

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS  
JŪROS MOKSLŲ IR TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS  
INFORMATIKOS IR STATISTIKOS KATEDRA

**MAKROFITŲ KARTOGRAFAVIMO GALIMYBĖS  
TAIKANT BEPILOTEJĄ SKRAIDYKLĘ**

Baigiamasis magistro darbas

Darbą atliko

JMNGE-17 gr. stud. Edvinas Tiškus

Darbo vadovas

Doc. dr. Martynas Bučas

Klaipėda, 2019

## SANTRAUKA

Edvinas Tiškus

### **MAKROFITŲ KARTOGRAFAVIMO GALIMYBĖS TAIKANT BEPILOTĘ SKRAIDYKLĘ**

Magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: Doc. dr. Martynas Bučas

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Informatikos ir statistikos mokslų katedra

Klaipėda, 2019

Darbo apimtis: 52 psl., 5 lent., 31 pav.

Raktažodžiai: dronas, fotogrametrija, kartografavimas, makrofitai, palydovai.

Makrofitai yra svarbi žuvų veisimosi vieta, jie stabilizuoja nuosėdas, taip pat sumažina anglies dioksido, fosforo ir azoto kiekį atmosferoje. Vienas iš jūrų strategijos pagrindų direktyvos kriterijų yra rūšių ir buveinių pasiskirstymas bei įvairovė. Šiuo metu naudojami makrofitų monitoringo *in situ* metodai reikalauja daug laiko ir apima nedidelį teritorijos plotą.

Šiame darbe bandoma sudaryti aukštos kokybės priekrantės vandens augalų žemėlapius, naudojant drono ir sentinel-2 palydovo duomenis, apibūdinti nendrynų pokytį ir įvertinti dažniausiai kylančias problemas, naudojant šiuos metodus. Pagrindiniai aspektai, į kuriuos atsižvelgiama kartografuojant dronu, yra hidrometeorologinės ir techninės sąlygos. Taip pat vertinama galimybė tiksliai apskaičiuoti makrofitų tūrį, padengimą, ir gausumą. Gautos ortofoto lyginamos su *in situ* ir palydovų duomenimis.

Galutiniame rezultate dronu gauti aukštos erdvinės rezoliucijos (iki 4 mm) ortofoto žemėlapiai ir nustatytos palankios sąlygos jiems gauti. Iš gautų ortofoto Platelių ežero dalyje apskaičiuotas nendrių pjovimo poveikis (34% padengimo sumažėjimas). Teritorijoje makrofitų padengimo koreliacijos įvertinimas tarp *in situ* ir drono bei palydovo duomenų buvo apie 0,5. Kadangi vizualus vertinimas yra panašaus tikslumo kaip vertinimas pasitelkiant augalijos indeksus iš drono, jo taikymas gali reikšmingai pagerinti (apimti didesnę plotą) makrofitų monitoringą.

## SUMMARY

Edvinas Tiškus

### **POSSIBILITIES OF MACROPHYTE CARTOGRAPHY USING UNMANNED AERIAL VEHICLE**

Master's thesis

Supervisor: Doc. dr. Martynas Bučas

Klaipeda University

Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences

Nature sciences department

Klaipeda, 2019

Work's size: 52 pages, 5 tables, 31 illustrations.

Keywords: drone, photogrammetry, cartography, macrophyte, satellite.

Macrophytes are important for fish nurseries, also they stabilize ground sediment as well as reduce amounts of carbon dioxide, phosphorus, and methane in the atmosphere. One of the Marine Water Framework Directive criteria is diversity of species and habitats and their distribution. Currently macrophyte monitoring is done using *in situ* methods and that requires many resources and does not cover a lot of area.

The aim of this work was to compose high quality maps of shallow water and shore macrophytes, describe change in these locations and evaluate most common problems that are faces using this method. The main aspects that are considered while mapping are hydro-meteorological conditions, technical equipment and used software. Also, ability to measure volume, area, and amount will be evaluated as well. Final orthophotos will be compared with *in situ* data and satellite images.

In the end result, conditions to make high spatial resolution (up to 4 mm) orthophotos were described and evaluated. From orthophotos of Plateliai lake area where reed moving took place, reduction of 34 % reed area loss was calculated. Macrophyte cover correlation between *in situ*, drone and satellite images was around 0.5. Since visual assessment was similar with drone orthophotos using vegetation indices, this method could significantly improve (ability to cover larger area) macrophyte monitoring.

## TURINYS

ĮVADAS.....	7
I. LITERATŪROS APŽVALGA .....	9
1.1. Fotogrametrijos metodai .....	9
1.2. Dronų panaudojimas aplinkos tyrimams .....	11
1.2.1. Agrokultūra .....	12
1.2.2. Natūralių ekosistemų monitoringas .....	13
1.2.3. Potvyniai.....	14
1.2.4. Tėkmės greičio matavimai .....	15
1.3. Makrofitų kartografavimas pasitelkiant dronus.....	16
1.4. Drono skrydžio planavimas .....	21
1.4.1. Nuotraukų persiklojimas .....	21
1.4.2. Skrydžio aukštis .....	22
1.5. Saulės atspindys.....	23
1.6. Draudžiamos skrydžių teritorijos.....	23
1.7. Automatinio skrydžio planavimo programos .....	24
1.8. Fotogrametrijos programų palyginimas.....	25
1.9. Atviros prieigos palydovų duomenų panaudojimas makrofitų kartografavimui ..	26
II. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA.....	28
2.1. Hidrometeorologinių bei techninių sąlygų įvertinimas makrofitų kartografavimui dronu. .....	28
2.1.1 Techninių sąlygų įvertinimas.....	29
2.1.2. Hidrometeorologinės sąlygos .....	30
2.2. Žemėlapių analizė įvertinant nendrių tūrio, ploto ir kiekio pokytį skirtingais laikotarpiais, prieš ir po nendrių pjovimo darbų .....	31
2.3. Makrofitų atpažinimo tikslumas tarp <i>in situ</i> , palydovų ir drono duomenų .....	31
III. TYRIMO REZULTATAI.....	33
3.1. Hidrometeorologinių bei techninių sąlygų įvertinimas makrofitų kartografavimui dronu .....	33
3.1.1. Drono galimybės skirtinguose aukščiuose.....	33
3.1.2. Hidrometeorologinių sąlygų įvertinimas .....	34

3.2. Nendrių tūrio, ploto ir kiekio pokytis skirtingais laikotarpiais.....	37
3.3. Makrofitų atpažinimo tikslumas tarp <i>in situ</i> , palydovų ir drono nuotraukų duomenų .....	39
3.3.1. Automatinis klasifikavimas .....	39
3.3.2. Palyginimas su <i>in situ</i> duomenimis .....	40
3.3.3. Drono ortofoto palyginimas su palydovo duomenimis .....	41
Tyrimo rezultatų aptarimas .....	46
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS .....	50
LITERATŪRA.....	51
Priedai .....	56

### Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Paviršiaus modelio ir reljefo modelio skirtumai ( <a href="http://geoawesomeness.com">http://geoawesomeness.com</a> ).....	9
2 pav. 3D vaizdas gautas iš RGB nuotraukų (Melnragės paplūdimys) .....	10
3 pav. Alshba (Saudo Arabija) palmių laukų multispektrų (netoli infraraudonųjų, raudono ir žalio spektro) nuotraukos gautos iš (A) UAV Parrot Sequoia sensoriaus, 50 m aukščio srydžio (0.05 m/pikselyje); (B) a WorldView-3 vaizdas (1.24 m/pikselyje); ir (C) Planet CubeSat duomenys (apie 3 m/pikselyje), 2018 metų kovo mėn. atitinkamai 13, 29 ir 27 dienos. (Salvatore et al., 2018).....	13
4 pav. Matang Mangrove miško draustinis, Malaizija (A) RGB nuotrauka gauta su DJI Phantom 3; (B) teritorijos paviršiaus RGB mozaika, sudaryta iš nuotraukų; (C) augalijos aukščių modelis, sudarytas iš nuotraukų. Spalvų skalė parodo aukščius (vidutiniškai apie > 15 m) (Otero, V., et al., 2018) .....	14
5 pav. Aukštos rezoliucijos (2.5 cm/pikselyje) mozaika, parodanti akmenuotą pakrantę (~1.5 km) pietų Cannelle paplūdimyje (Giglio sala, Italija). Mozaika gauta iš dviejų misijų (204 nuotraukų) (Ventura, Bonifazi et al., 2017). .....	17
6 pav. Zostera noltii ortomozaika Garron Pill. Vaizdai gauti iš 50 m aukščio (Duffy, Pratt et al., 2017). .....	18
7 pav. a) <70% persidengimas; b) 70–80% persidengimas; c) >80% persidengimas ( <a href="http://www.propelleraero.com">www.propelleraero.com</a> ) .....	21
8 pav. Rekomenduojamas drono skrydžio aukštis. ( <a href="https://www.propelleraero.com">https://www.propelleraero.com</a> ) .....	22
9 pav. Saulės atspindžio ir karštųjų dėmių susidarymo sąlygos (Turner et al., 2012). .....	23
10 pav. Mėlynai pažymėtos apribotos zonos, o raudonai – draudžiama skristi ( <a href="http://www.oran.lt/">http://www.oran.lt/</a> ) .....	24
11 pav. DJI Phantom 4 adv dronas ir GPS antena .....	28
12 pav. Tyrimo vietos dronu Kuršių mariose ir Platelių ežere .....	29
13 pav. Saulės azimuto ir padėties per dieną pokyčių grafikas (2018 m. birželio 14 d. Klaipėdoje) .....	30
14 pav. Vaizdo erdvinės rezoliucijos ir galimo apimti plotą su viena drono baterija skalė Platelių ežere .....	33
15 pav. 10 m (kairėje), 40 m (centre) ir 70 m (dešinėje) aukštyje sudarytos ortofoto Kuršių mariose .....	34
16 pav. Identifikuotos makrofitų rūšys iš drono nuotraukų .....	34

17 pav. Vėjo greitis 1 m s <sup>-1</sup> (kairėje) ir vėjo greitis 6 m s <sup>-1</sup> (dešinėje) .....	35
18 pav. Drono ortofoto prie skirtingo debesuotumo Platelių ežere .....	36
19 pav. Saulės azimuto ir padėties per dieną pokyčių grafikas (2018 m. birželio 14 d. Klaipėdoje): (a) saulės atspindžio paveikta nuotrauka (59% ploto); (b) saulės atspindžio nepaveikta nuotrauka .....	36
20 pav. nuotrauka sudaryta iš 10 m aukščio (4 mm erdvinė rezoliucija) (a) ir galutinis helofitų aukščių modelis (b) .	37
21 pav. Nendrių tūrio ir tankio pokytis tarp liepos 17 d. (a) ir lapkričio 11 d. (b) .....	38
22 pav. Platelių ežero vasaros (a) ir rudens (b) suklasifikuoti žemėlapiai (apačioje) ir atsitiktinai paimti vertinimo taškai (viršuje) .....	39
23 pav. Taškai, kuriuose buvo atlikti in situ matavimai .....	40
24 pav. Bendro makrofitų padengimo įvertinimo palyginimas tarp in situ ir su dronu .....	41
25 pav. Platelių teritorijos (a) RGB vaizdas, (b) TGI gautas iš drono, (c) TGI iš sentinel-2, (d) NDVI iš sentinel-2.....	42
26 pav. Panirusių ir išnirusių makrofitų padengimo palyginimas su drono TGI (a), Sentinel-2 TGI (b) bei NDVI (c)....	43
27 pav. Helofitų padengimo palyginimas su drono TGI (a), Sentinel-2 TGI (b) bei NDVI (c) .....	44
28 pav. Sentinel TGI ir drono TGI (a) bei NDVI ir sentinel-2 TGI (b) indeksų ryšys .....	44
29 pav. NDVI ir drono TGI indeksų ryšys .....	45
30 pav. kairėje ORT10LT iš lėktuvo sudarytos ortofoto Platelių ežere (2013 m., geoportal.lt), dešinėje sentinel-2 RGB vaizdas.....	47
31 pav. Kairėje santykis tarp raudono (band_1) ir mėlyno (band_3) spektro, o dešinėje tarp žalio (band_2) ir mėlyno. Mėlyni taškai rodo vandens pikselius, o žali makrofitų. ....	48

### Lentelių sąrašas

1 lentelė Darbe nagrinėta literatūra su trumpais pagrindinių aspektų aprašymais (“-“ žymi duomenų trūkumą) ....	19
2 lentelė Automatinio skrydžio programų palyginimas .....	25
3 lentelė Modelių iš nuotraukų sudarymo programų palyginimas .....	26
4 lentelė Pagrindiniai DJI Phantom 4 advanced parametrai .....	28
5 lentelė Oro ir aplinkos sąlygos .....	35

## ĮVADAS

Vaizdo tyrimai, atliekami pasitelkiant lėktuvus ir palydovus, tapo vienu populiariausių įrankių, skirtų didelių paviršių žemėlapiams sudaryti, o tai yra viena pagrindinių priemonių buveinių kartografavimui, ekologiniams tyrimams, taip pat aplinkos monitoringui, susijusiam su žemės panaudojimu ir pokyčiais (Kalmár 2012). Visgi tiek palydovų, tiek lėktuvų bei dronų nuotraukų sudarymas turi ne tik privalumų, bet ir trūkumų. Daugelio besivystančių šalių mokslininkų aukštos kokybės palydovų duomenys yra nepasiekiami. Negana to, didelė dalis drėgnojo biotopo ir atogrąžų pakrančių dažnai būna paslėptos dėl debesų sluoksnio, kuris švarius (be debesų) palydovų duomenis padaro visiškai netinkamus naudoti tam tikrais periodais arba tam tikrose vietose (Koh et al., 2012). Žinoma, trūkumų sąrašas yra kur kas platesnis. Aukštos rezoliucijos duomenys gaunami iš satelitų ir lėktuvų dažniausiai yra 30-50 cm/pikselio raiškos (Turner et al., 2012). Tokie duomenys gali būti naudojami ekologiniams tyrimams, tačiau tam tikros kliūtys, pavyzdžiui, didelė duomenų kaina, duomenų dažnio retumas (vidutiniškai kas kelias dienas) ir nuotraukų trukdžiai (debesys), išlieka (Ventura et al., 2017).

Palydovų duomenys yra pasitelkiami vegetacijos monitoringui naudojant populiariausius vegetacijos indeksus, kaip NDVI (Normalizuotas augmenijos skirtumo indeksas). Visai neseniai (2015 m.) į orbitą buvo paleistas Sentinel-2 palydovas, kurio pagrindinis tikslas yra pakrančių ir vidaus vandenų stebėseną, suteikiant galimybę nemokamai gauti nuotraukas nuo 10 m iki 60 m rezoliucijos (Manfreda et al., 2018).

Pastaruju dešimtmečiu dronų naudojimas aplinkos tyrimams taip pat sparčiai plinta dėl jų mažos kainos, aukštos rezoliucijos, prieinamumo ir vis gerėjančių techninių galimybių. Daugelis tyrimų dronus naudoja agrokultūrų, pastatų ir vietovių apžvalgai ir tik maža jų dalis skirta priekrantėms ir sekliems vandens telkiniams, ypač vandens augalų (makrofitų) atpažinimui (Manfreda et al., 2018).

Didžioji makrofitų kartografavimo dronu darbų dalis yra atlikta skaidriose pakrantėse, pavyzdžiui, Viduržemio jūroje, dėl gero dugno matomumo ir palankesnių oro sąlygų skrydžiams, tačiau tokių darbų šiuo metu atlikta nedaug. Mažą tyrimų kiekį kartografuojant vandens telkinius dronu lemia papildomos problemos, su kuriomis nesusiduriama kartografuojant žemės paviršių, pavyzdžiui, vandens bangavimas, skaidrumas ir saulės atspindžiai. Nepaisant sunkumų, makrofitų kartografavimai dronu buvo atlikti ir labiau į šiaurę nutolusiose teritorijose, kur vandens skaidrumas nėra toks palankus kartografavimui. Pavyzdžiui, vienoje iš Didžiosios Britanijos įlankų kartografuoti po potvynio matomi makrofitai (Duffy, Pratt et al., 2017).

**Darbo objektas:** šiame darbe pasirinktas sukasparnis dronas (angl. rotary wing drone), kuriuo buvo bandoma sudaryti aukštos kokybės priekrantės vandens augalų žemėlapius Kuršių mariose ir

Platelių ežere. Platelių ežere taip pat buvo vertinamas nendrynų pokytis, dėl ten vykusių pjovimo darbų.

