro vaizdų pagerina miško buveinių būklės nustatymo tikslumą, deja tikslumas nėra aukštas ir siekia tik apie 75 %.

Ateityje būtina atlikti tyrimus ir įvertinti tokių technologijų kaip LiDAR (lazerinis skenavimas) duomenų naudojimą miško buveinės būklės nustatymui, nes LiDAR duomenys gali teikti informaciją ne tik apie miško paviršių bet ir apie miško struktūrą t.y atspindžiai fiksuojami iš visų miško sluoksnių tiek nuo paviršiaus, tiek nuo vidurinės dalies, tiek nuo žolinės augalijos, tiek nuo žemės paviršiaus.

3.2 Pakitimų miške nustatymas naudojant kosminius vaizdus

Daugelis apklaustųjų tyrimo metu rengto interviu apklausos metodu metu paminėjo, kad jų kasdienį darbą palengvintų informacija apie tai ar per praėjusius metus įvyko ar neįvyko kokie nors pasikeitimai miške, todėl nuspręsta įvertinti kosminių vaizdų naudojimo galimybes nustatant pakitimus miškuose. Kosminiai vaizdai gali būti gaunami nemokamai ir periodiškai, todėl šis informacijos šaltinis tinkamas pakitimams miške stebėti.

Dažniausiai pakitimai yra identifikuojami analizuojant keletas skirtingų datų vaizdus. Šiam tyrimui buvo surinkti 5 metų tiek Sentinel 1 misijos radaro tiek Sentinel 2 misijos kosminiai vaizdai. Buvo sudaryta vaizdų duomenų bazė. Vaizdai buvo surinkti nuo 2016 metų iki 2021 metų. Stengtasi surinkti vaizdus, kurie būtų panašios datos ir metų laiko kiekvienais metais, kad būtų kuo mažesni skirtumai dėl saulės pakilimo kampo ir pan. Pakitimams miške aptikti tyrime naudotų vaizdų charakteristikos pateiktos 3.7 lentelėje.

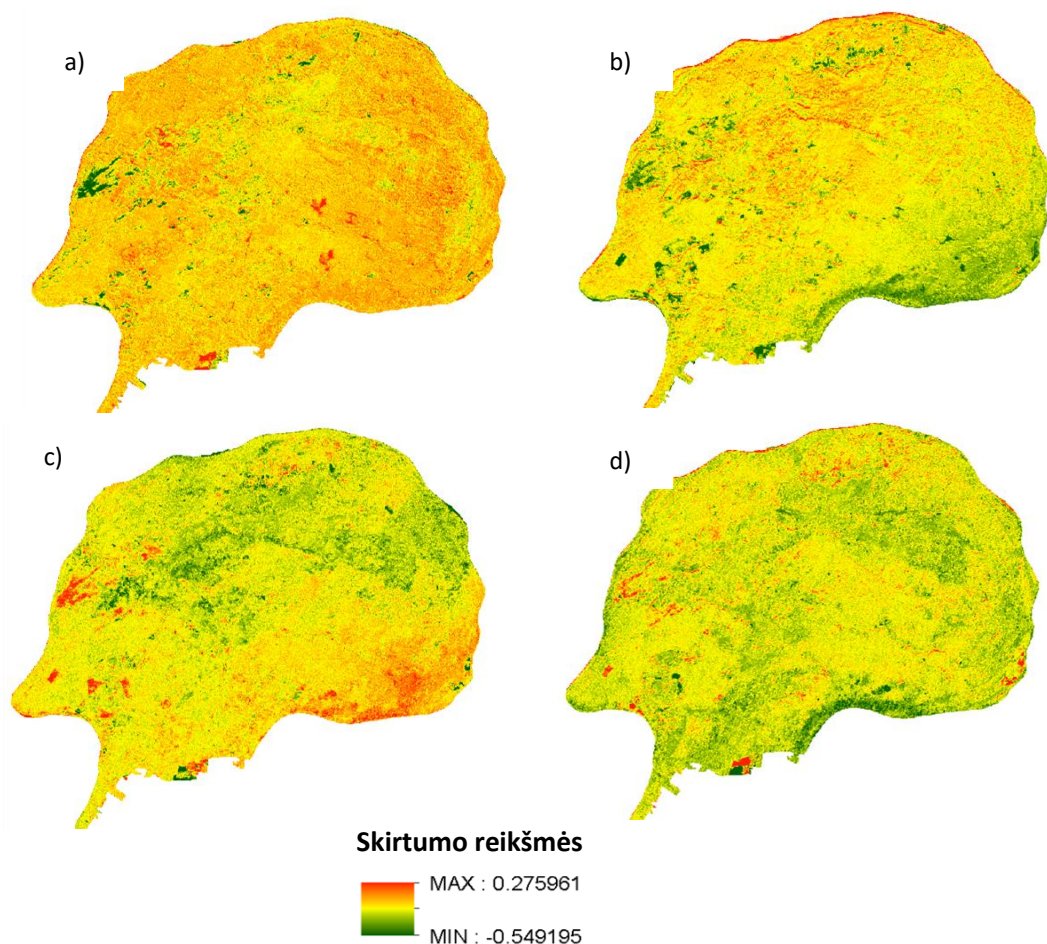
3.7 lentelė. Kosminių vaizdų naudotų pakitimams miške aptikti charakteristikos

Vaizdo užfiksavimo data	Palydovas ir jutiklis	Vaizdo tipas	Vaizdo skiriamoji geba, m
2016 09 14	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2017 09 29	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2018 09 19	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2019 09 09	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2020 09 23	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2021 09 26	Sentinel 2A, MSI	Optinis	10-60
2016 09 11	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10

2017 09 12	Sentinel 1B, SAR	Radaras	10
2018 09 11	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2019 09 18	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2020 09 12	Sentinel 1A, SAR	Radaras	10
2021 09 07	Sentinel 1A SAR	Radaras	10

Kaip ir ankščiau minėtame tyrime visi vaizdai buvo paruošti analizei ir atliktas vaizdų kalibravimas. Pirminis radaro kosminių vaizdų apdorojimas atliktas pagal 3.2 paveiksle pavaizduotą schemą. Optiniai kosminiai vaizdai taip pat buvo kalibruoti pašalinant vaizdo triukšmus ir iškraipymus.

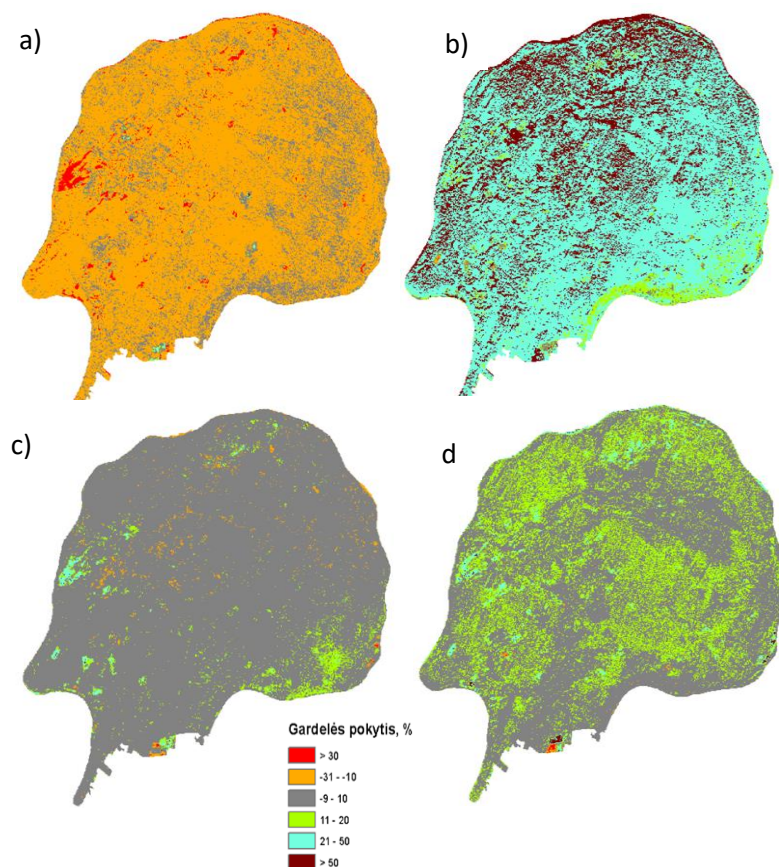
Toliau buvo atlikta miško pakitimų analizė naudojant skirtingų datų kosminius vaizdus. Pagal Sentinel 2 kosminių vaizdų informaciją buvo apskaičiuotas NDVI indeksas. Po to kiekvienų metų NDVI indeksai lyginti tarpusavyje ir nustatyta NDVI indekso skirtumas (3.9 pav.) bei reikšmės riba, kur laikoma, kad įvyko pasikeitimai.