**Darbo tikslas:** įvertinti drono ir palydovinių duomenų tinkamumą makrofitų kartografavimui ir vandens kokybės vertinimui bei stebėsenai.

**Darbo uždaviniai:**

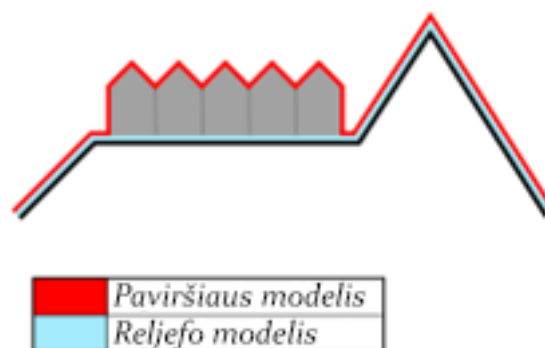
1. Hidrometeorologinių bei techninių sąlygų įvertinimas makrofitų kartografavimui dronu.
2. Žemėlapių iš drono duomenų sudarymas ir jų analizė įvertinant nendrynų pokytį prieš ir po nendrių pjovimo darbų.
3. Makrofitų atpažinimo ir gausumo iš *in situ*, palydovų ir drono duomenų sulyginimas.

# I. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Fotogrametrijos metodai

Iki XXI a. pr. bepiločiai orlaiviai (angl. unmanned aerial systems), trumpai vadinami dronais daugiausia buvo naudojami įvairiose karinėse misijose ir netgi tapo mirtiniais ginklais. Pirmą kartą kaip aplinkos apžvalgos priemonės buvo naudojami Vietnamo kare. Dėl šių priežasčių dronų pritaikymas vis dar siejamas su kariniais tikslais. Vis dėlto pastaraisiais metais drono sąvoka vis atnaujinama, todėl šis prietaisas pamažu tampa nauja priemone, vykdančia įvairias funkcijas žmonių gyvenimo kokybės gerinimui, pavyzdžiui, klimato pokyčių stebėjimui, paieškos operacijoms po įvykusių gamtos stichijų, fotografijos, filmavimo ir ekologiniams tyrimams (Ventura ir kt., 2017).

Fotogrametrija – tai metodas, kuriame naudojami pasyvieji sensoriai, o visi 3D modeliai ir žemėlapiai gaunami iš vizualios informacijos. Paprastai tariant, šie modeliai naudoja tą patį metodą, kaip ir žmogaus akys, kad būtų sudaroma atstumo vizualizacija, leidžianti vartotojui atlikti objektų matavimus trijų dimensijų erdvėje. Trūkumas tas, kad kameros sensoriai gali aptikti tik tuos objektus, kurie yra apšviesti. Trumpai tariant, fotogrametrija pasitelkia nuotraukas, kurias galima būtų sujungti, ir atlikti matavimus. Svarbi fotogrametrijos funkcija yra sugebėjimas sukurti paviršiaus ir reljefo modelius (<http://geoawesomeness.com>).



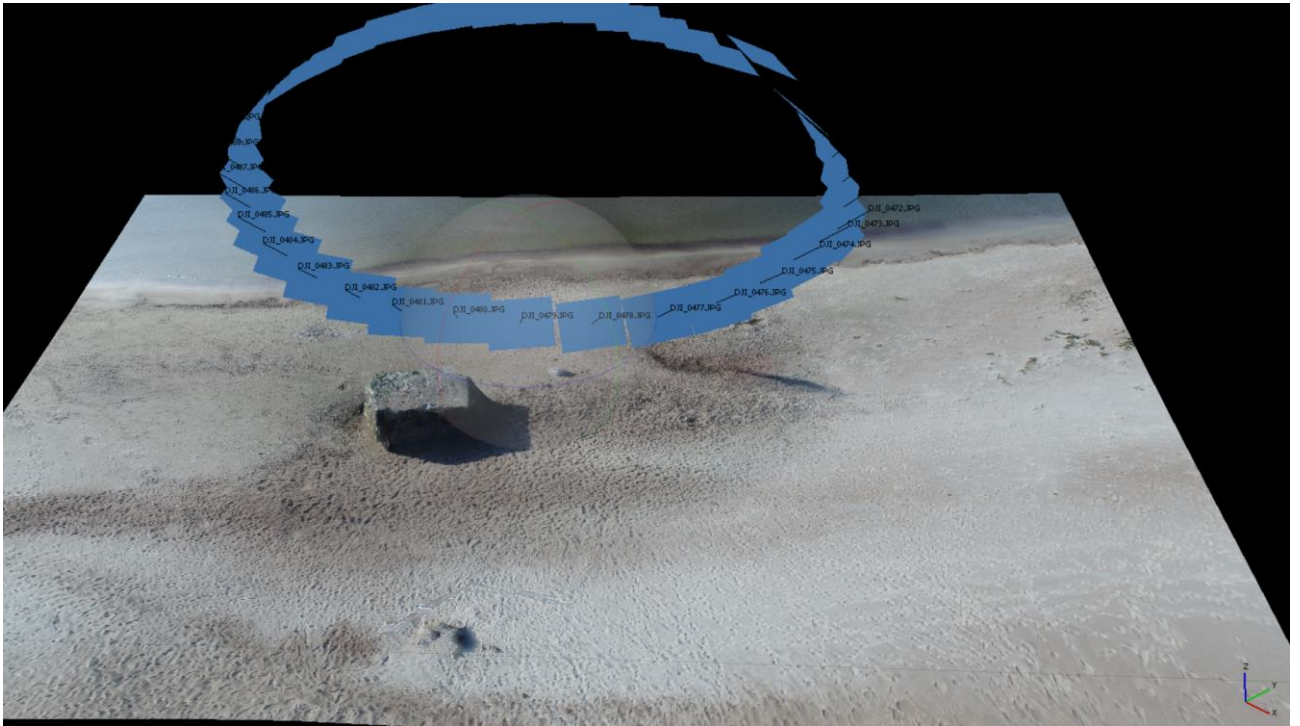
1 pav. Paviršiaus modelio ir reljefo modelio skirtumai (<http://geoawesomeness.com>)

Fotogrametrija turi privalumų – ja galima sudaryti spalvotus 2D ir 3D modelius (įvairiuose šviesos spektruose), kurie yra daug lengviau interpretuojami nei LiDAR (angl. light detection and ranging) duomenys. Pagrindiniai fotogrametrijos gaunami modeliai yra ortofoto, paviršiaus modeliai, 3D taškų debesys. Visi jie sukuriama iš nuotraukų, gautų iš drono. Duomenų rezoliucija priklauso nuo skrydžio aukščio ir kameros sensorių galimybių, pavyzdžiui, skrendant pakankamai žemai galima gauti rezoliuciją (angl. ground sampling distance) žemesnę nei 1 cm pikselėje.

Sudarant 3D modelius, kiekvienas taškas 3D taškų debesyje turi savo spalvą, sudarytą iš raudonos, žalios ir mėlynos spektro dalies (angl. red, green, blue (RGB)), tačiau didelė dalis spalvos priklauso nuo apšvietimo. Papildoma funkcija, suteikianti daugiau naudos tyrimams, yra 3D

modeliai. Šiais modeliais galima nustatyti objektų aukštį, tūrį ir lengviau apžvelgti bendrą vietovės vaizdą iš visų pusių. Sudarant didesnių objektų modelius reikalingos papildomos nuotraukos, padarytos 45° kampu nukreipus kamerą į objekto centrą (2 pav.).

Šiems modeliams sudaryti taip pat naudojami fotogrametrijos metodai, tačiau reikia turėti daugiau nuotraukų su didesniu persidengimu, o tai reikalauja papildomo laiko ir galingesnių kompiuterio resursų. Sudarant 3D modelius idealiomis sąlygomis objektai turėtų būti apšviesti vienodai, prieinami iš visų pusių ir nebūti permatomi (<http://geoawesomeness.com>).



2 pav. 3D vaizdas gautas iš RGB nuotraukų (Melnragės paplūdimys)

Lyginant fotogrametrijos tikslumą, svarbiausios yra dvi dimensijos: santykinis ir absoliutus tikslumas. Santykinis tikslumas nusako, kaip tiksliai objektai išsidėstę vienas kito atžvilgiu, o absoliutus tikslumas nurodo skirtumą tarp objekto ir jo tikslios pozicijos žemėje. Dėl šios priežasties žemėlapiai gali turėti didelį santykinį tikslumą, bet mažą absoliutųjį.