3.9 pav. Punios šilo NDVI indekso skirtumai skirtingais metais: a) skirtumas tarp 2016 ir 2018 metų; b) skirtumas tarp 2018 ir 2019 metų; c) skirtumas tarp 2019 ir 2020 metų ir d) skirtumas tarp 2020 ir 2021 metų. Didelė reikšmė (raudona spalva) rodo kad augalijos padaugėjo, maža reikšmė (žalia spalva) rodo augalijos sumažėjimą.

Atskirų metų NDVI indeksų skirtumai perskaičiuoti ir išreikšti procentine išraiška. Taip gauname kiekvienoje 10 x 10 metrų gardelėje pokyčio procentą. Buvo nuspręsta, kad jei gardelėje yra

fiksuojamas pokytis iki 10 % laikoma, kad pokytis nereikšmingas ir galėjo būti užfiksuotas dėl vaizdo fiksavimo technologijų netikslumo. Visos gardelės buvo sugrupuotos į 6 grupes (3.10 pav.). Reikšmės su minuso ženklu rodo, kad buvo augalijos netekimas išreikštas procentine išraiška per metus. Reikšmės su pliuso ženklu rodo per metus pasididėjusį augalijos kiekį.



3.10 pav. Punios šilo NDVI indekso skirtumai skirtingais metais procentais: a) skirtumas tarp 2016 ir 2018 metų; b) skirtumas tarp 2018 ir 2019 metų; c) skirtumas tarp 2019 ir 2020 metų ir d) skirtumas tarp 2020 ir 2021 metų.

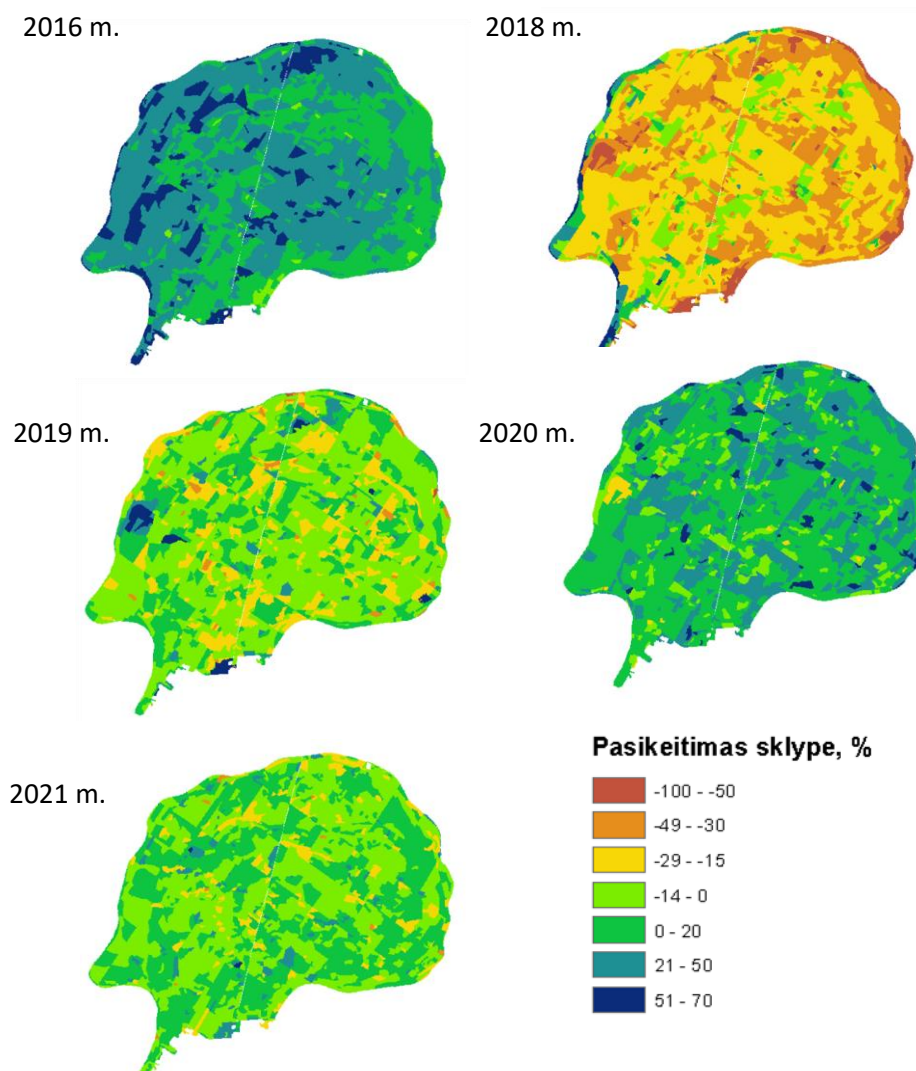
Kaip matome 3.10 paveiksle pagal optinius kosminius vaizdus galime aptikti pokyčius miške. Paveiksle aiškiai matomos susiformavusios kirtavietės ar vėjovartos kur buvo didelis augalijos praradimas. Galim pastebėti, kad kasmet tuose plotose kur buvo vėjovartos ar kirtimai atsiranda vis daugiau augalijos (kirtavietės atsodinamos atsiranda gausesnė žolinė augalija ir pan.).

Tokiu pat būdu atimant vienos datos vaizdo gardelių reikšmes iš kitos datos vaizdo gardelių reikšmių buvo gautas pakitimų žemėlapis naudojant kosminius radaro vaizdus (3.11 pav.). Pakitimų procentas buvo nustatytas miško sklypo lygmeniu t.y miško sklype (informacija apie sklypo ribas paimta iš 2021 metų miškų kadastro) įvertintas pokytis procentais.



3.11 pav. Dviejų kosminių radaro vaizdų skirtumo gavimo schema.

Kiekviename sklype buvo suskaičiuota kosminio radaro pokyčio reikšmė ir išreikšta procentais. Taip buvo gautas žemėlapis kur kiekviename sklype nustatyta pokyčio per metus reikšmė išreikšta procentais (3.12 pav.).



3.12 pav. Sklype nustatyta pokyčio per metus reikšmė ir išreikšta procentais skirtingais metais.

Šiuo atveju pakitimus nustatant naudojant kosminius radaro vaizdus rezultatai gaunami šiek tiek kitokie nei pakitimus nustatant naudojant optinius kosminius vaizdus. Radaro vaizdų informacija mažiau susijusi su pokyčiais vietovėje nei informacija iš optinių kosminių vaizdų. Taip pat svarbu

nustatyti ribą, nuo kurios galime laikyti, kad miške įvyko miško dangos pasikeitimai. Pagal 3.10 ir 3.12 paveiksluose pateiktą informaciją matome, kad pakitimai miške gali būti nustatomi naudojant kosminius vaizdus.

Anksčiau aptarti pakitimų stebėsenos metodai ir būdai gali būti naudojami kaip papildoma informacija specialistams, kuriems reikia vykdyti inventorizacijas ir aplankyti bei įvertinti miško buveinių būklę. Tokia informacija galėtų sumažinti tikslinių objektų paieška, kuriuos reikia aplankyti t.y pagal šią informaciją galėtų būti identifikuojami miško plotai kuriuose neįvyko arba įvyko nežymus pasikeitimai. Tokiu būdu taupant specialistų darbo apimtį lankant teritorijas vietovėje.