Fotogrametrija – ganėtinai tiksli tyrimų technologija, tačiau sunku pasiekti aukštą (iki 2 cm) tikslumą su dronu, kuris yra ore, nepastovioje būsenoje, dėl to dronai naudoja inercinius judesio daviklius (IMU) ir GNSS (globalinė padėties sistema) sensorius, suteikiančius informaciją apie drono vietą, skrydžio kampą ir greitį. Net ir naudojant vieną pigiausių DJI dronų šiais metodais galima pasiekti absoliutų tikslumą iki 1–5 cm, o tai yra pakankamai gerai daugeliui tyrimų. Kad būtų galima pasiekti didesnę absoliutų tikslumą, ant žemės reikia bent dviejų, vadinamųjų kontrolinių taškų (KT; angl. ground control point), tačiau dideliame tikslume reikia kuo daugiau taškų, o tam reikia daugiau laiko. Yra ir kitų metodų, pavyzdžiui, RTK/PPK dronų vietovės nustatymų sistemos, tačiau jos reikalauja papildomos įrangos. Šiems metodams įvaldyti reikia daug praktikos, atitinkamos įrangos,

skrydžio parametrų ir tikslaus duomenų apdorojimo. Vienas svarbiausių parametrų, skirtų apdoroti duomenis ir išgauti gerą tikslumą, yra nuotraukų persidengimas, kuris turėtų būti 70–80% (priekinis ir šoninis), priklausomai nuo reljefo ir taikomų priemonių.

Fotogrametrijoje duomenų apdorojimas visame procese yra vienas iš daugiausiai laiko atimančių veiksmų. Nėgana to, tai reikalauja galingos kompiuterinės įrangos, kuri gali apdoroti nuotraukas, užimančias daugiau nei kelis gigabaitus. Apdorojimo procesas dažniausiai trunka nuo 5 iki 10 kartų ilgiau nei duomenų (nuotraukų) surinkimas (Ortega-Terol ir kt., 2017).

Kaina yra vienas svarbiausių aspektų, dėl kurios renkamosi RGB arba multispektrų kameras, o ne LiDAR. Priklausomai nuo pritaikymo, reikia atsižvelgti į visas išlaidas, taip pat fizinę ir programinę įrangą. Drono LiDAR sensorių rinkinys (IMU, GNSS, skaitytuvas) kainuoja nuo 50 000 iki 300 000 eurų, o daugelyje naudojimo sričių ir yra reikalingi brangūs prietaisai. Kai išleidžiama daugiau pinigų sensoriams, reikalingas ir galingas dronas, kad sensoriai būtų saugūs ir išnaudojami visu pajėgumu, o tai kainuoja papildomus 20 000–50 000 eurų. Dėl to bendra kaina gali siekti ir iki 350 000 eurų.

Nors fotogrametrijai pakanka pigaus drono su kamera, tikslesniems rezultatams (didesniam drono stabilumui ir skrydžio laikui) išgauti profesionalaus lygio DJI Phantom droną galima nusipirkti nuo 1 500 iki 5 000 eurų. Norint dar geresnių rezultatų už 4 000–20 000 eurų galima įsigyti droną, kaip DJI Matrice 200/210/600, Sensfly eBee ar PrecisionHawk Lancaster, kurie turi RTK/PPK pozicijos tikslinimo sistemą.

Programinė įranga dažniausiai įeina į sensorių kainą perkant LiDAR sistemas, tačiau kai kuriems produktams (pvz., taškų debesims) gali prireikti papildomos įrangos, tokios, kaip TerraScan, kurios licencija kainuoja 15 000–30 000 eurų. Fotogrametrijos programinė įranga dažniausiai nėra tokia brangi (apie 150 eurų per mėnesį), priklausomai nuo funkcijų, tačiau šiame darbe naudotos nemokamos, atviro kodo programos.

Fotogrametrija naudojama ten, kur reikia vaizdinės aplinkos informacijos, pvz., pastatų būklės nustatymui, agrokultūros monitoringui. Daugeliui projektų LiDAR ir RGB kamerų technologijos gali suteikti vertingų duomenų, o konkretaus metodo pasirinkimas priklauso nuo tikslo, taip pat turimo laiko ir lėšų. Mažėjant programinės ir fizinės įrangos kainoms, aišku, kad jų panaudojimas tyrimuose augs, tačiau technologija vis dar yra ankstyvose naudojimo stadijose (<http://geoawesomeness.com>).

## **1.2. Dronų panaudojimas aplinkos tyrimams**

Nors bepiločių orlaivių sistemos ir negali konkuruoti su palydovų vaizdais lyginant apimamus erdvinius plotus, tačiau jie suteikia labai gerus erdvinės ir laiko rezoliucijos vaizdus, nepalyginamus su palydovų alternatyvomis. Taip pat tai galima atlikti maža kaina, jei tiriamas plotas yra santykinai

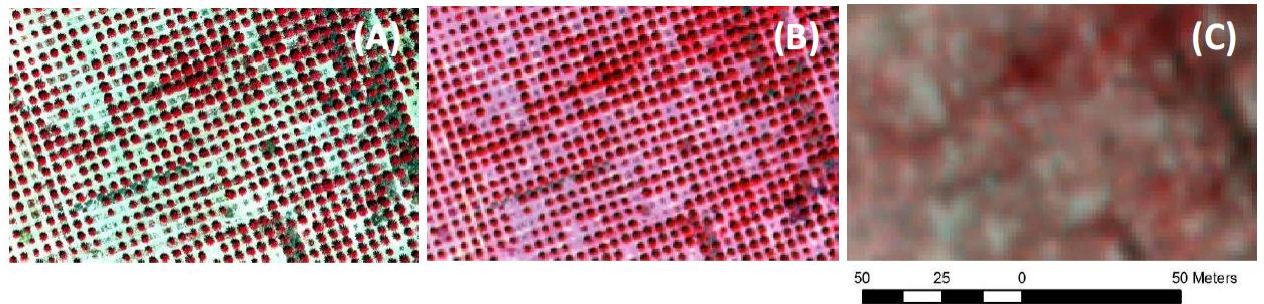
nedidelis. Naujaisių palydovų didelės raiškos (50 cm/pikselyje) RGB nuotrauka (kaip GeoEye-1) gali kainuoti nuo 800 eurų (15 eurų/km<sup>2</sup>, mažiausiai 25 km<sup>2</sup>), kai pradinė UAS sistemos, suteikiančios galimybę gauti daug didesnės raiškos vaizdus, įsigijimo kaina gali būti mažesnė nei 1000 eurų (Manfreda et al., 2018).

### 1.2.1. Agrokultūra

Augalijos pokyčiai dėl nepalankių augimo ar ekstremalių klimato sąlygų įvyksta sparčiai. Tam, kad būtų galima užfiksuoti šiuos pokyčius, monitoringo sistemos turi suteikti tikslią informaciją apie didelius lauko plotus su dideliu matavimo dažnumu. Bepiločiai orlaiviai kaip tik ir suteikia tokia galimybę ir leidžia atlikti stebėseną greičiau bei efektyviau. Esant didelei aukštos rezoliucijos vaizdų raiškai, pasiekiamas geras augalų rūšių klasifikavimo tikslumas, vegetacijos būsenos, piktžolių ir biomasės vertinimas, derliaus prognozės, herbicidų taikymas ir kenkėjų kontrolė (Atzberger, 2013).

Vegetacijos būklė gali būti vertinama naudojant skirtingus vegetacijos rodiklius (pvz., NDVI, SAVI) iš vaizdų, gautų matomojoje, raudonoje (angl. red edge) ir artimojoje infraraudonųjų spindulių spektro juostose. Šie rodikliai gali būti naudojami biofiziniams parametrams stebėti, kadangi priklauso nuo dirvožemio aprėpties ir lapų bei žaliosios zonos indekso (angl. Leaf Area Index (LAI) or Green Area Index (GAI)), augalų azoto įsisavinimo, chlorofilo kiekio, aptinkamo vandens trūkumo, fotosintezės, augimo sąlygų (Helman et al., 2015, 2017; Gago et al., 2015).

Tarp daugelio naudojamų vegetacijos indeksų, normalizuotas vegetacijos skirtumo indeksas (angl. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) naudojamas plačiausiai. NDVI žemėlapiai, sudaryti iš bepiločių orlaivių, lyginant su NDVI žemėlapiams, gautais iš palydovų, tampa svarbūs, kad būtų galima laiku įvertinti pasėlių būklę, taip leidžiant iškart pateikti informaciją vartotojams. NDVI tyrimai, atlikti su UAS, lėktuvais ir palydovais, atskleidžia, kad žemos rezoliucijos vaizdai paprastai neparodo lauko kintamumo vietose, kuriose smulki augalija turi didelę įtaką. Taip pat su UAV gauti daugelio augalų rūšių NDVI žemėlapiai parodo didesnę ryšį su *in situ* išmatuotais metodais, negu iš palydovų duomenų gautais NDVI žemėlapiams (Helman 2018; McGwire et al., 2013; Hmimina et al., 2013). Vaizdų raišką vizualiai palyginti galima 3 pav. .



3 pav. Alshba (Saudo Arabija) palmių laukų multispektrinio (netoli infraraudonųjų, raudono ir žalio spektro) nuotraukos gautos iš (A) UAV Parrot Sequoia sensoriaus, 50 m aukščio srydžio (0.05 m/pikselyje); (B) a WorldView-3 vaizdas (1.24 m/pikselyje); ir (C) Planet CubeSat duomenys (apie 3 m/pikselyje), 2018 metų kovo mėn. atitinkamai 13, 29 ir 27 dienos. (Manfreda et al., 2018)

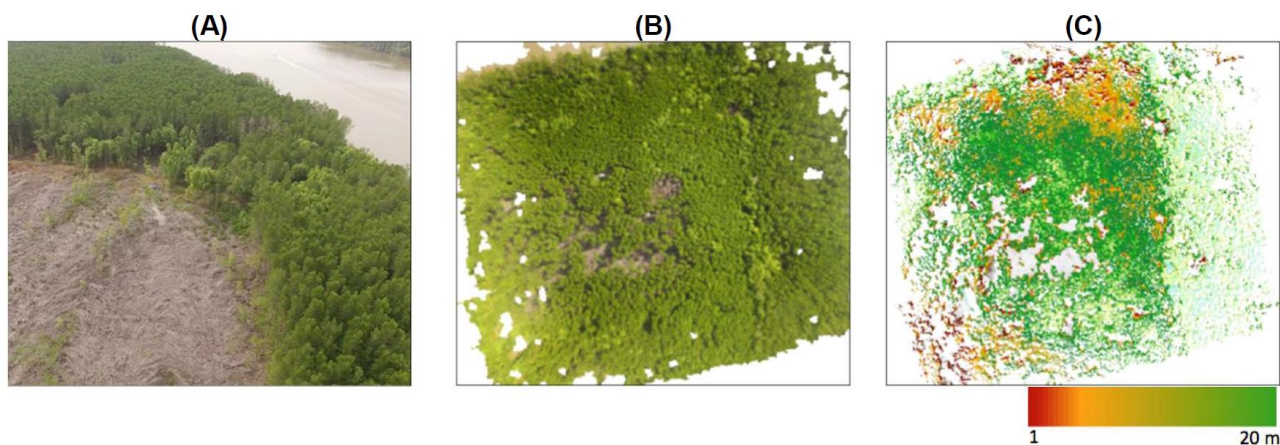
Pastaruosiu dešimtmečiu dėl aukštos ekonominės vertės didelis dėmesys buvo skiriamas vynuogynų monitoringui. L. F. Johnson pasiūlė vieną pirmųjų multispektrinio pritaikymo būdų, kur skirtingi jutikliai buvo naudojami nustatyti matavimus, susijusius su fotosintezės veikla, LAI ir augalų kokybės būkle, kartografuojant augalų būsenų pasiskirstymą vynuogynų laukuose (Johnson et al., 2003). Zarco-Tejada aprašė potencialą matuoti konkrečius kintamuosius, tokius, kaip pasėlių vandens trūkumo indeksas, fotosintezės veikla ir karotinoidų kiekis vynuogynuose, naudojant multispektrines, hiperspektrines ir termines kameras (Zarco-Tejada, 2013).

Ūkininkai labai susidomėjo pasėlių būsenos monitoringu, atliekamu įvertinti vandens poreikį, azoto kiekį ir užkrėstas pasėlių teritorijas. Keli iš anksčiau įvardintų indeksų gali būti pritaikomi greitai aptikti užkrėstus pasėlius arba nustatyti augalų kokybę. Taip pat dirvos vandens kiekio stebėjimai svarbūs veiksmingam drėkinimo planavimui. Paviršiaus drėgmės balansas gali būti gaunamas naudojant RGB, NIR ir termines spektro juostas. Naudojamo požeminio vandens kiekį galima gauti pritaikant matematinius santykius tarp paviršiaus matavimų ir šaknų zonos dirvožemio drėgmės, pavyzdžiui, dirvožemio drėgmės analizės santykis (angl. Soil Moisture Analytical Relationship (SMAR)) (Baldwin 2017; Manfreda 2014).

### 1.2.2. Natūralių ekosistemų monitoringas

Kaip ir agrokultūros stebėsenoje, UAS nuotolinių tyrimų technika atvėrė naujų galimybių kartografuoti ir valdyti natūralias ekosistemas (4 pav. ). UAS suteikė daugiau pasirinkimo ir galimybių kaupti duomenis tinkamomis laiko ir erdvinėmis rezoliucijomis, kad būtų geriau apibūdinami ekologiniai procesai, apžiūrint sunkiai prieinamas arba pavojingas vietas. Pavyzdžiui, pelkių ir durpynų augalai yra labai jautrūs, todėl atliekant monitoringą *in situ* metodais gali būti

lengvai pažeidžiami, kai naudodami UAV stebėtojai gali būti kelių kilometrų atstumu ir gauti beveik tą pačią informaciją. Taip pat UAV gali atlikti didesnio ploto monitoringą, nei tai truktų atlikti žmonėms einant lauku ir viską aprašant (Torresan, 2017; Tang, 2015).



4 pav. Matang Mangrove miško draustinis, Malaizija (A) RGB nuotrauka gauta su DJI Phantom 3; (B) teritorijos paviršiaus RGB mozaika, sudaryta iš nuotraukų; (C) augalijos aukščių modelis, sudarytas iš nuotraukų. Spalvų skalė parodo aukščius (vidutiniškai apie > 15 m) (Otero, V., et al., 2018)

UAS galimybės leidžia laiku, greitai ir tiksliai stebėti aplinką – tai ypač aktualu invazinių rūšių monitoringui. Galimybė atlikti skrydžius su dronu, dėl kurio duomenys gaunami dažniau, svarbu dėl to, kad skirtingu augimo sezonu augalai labiau išsiskiria iš aplinkos. Nepaisant greito naujų invazinių rūšių monitoringo galimybių, dronu gauta informacija leidžia prognozuoti ir modeliuoti invazinių rūšių plitimą, kurį gali nulemti įvairūs veiksniai, kaip buveinių ir rūšių charakteristikos ar antropogeniniai pokyčiai.

Dronai taip pat keičia pusiau natūralių sistemų valdymą, kaip atkurtos buveinės ar prižiūrėti miškai. Dronai čia naudojami nustatyti erdvinius augalų pokyčius miškuose, kad būtų galima planuoti įprastus miškų valdymo darbus, pavyzdžiui, miško išretinimą arba atkūrimą (Getzin et al., 2014). Quilteris UAS naudojo srovių ir pakrančių atkūrimo monitoringui neprieinamose Chlak Creek upės (Utah, USA) vietose (Quilter, Anderson 2000).