Išvados ir pasiūlymai

- Aplinkotyros specialistams nuotolinių tyrimų metodų informacijos poreikis dažnu atveju yra būtinas. Dažnas aplinkotyros specialistas nėra susidūręs su nuotolinių tyrimo metodų informacijos apdorojimu ir analize, todėl specialistam reikalingas ir yra naudingas jau galutinis ir apdorotas nuotolinių tyrimo metodų analizės produktas.
- Apžvelgus mokslinę literatūrą nustatyta, kad dėl klimato kaitos agroaplinkausauginių priemonių stebėseną naudojant nuotolinių tyrimo metodų informaciją šiuo metu pasaulyje vis didėja. Taip pat vis daugiau atsiranda laisvai prieinamų, nemokamų duomenų bazių, kuriose saugoma skirtingos skiriamosios gebos kosminių vaizdų informacija. Tokius faktus kaip ganyklų ir pievų šienavimas, ganymas, augalijos kaita bei jos biomasės kiekis naudojant nuotolinius tyrimo metodus pievų ir kitose atvirose buveinėse galima nustatyti 70 – 80 % tikslumu.
- Kosminiai radaro vaizdai gali būti naudojami pievų ir ganyklų augalijos atspindžio staigiams pasikeitimams nustatyti.
- Miškų buveinių būklę (bloga, gera, patenkinama, potenciali) nustatyti naudojant vien tik kosminius vaizdus galima 60-65% tikslumu. Aero bei hiperspektrinių vaizdų naudojimas nustatant miško buveinės būklę klasifikavimo tikslumą pagerino apie 10 %, tačiau hiperspektrinių vaizdų naudojimas praktiniu lygmeniu kol kas sunkiai įgyvendinamas. Nors tikslumas vertinant miško buveinių būklę automatiškai nėra didelis, tačiau tai neabejotinai kai kuriais atvejais pakankamai gera alternatyva (pvz. vertinant visos Lietuvos mastu), juolab, kad kosminių vaizdų informacija yra visiškai nemokama.
- Pakitimams miško buveinėse nustatyti kosminių vaizdų informaciją yra tinkami ir gali būti naudojama pakitimų miške stebėsenos sistemose.

Pasiūlymas:

Kurti ir diegti vieningą visos Lietuvos tiek miško, tiek kitų buveinių stebėsenos sistemą, kuri grindžiama nuotolinių tyrimo metodų informacija. Naudojant kosminius vaizdus ir kitą nuotolinių tyrimų metodais surinktą informaciją būtų galima stebėti kasmetinius pokyčius tiek pievose ir ganyklose, tiek miškuose, nes turint kuo didesnę seką informacijos modeliavimo algoritmai leidžia įvertinti žemės dangų pokyčius vis tiksliau.

Literatūra

1. A. Brukas, D. Žygelis. Punios šilas. Visuotinė lietuvių enciklopedija, T. XIX (Pre-Reu). – Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2011
2. Ali, I., Cawkwell, F., Dwyer, E., Green, S. Modeling Managed Grassland Biomass Estimation by Using Multitemporal Remote Sensing Data—A Machine Learning Approach. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2017, 10, 3254–3264.
3. Ali, I., Cawkwell, F., Green, S., Dwyer, N. Application of statistical and machine learning models for grassland yield estimation based on a hypertemporal satellite remote sensing time series. In *Proceedings of the 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Quebec City, QC, Canada, 13–18 July 2014; pp. 5060–5063.
4. Asam, S., Klein, D., Dech, S. Estimation of grassland use intensities based on high spatial resolution LAI time series. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2015, XL-7/W3, 285–291.
5. Baghi, N.G., Oldeland, J. Do soil-adjusted or standard vegetation indices better predict above ground biomass of semi-arid, saline rangelands in North-East Iran? *Int. J. Remote Sens.* 2019, 40, 8223–8235.
6. Congalton, R.G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
7. Dusseux, P., Corpetti, T., Hubert-Moy, L. Temporal kernels for the identification of grassland management using time series of high spatial resolution satellite images. In *Proceedings of the 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium—IGARSS*, Melbourne, Australia, 21–26 July 2013; pp. 3258–3260.
8. Dusseux, P., Gong, X., Corpetti, T., Hubert-Moy, L., Corgne, S. Contribution of radar images for grassland management identification. In *Proceedings of the Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIV*, Edinburgh, UK, 23 October 2012; Volume 8531, pp. 24–30.
9. Edirisinghe, A., Clark, D., Waugh, D. Spatio-temporal modelling of biomass of intensively grazed perennial dairy pastures using multispectral remote sensing. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2012, 16, 5–16.
10. Edirisinghe, A., Hill, M.J., Donald, G.E., Hyder, M. Quantitative mapping of pasture biomass using satellite imagery. *Int. J. Remote Sens.* 2011, 32, 2699–2724.
11. Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F. Land degradation: An overview. *Response to Land Degradation*. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Land Degradation and Desertification*; Oxford Press: New Delhi, India, 2001; pp. 20–35.
12. Felix Lobert, Ann-Kathrin Holtgrave, Marcel Schwieder, Marion Pause, Juliane Vogt, Alexander Gocht, Stefan Erasmi. Mowing event detection in permanent grasslands: Systematic evaluation of input features from Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat 8 time series. *Remote Sensing of Environment*, Volume 267. 2021. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112751>.
13. Franke, J., Keuck, V., Siegert, F. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. *J. Nat. Conserv.* 2012, 20, 125–134.
14. G.H. Tepanosyan, Sh.G. Asmaryan, V.S. Muradyan, A.K. Saghatelian. Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: A case study, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 8, 2017, Pages 105–113, ISSN 2352-9385, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.006>.