### 1.2.3. Potvyniai

UAS taip pat buvo pritaikyti greitai įvertinti gamtos stichijas, kad būtų laiku suteikiama humanitarinė pagalba ir atliekamas infrastruktūros pažeidimo vertinimas. Pasak Quaritsch, UAS turėtų būti naudojami kaip sensorių tinklas, skirtas pasitelkti ištikus gamtinėms nelaimėms. Nors ir pasitaiko nemažai technologinių kliūčių, kurias reikia įveikti prieš visiškai automatizuotai ir koordinuotai naudojant UAS, jų panaudojimo galimybės yra reikšmingos. Žinant UAS galimybes,

tikimasi didelių proveržių hidrologijos, geomorfologijos ir hidraulikos srityse, kuriose UAS galima panaudoti upių sistemoms, sausumos vandenų tėkmėms ir net miestų potvyniams matuoti (Quaritsch et al., 2010). Šiuo metu gamtos stichijų (pvz., potvynių, žemės drebėjimų, vulkanų išsiveržimų, gaisrų) stebėjimui nacionaliniu ir tarptautiniu lygiu plačiau naudojami palydovų duomenys. Jų populiarumą lemia plati apimtis, spektrinė rezoliucija, saugumas ir pakankamai geros duomenų atnaujinimo galimybės (Gillespie et al., 2007).

#### 1.2.4. Tėkmės greičio matavimai

Upių sistemos ir srovės gali būti monitoringuojamos nuotoliniu būdu integruojant vandens stulpo stebėjimo metodus, vegetacijos kartografavimą ir hidrologinius modelius. Palydovų jutikliai matomajame, infraraudonajame ir mikrobangų diapazone šiuo metu naudojami stebėti upes ir atskirti potvynio zonas. Šie metodai bendrai naudojami tik dideliuose upių baseinuose arba plačiuose užtvindytuose plotuose, kuriuose būtų galima aptikti pikselio dydžio pokyčius. UAS gali apibūdinti upių dinamiką su keletą kartų didesniu detalumu ir gali būti panaudoti bet kurios upės sistemos srovių matavimui, net ir sunkiai prieinamose vietose (D'Addabbo et al., 2016; Syvitski et al., 2012; Yilmaz et al., 2010).

Šiame kontekste UAS vaizdų integracija ir optinės greičio matavimo technikos leidžia visiškai apibūdinti kinetines vandens kūno savybes ir paviršiaus sroves. Optiniai metodai, kaip greičio nustatymas sekant daleles (Particle Tracking Velocimetry (PTV); Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV)), yra efektyvūs, aplinkos nepažeidžiantys srovės matavimo metodai, pateikiantys erdviškai pasiskirsčiusius duomenis apie paviršiaus srovės greitį, paremtą vaizdų sekos panašumu. Eksperimentai atskleidė šios koncepcijos veikimą – bepiločio orlaivio sistemoje pritaikius LSPIV galima stebėti potvynius. Su UAS filmuota vaizdinė medžiaga buvo ištirta naudojant LSPIV, kad būtų rekonstruojami natūralios paviršiaus tėkmės greičio laukai. Tai suteikia išsamią informaciją apie upės vidinę dinamiką, kuri yra reikalinga kalibruojant matematinius modelius (Tauro et al., 2015).

Daugeliui eksperimentinių stebėjimų atlikti naudojami pigūs UAS, sklendantys kelias sekundes virš tyrimo vietos (stebėjimų laikas turėtų būti pritaikytas pagal srovės greitį ir kameros filmavimo dažnį). RGB kamera įprastai pritvirtinama prie optinės ašies statmenai į matymo lauką, kad būtų užtikrintas vaizdų vienodumas. Tauro pritaikė UAS, aprūpintą keturiais lazeriais, fokusuojančiais taškus žinomam atstumui matymo lauke, kad palengvintų nuotolinį fotogrametrijos modelių kalibravimą. Keliose eksperimentinėse situacijose paviršinės srovės tikslumas buvo toks pat ar net geresnis, negu naudojant tradicinius *in situ* LSPIV metodus. Lyginant su pastoviais fiksuotais prietaisais, UAS sugeba apimti visą lauką, o ne vieną tiesioginį tašką. Tokie optiniai greičio matavimo

būdai gali matuoti didelius vandens telkinių tėkmės plotus, o ne vieną tašką, ir netgi geriau, negu įprasti akustiniai doplerio greičio matuokliai, atsižvelgiant į vandens paviršiuje aptinkamus objektus (Tauro et al., 2015).

Tikimasi, kad UAS technologija pakankamai prisidės prie potvynių stebėjimo ir kartografavimo, ypač dėl to, kad potvynių stebėjimo iš palydovų metu susiduriama su daugybe kliūčių, daugiausia dėl tankių debesų ir miškų, užstojančių žemės paviršių, ir dėl palydovų orbitos, kuri geriausiu atveju leidžia gauti vaizdus kas kelias dienas. Nors sintetinės apertūros radarų (SAR) jutikliai (pvz., Sentinel-1, TerraSAR-X, RADARSAT-2) gali išvengti kai kurių matavimo ir apšvietimo problemų, jie nėra pajėgūs pateikti iki metro lygio erdvinės rezoliucijos duomenų, reikalingų detaliam potvynių kelių numatymui ir supratimui. Pritaikius UAS su atitinkamais skrydžio režimais, galima išvengti daug problemų, leidžiant lengvai, greitai ir saugiai atlikti monitoringą užtvindytose teritorijose ir stebėti potvynio parametrus. Visa tai įmanoma, nes dauguma bepiločių orlaivių platformų yra stabilios net esant gana stipriam vėjui (iki 5 m/s) (Perks et al., 2016).

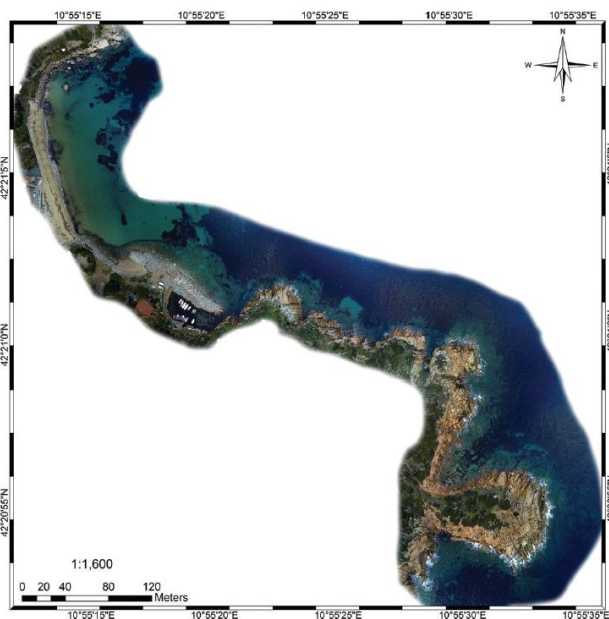
Iššūkiai, susiję su plačiu UAS panaudojimu ir pritaikymu tėkmių monitoringui, turi panašumų su agrokultūros ir ekosistemų monitoringu. Pagrindinis iš jų yra multisensorių duomenų sujungimas, skirtas pasiekti vieningą, tikslią ir efektyvią nuotraukų apdorojimo eigą. Esminės problemos, susijusios su srovės matavimu, yra: (I) optimizuota žemėlapių sudarymo iš nuotraukų (angl. structure from motion (SfM)) darbo eiga, iš kurios naudojant tikslius vaizdų registravimo metodus automatiniai ar georeferencijos būdu gaunama sausumos topografija; (II) vandens lygio nustatymas iš vaizdų, jutiklių ir išvestų turbulencijos matavimų; (III) srovės greičio išvedimas pagal tinkamą techniką (pvz., PTV) pasitelkus tėkmės charakteristikas, stebėjimo laiką ir t. t. Šios užduotys išsprendžiamos nelengvai ir reikalauja daug papildomų bandymų ir tyrimų, kad UAS paremti matavimai galėtų būti pritaikyti vandens išteklių valdyje (Bandini et al., 2017; Detert et al., 2017; Ferreira et al., 2017).

### **1.3. Makrofitų kartografavimas pasitelkiant dronus**

Šiuo metu nėra daug literatūros susijusios su dronų panaudojimu vandens monitoringui ar makrofitų kartografavimui. Tai lemia kelios priežastys. Pirmiausia, tik pastarajame dešimtmetyje dronai tapo prieinami visiems už gana nedidelę kainą, taip pat jų galimybės vis dar didėja, o kaina tampa dar labiau prieinama. Antra priežastis, kodėl tyrimų nėra daug, yra ta, kad naudojant fotogrametrijos programinę įrangą vandens paviršiaus nuotraukos nėra lengvai sujungiamos dėl vandens atspindėjimo savybių ir homogeniškumo, kadangi nuotraukoms sujungti reikalinga kuo daugiau išskirtinių objektų.