15. Halabuk, A., Mojses, M., Halabuk, M., David, S. Towards Detection of Cutting in Hay Meadows by Using of NDVI and EVI Time Series. *Remote Sens.* 2015, 7, 6107–6132.
16. Haralick, R.M., Shanmugam, K., Denstien, I., “Textural features for image classification,” *IEEE Trans Syst Man Cybern*, vol. 3, no. 6, pp.610–621, 1973.
17. Hill, M.J., Donald, G.E., Vickery, P.J. Relating radar backscatter to biophysical properties of temperate perennial grassland. *Remote Sens. Environ.* 1999, 67, 15–31.
18. Hopping, K. A., E. T. Yeh, Gaerrang, and R. B. Harris.2018. Linking people, pixels, and pastures: a multi-method, interdisciplinary investigation of howrangeland management affects vegetation on theTibetan Plateau, *Applied Geography* 94:147–162
19. Yang, S., Feng, Q., Liang, T., Liu, B., Zhang, W., Xie, H. Modeling grassland above-ground biomass based on artificial neural network and remote sensing in the Three-River Headwaters Region. *Remote Sens. Environ.* 2018, 204, 448–455.
20. Yin, G., Li, A., Wu, C., Wang, J., Xie, Q., Zhang, Z., Nan, X., Jin, H., Bian, J., Lei, G. Seamless Upscaling of the Field-Measured Grassland Aboveground Biomass Based on Gaussian Process Regression and Gap-Filled Landsat 8 OLI Reflectance. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2018, 7, 242.
21. Izaya Numata, Dar A. Roberts, Oliver A. Chadwick, Josh Schimel, Fernando R. Sampaio, Francisco C. Leonidas, João V. Soares, Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 109, Issue 3, 2007, Pages 314-327, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.013>.
22. J. Tomasella, Rita M. Silva Pinto Vieira, A. A. Barbosa, D. A. Rodriguez, Marcos de Oliveira Santana, Marcelo F. Sestini. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 73, 2018, Pages 197-206, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>.
23. Kurtz, D.B., Schellberg, J., Braun, M. Ground and satellite based assessment of rangeland management in sub-tropical Argentina. *Appl. Geogr.* 2010, 30, 210–220.
24. Li, F., Jiang, L., Wang, X., Zhang, X., Zheng, J., Zhao, Q. Estimating grassland aboveground biomass using multitemporal MODIS data in the West Songnen Plain, China. *J. Appl. Remote Sens.* 2013, 7, 073546.
25. Li, F., Zheng, J., Wang, H., Luo, J., Zhao, Y., Zhao, R. Mapping grazing intensity using remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Remote Sens. Lett.* 2016, 7, 328–337.
26. Lietuvos klimatas: monografija (sud. Audronė Galvonaitė, Monika Misiūnienė, Donatas Valiukas, Marija Sigutė Buitkuvienė). – V.: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2007. – 180 p.: iliustr. – ISBN 978-9955-9758-2-3
27. M. Zhumanova, C. Mönnig, Ch. Hergarten, D. Darr, N. Wrage-Mönnig. Assessment of vegetation degradation in mountainous pastures of the Western Tien-Shan, Kyrgyzstan, using eMODIS NDVI, *Ecological Indicators*, Volume 95, Part 1, 2018, Pages 527-543, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.060>.
28. Magiera, A., Feilhauer, H., Waldhardt, R., Wiesmair, M., Otte, A. Modelling biomass of mountainous grasslands by including a species composition map. *Ecol. Indic.* 2017, 78, 8–18.
29. McNairn, H., Brisco, B. The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: A review. *Can. J. Remote Sens.* 2004, 30, 525–542.

30. McNairn, H., Shang, J. A review of multitemporal synthetic aperture radar (SAR) for crop monitoring. In *Multitemporal Remote Sensing*; Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 317–340.
31. Price, K.P., Guo, X., Stiles, J.M. Comparison of Landsat TM and ERS-2 SAR data for discriminating among grassland types and treatments in eastern Kansas. *Comput. Electron. Agric.* 2002, 37, 157–171.
32. Quan, X., He, B., Yebra, M., Yin, C., Liao, Z., Zhang, X., Li, X. A radiative transfer model-based method for the estimation of grassland aboveground biomass. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2017, 54, 159–168.
33. Ramoelo, A., Cho, M.A., Mathieu, R., Madonsela, S., van de Kerchove, R., Kaszta, Z., Wolff, E. Monitoring grass nutrients and biomass as indicators of rangeland quality and quantity using random forest modelling and WorldView-2 data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2015, 43, 43–54.
34. Rast, M., Painter, T.H. *Earth Observation Imaging Spectroscopy for Terrestrial Systems: An Overview of Its History, Techniques, and Applications of Its Missions*. *Surv. Geophys.* 2019, 40, 303–331.
35. Reiner mann, S., Asam, S., Kuenzer, C. Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 1949. <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
36. Siegmund, R., Grant, K., Wagner, M., Hartmann, S. Satellite-based monitoring of grassland: Assessment of harvest dates and frequency using SAR. In *Proceedings of the Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII, Proceedings of SPIE, Edinburgh, UK, 26 October 2016; Volume 9998*.
37. Smith, R.C., Adams, M., Gittins, S., Gherardi, S., Wood, D., Maier, S., Stovold, R., Donald, G., Khohkar, S., Allen, A. Near real-time Feed On Offer (FOO) from MODIS for early season grazing management of Mediterranean annual pastures. *Int. J. Remote Sens.* 2011, 32, 4445–4460.
38. Taravat, A., Wagner, M.P., Oppelt, N. Automatic Grassland Cutting Status Detection in the Context of Spatiotemporal Sentinel-1 Imagery Analysis and Artificial Neural Networks. *Remote Sens.* 2019, 11, 711.
39. Transon, J., d’Andrimont, R., Maignard, A., Defourny, P. Survey of hyperspectral earth observation applications from space in the sentinel-2 context. *Remote Sens.* 2018, 10, 157.
40. Verrelst, J., Malenkovsk, Z., Van der Tol, C., Camps-Valls, G., Gastellu-Etchegorry, J.-P., Lewis, P., North, P., Moreno, J. Quantifying vegetation biophysical variables from imaging spectroscopy data: A review on retrieval methods. *Surv. Geophys.* 2019, 40, 589–629
41. Wang, Y., Wu, G., Deng, L., Tang, Z., Wang, K., Sun, W., Shangguan, Z. Prediction of aboveground grassland biomass on the Loess Plateau, China, using a random forest algorithm. *Sci. Rep.* 2017, 7, 6940.
42. Wegmuller, U., Werner, C. Retrieval of vegetation parameters with SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1997, 35, 18–24.
43. Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., Bai, Y., Zhang, L. A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China. *Ecol. Model.* 2009, 220, 1810–1818.
44. Zeng, N., Ren, X., He, H., Zhang, L., Zhao, D., Ge, R., Li, P., Niu, Z. Estimating grassland aboveground biomass on the Tibetan Plateau using a random forest algorithm. *Ecol. Indic.* 2019, 102, 479–487.
45. Zhang, B., Zhang, L., Xie, D., Yin, X., Liu, C., Liu, G. Application of Synthetic NDVI Time Series Blended from Landsat and MODIS Data for Grassland Biomass Estimation. *Remote Sens.* 2016, 8, 10.