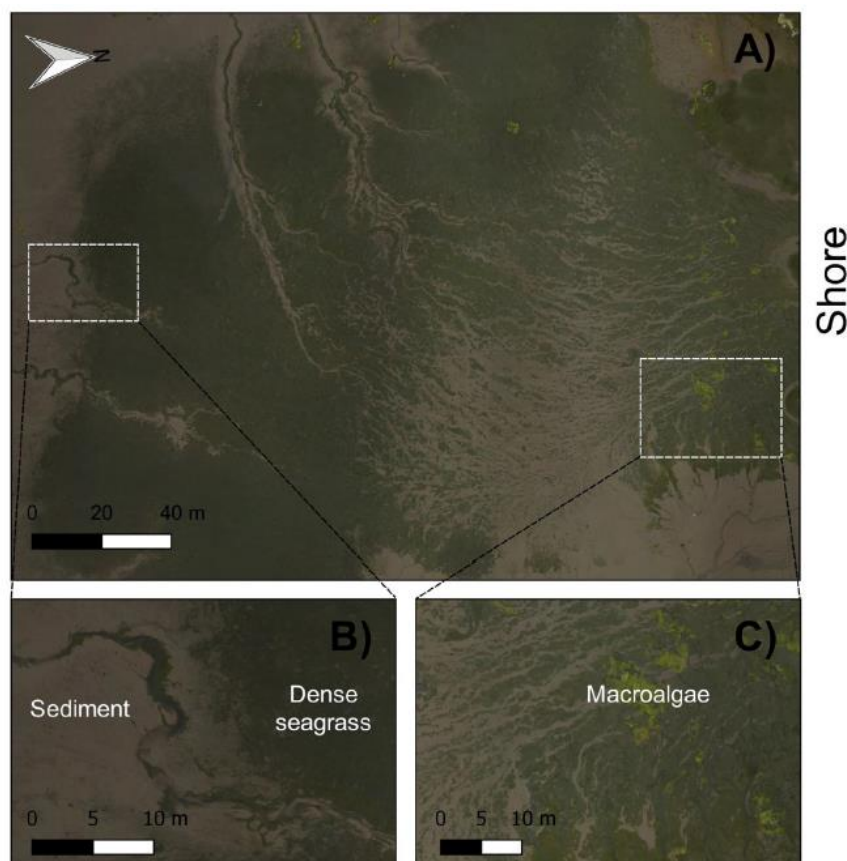
Nepaisant fotogrametrijos sudėtingumo, panašūs į šiame darbe aprašytus tyrimus buvo atlikti ir anksčiau. 2017 m. „Unmanned Aerial Systems (UASs) for Environmental Monitoring: A Review

with Applications in Coastal Habitats“ tyrimo metu Viduržemio jūros pakrantėje, Giglio saloje (Italija) buvo mėginta kartografuoti po vandenių augančias jūržoles (*Posidonia oceanica*). Tyrimui buvo pasitelktas DJI Phantom 3 dronas, kuris yra vienas iš pigiausių dronų, tinkamų kartografavimui. Galutiniame rezultate buvo gautas 2,5 cm/pikselyje rezoliucijos žemėlapis pagal 1,5 km kranto liniją. Kadangi teritorijos vanduo skaidrus, tokia rezoliucija leido lengvai pamatuoti jūržolių plotus ir sudaryti mozaikas, kuriose matytųsi dugnas (Ventura, Bonifazi et al., 2017).



5 pav. Aukštos rezoliucijos (2.5 cm/pikselyje) mozaika, parodanti akmenuotą pakrantę (~1.5 km) pietų Cannelle paplūdimyje (Giglio sala, Italija). Mozaika gauta iš dviejų misijų (204 nuotraukų) (Ventura, Bonifazi et al., 2017).

Makrofitų kartografavimus bandyta atlikti ir šiauresnėje Europos dalyje. Velse (JK) atliktame tyrime „Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone“ taip pat buvo kartografuojamos jūržolės (*Zostera noltii*), kurios gerai matomos tik atoslūgių metu. Vieta yra sunkiai prieinama žmonėms, dėl to nuspręsta pasitelkti drono vaizdų analizę. Sudarius dviejų teritorijų mozaikas, kurių rezoliucija siekė atitinkamai 4 mm (Garron pill) ir 14 mm (Angle), vaizdai buvo suklasifikuoti trimis skirtingais metodais: objektais paremta vaizdų analizė (angl., Object based image analysis), neprižiūrima klasifikacija ir K-vidurkių klasterizavimas. Pagrindinis klasifikacijos tikslas buvo išskirti *Zostera noltii* augavietes ir įvertinti klasifikacijos tikslumą. Rezultatai parodė, kad neprižiūrima klasifikacija buvo tikslesnė nei kiti metodai. Taip pat vietose, kur augalija retesnė, klasifikacija buvo tikslesnė, su maždaug 9–9,5% vidutiniu kvadratinės šaknies nuokrypiu (angl. root-mean square deviation (RMSD)), kai tankiai apaugusiuose vietose vidutinis kvadratinės šaknies nuokrypis siekė 16–22% (Duffy, Pratt et al., 2017).



6 pav. *Zostera noltii* ortomozaika Garron Pill. Vaizdai gauti iš 50 m aukščio (Duffy, Pratt et al., 2017).

Visi nagrinėti straipsniai, susiję su augalų kartografavimu dronu, pateikti 1 lentelėje su pagrindiniais naudotos metodikos apibūdinamais ir trumpai aptartais rezultatais. Daugelyje straipsnių pagrindinis tikslas yra atpažinti vieną ar kelias rūšis objektų (daugiausia makrofitų). Anksčiau, 2014 m., straipsnių nebuvo daug, kaip minėta, dėl tuo metu mažiau prieinamos UAS kainos, tačiau iš ankstesnio dešimtmečio yra keli straipsniai, kuriuose nuotraukos išgautos kitais būdais, pavyzdžiui, oro balionu ar prie ilgo stiebo pririšta kamera. Pagrindinė programinė įranga, naudota darbuose ir skirta sudaryti mozaikas, yra Agisoft photoscan. Priežastys, kodėl naudota ši programa, yra jos kaina (150 eurų už standartinę ir 3500 eurų už profesionalią versiją) ir beveik visiškai automatinis procesas.

Visuose tyrimuose naudota techninė įranga beveik nepasikartoja ir yra labai įvairi. Tai lėmė viena iš didesnių bepiločių orlaivių monitoringo problemų – universalios metodikos trūkumas. Skirtingiems pritaikymo tikslams reikalingi skirtingi skrydžio ir kameros parametrai, pavyzdžiui, norint sudaryti detalesnę 3D ar aukščių modelį, reikalingas didesnis persidengimas, arba norint atpažinti rūšis reikia skristi žemiau, kad būtų gauta geresnė rezoliucija. Vis dėlto nėra nustatyta, kiek aukščiau ar koks persidengimas turėtų būti pritaikytas tam tikrai situacijai. Įvairūs rezultatai gauti ir klasifikuojant mozaikas. Klasifikavimui pasirenkami keli algoritmai ir lyginamas jų tikslumas, tačiau visa tai vyksta įvairiai, vienur iki rūšies lygio, kitur tik bendri plotai.