Priedai

1 Priedas. Klausimynas pagal kurį buvo daryta apklausa interviu metodu.

1. Veikiantys *asmenys ir jų interesas*:
 - 1.1 Kiekvieno suinteresuoto asmens funkcijos, ekspertizė nuotoliniuose tyrimuose, naudojami bendrieji sprendimai, techniniai pajėgumai ir interesas
 - 1.1.1 Trumpas suinteresuoto asmens (jo/jų atstovaujamos institucijos) pristatymas. Kokios yra jūsų funkcijos bendrai?
 - 1.1.2 Kaip **jūsų funkcijos** yra susijusios su nuotoliniais tyrimais?
 - 1.1.3 Kokia yra jūsų **bendroji patirtis** nuotoliniuose tyrimuose?
 - 1.1.3.1 Vykdomi (vykdyti) **darbai**, kuriuose naudojami nuotoliniai tyrimai
 - 1.1.3.2 **Specialistai**, kurie tiesiogiai dalyvauja darbuose, susijusiuose su nuotoliniais tyrimais, jų gebėjimai ARBA specialistai su nuotolinių tyrimų patirtimi, tačiau tiesiogiai nedalyvaujantys tokiuose darbuose
 - 1.1.3.3 **Techniniai pajėgumai**, naudojami (naudoti) sprendimai: informacijos surinkimo ir apdorojimo algoritmai, kaip jie buvo įdiegti, kokie yra jų privalumai ir trūkumai, kuriuos reiktų, atitinkamai, sustiprinti ar eliminuoti
 - 1.2 Kokie yra **kiti veikiantys asmenys** (esami ar potencialūs partneriai, konkurentai) ir jų interesai
 - 1.2.1 Įvardinkite kitus asmenis, su kuriais bendraujate srityse, susijusiuose su nuotolinių tyrimų taikymu, aptarkite santykių pobūdį
 - 1.2.2 Kokie kitų asmenų naudojami sprendimai gali pasitarnauti siekiant geriau tenkinti jūsų funkcijas
2. Jūsų *tiesioginis interesas* LIFE Naturalit projekte (vadovaujantis nuostata, kad bet koks IT sprendimas pirmiausia diegiamas esamoms problemoms spręsti)
 - 2.1 **Stebėsenos objektas** – apskaitos vienetas, bendrasis inventorizacijų turinys, periodiškumas, reikalaujamos informacijos specifikacijos, tikslumo reikalavimai
 - 2.2 Dabar naudojami informacijos surinkimo ir apdorojimo **algoritmai**, kaip jie buvo įdiegti, kokie yra jų privalumai ir trūkumai, kuriuos reiktų, atitinkamai, sustiprinti ar eliminuoti (nebūtina, jie turi būti grindžiami nuotoliniais tyrimais)
 - 2.3 Kokie, jūsų nuomone, galėtų/turėtų būti naudojami sprendimai, kurie pagerintų jūsų tiesioginių interesų tenkinimą
 - 2.4 Kokios yra jūsų išankstinės **nuostatos dėl nuotolinių tyrimų** naudojimo jūsų interesui tenkinti.
 - 2.5 Ko jūs **tikitės** iš LIFR Naturalit vykdomos „studijos“
3. Kokia yra jūsų *vizija*, susijusi su nuotolinių tyrimų naudojimu tiek jūsų funkcijoms tenkinti, tiek ir peržengiant jūsų interesų ribas
 - 3.1 Kokios yra aprūpinimo informacija spragos ir kaip jas eliminuoti?
 - 3.2 Kokie galėtų būti papildomi nuotoliniais tyrimais grindžiami sprendimai jūsų interesų srityje? Ko tam reiktų, kad šie sprendimai būtų sukurti ir įdiegti?
 - 3.3 Kokia yra veikiančiojo asmens vizija, susijusi su nuotolinių tyrimų taikymų plėtra jo (taip pat gretutinių) interesų sferoje, Lietuvoje?
 - 3.4 Kokie yra veikiančiųjų asmenų planai siekiant įgyvendinti šią viziją? Kokios paramos tikimasi iš šios studijos ir jos vykdytojų?