1 lentelė Darbe nagrinėta literatūra su trumpais pagrindinių aspektų aprašymais (“-“ žymi duomenų trūkumą)

Straipsnio pavadinimas	Tyrimo laikotarpis	Vieta	Objektas	Naudotas dronas ir kita įranga	Programinė įranga	Plotas (ha)	Aukštis (m)	Rezoliucija (cm)	Klasifikacija, paklaidos, KT paklaidos
Unmanned Aerial Systems (UASs) for Environmental Monitoring: A Review with Applications in Coastal Habitats	2017 gegužė-birželis	Viduržemio jūros pakrantė, Giglio sala, Italija	Po vandenių esantys dumbliai, žuvų neršimo vietos	The Quantom Nova CX-20 Quadcopter; GoPro hero 3	Agisoft Photoscan	1,96	30	2,5	Didžiausios tikimybės klasifikavimo algoritmas (interpoliacija iš taškų)
Automated Identification of River Hydromorphological Features Using UAV High Resolution Aerial Imagery	2015 balandis	Dee upė netoli Bala užtvankos, Velsas, JK	Upės hidromorfologija (vegetacija, vandens skaidrumas, krantas)	AsTec Falcon 8 octocopter; Sony Alpha 6000 camera; Leica GS14 Base and Rover Real Time Kinematic (RTK) GPS su 60 KT	Agisoft Photoscan	0,0047	100	2,5	Dirbtinis neuronų tinklas (ANN). ANN klasifikavimo tikslumas 81%
Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone	2018	Pembrokeshire Velsas, JK	Tarp potvynių liekantys dumbliai	3D Robotics Solo multi-rotor drone; Ricoh GR II compact digital camera 16.2 MP; KT	Agisoft Photoscan; RStoolbox R3.3.1.	0,005	15/50	0,4/1,4	Neprižiūrimasis klasifikavimas su optiniame spektre (RGB); k-vidurkių klasterizavimas; segmentacija ir objektais paremtas vaizdų klasifikavimas (OBIA)
Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation	2007 rugpjūtis 2009 liepa-rugpjūtis	Upė ir dvi bandymų vietos ežere, šiaurės Švedijoje	Makrofitų rūšys	Miniature UAS developed by SmartPlanes Sweden AB	SmartPlanes AerialMapper Software; GerMAP Software; GerMAP	-	150	5,6	Ežero absoliutus klasifikavimo tikslumas 95.1%, upės 80,4%
Monitoring the Topography of a Dynamic Tidal Inlet Using UAV Imagery	2015 birželis; rugsėjis - spalio	Bonne-Anse lagūnos intakų sistema, Biskajos įlankoje, La Palmyre, Prancūzija	Kopų ir pakrantės smėlio tūris	eBee flying wing; CANON Powershot RGB camera (16,1 MpPx); 24 KT	Agisoft Photoscan	400	50/149	2/4,6	-

1 lentelės tęsinys

Images from Unmanned Aircraft Systems for Surveying Aquatic and Riparian Vegetation	2016	Šiaurės Švedija	Vandens augalija (daugiausiai paviršinė)	SmartOne aircraft, a hand-launched flying wing; Canon Ixus 70	SmartPlanes AerialMapper	1530	150	5.6	OBIA su absoliučiu 82% klasifikavimo tikslumu
Object-based analysis of UAS imagery to map emergent and submerged invasive aquatic vegetation: a case study	2015 Spalis	Kanada Ontario ežeras	Invazinės rūšys / šlapžemės	EBee drone; 18.2-megapixel Sony Cyber-shot DSC73 WX220	-	50	137	3,9	Absolūtus klasifikavimo tikslumas 78%
Species classification using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired high spatial resolution imagery in a heterogeneous grassland	2015 balandis - gruodis	Kanada Ontario ežeras	Augalija	Aštuonių sparnu drenas ;Canon PowerShot ELPH 110HS kamera (su NIR)	Agisoft Photoscan	-	70	5	Atsitiktinis medžio šakų klasifikavimas. <i>Milkweed</i> tikslumas 76%, kitoms objektų klasėms tikslumas apie 90%
Determining Subarctic Peatland Vegetation Using an Unmanned Aerial System (UAS)	2014-2015 liepa	Stordalen Mire, Abisko, Švedija	Durpynų augalija	Robota Triton XL (fiksuito sparno); Trimble® GeoXT™ 6000 handheld GNSS unit ;64 GPC	SigmaPlot 10; Agisoft Photoscan	14.2	-	3	Dirbtinis neuronų tinklas iš trijų matomo spektro juostų ir šešių objekto rašto atpažinimo sluoksnių
Monitoring Spatial Variability and Temporal Dynamics of Phragmites Using Unmanned Aerial Vehicles	2017	Vengrija, Balatono ežeras	Nendrės ( <i>Phragmites australis</i> )	MK Okto XL 6S12 (MikroKopter) ;NDVI kamera(3.2MP) (ADC Lite, Tetracam, US)	PixelWrench2	-	-	-	-

Dronų naudojimas aplinkos tyrimams Lietuvoje yra dar tik pradinėje stadijoje, todėl su makrofitytais susijusių straipsnių nėra. Visgi iki šiol panašūs tyrimai buvo atliekami iš ortofoto, padarytų iš lėktuvo, ir turi apie 0,5 m/pikselyje rezoliuciją. Ortofoto naudojimas daugiausia taikomas dideliems plotams apskaičiuoti arba plotų pokyčiams, kadangi tokia rezoliucija sunku atskirti individualius objektus.

Daugelis straipsnių, kuriuose aprašomas ortofoto panaudojimas Lietuvoje, yra susiję su žemdirbyste ir miškininkyste. Atlikti tyrimus, naudojant ortofoto nuotraukas iš lėktuvo norimu metu ir vietoje, yra brangu ir reikalauja daug laiko. Darbai, kaip *Renatūralizacijos pokyčiai Lietuvos*

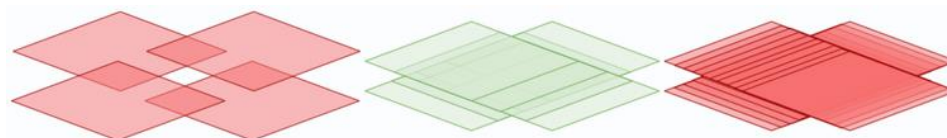
*kraštovaizdyje 1995–2010 metais* (Balevičiūtė, Veteikis, 2013), *Agrarinio kraštovaizdžio sklypinės sąskaidos kaita 1995–2013 m. (Rokiškio rajono savivaldybės pavyzdžiu)* (Orlonas, Veteikis, 2016) ar *Žemės ūkio paskirties žemės plotų kaita ir būklė Lietuvoje* (Dubikaitytė, 2012) tiria tris atvirai geoportal.lt prieinamus, nekomerciniams tikslams naudojamus nemokamus žemėlapius iš 1995–1999, 2005–2006 ir 2008 metų. Šiuose darbuose nagrinėti procentiniai, skirtingos paskirties žemės plotų pokyčiai, tokie kaip slėniai, plynaukštės, miškai, vandens telkiniai ir kiti.

#### **1.4.Drono skrydžio planavimas**

Norint sudaryti žemėlapi, pirmiausia, reikia nustatyti tinkamą fotografavimo metodą, priklausomai nuo teritorijos ir norimų rezultatų. Kad iš nuotraukų būtų įmanoma sudaryti geros kokybės žemėlapi mozaiką, reikia išlaikyti pastovų aukštį ir greitį, skristi tiesiomis linijomis ir nuotraukas daryti vienodais intervalais tam, kad jų persiklojimas būtų tinkamas (70–80%). Taip pat nuotraukų kokybei daug įtakos turi kameros parametrų pasirinkimas, drono stabilumas, skrydžio greitis, ypač oro sąlygos, dienos ir laiko pasirinkimas. Kameros objektyvas turėtų būti nukreiptas statmenai žemyn ([www.propelleraero.com](http://www.propelleraero.com)).

##### **1.4.1. Nuotraukų persiklojimas**

Norint gauti tikslias nuotraukas, nepatartina jų daryti rankiniu būdu, nes kompiuterinės programos skaičiavimus atlieka tiksliau ir darbą automatizuoja. Kelios pagrindinės automatinio skrydžio plano sudarymo programos yra: „DroneDeploy“, „PrecisionFlight“, „Altizure“. Vienas svarbiausių aspektų – nuotraukų persidengimas. Jei persidengimas mažesnis nei 70%, žemėlapyje trūks informacijos ir atsiras tušti plotai. Esant per dideliu nuotraukų persiliejimui, jų apdorojimas užtruks labai ilgai, todėl optimaliausias persidengimas yra 70–80%. Kai kuriais atvejais priekinis ir šoninis persidengimas gali būti skirtingi.



7 pav. a) <70% persidengimas; b)70–80% persidengimas; c) >80% persidengimas

([www.propelleraero.com](http://www.propelleraero.com))

### 1.4.2. Skrydžio aukštis

Nuo skrydžio aukščio, kameros raiškos ir fokusavimo atstumo priklauso nuotraukų rezoliucija, t. y., kiek vienas pikselis atitinka centimetrų tikro objekto dydžio. Šis parametras dar vadinamas kontroliniu atskaitos tašku. Tikras paviršiaus atitikimas (angl. Ground Sampling Distance) rodo, kiek vienas pikselis atitinka realaus objekto dydžio (metrais pikselyje). Toliau darbe šis parametras bus minimas kaip rezoliucija ir jam apskaičiuoti naudojama formulė  $\frac{Sw \cdot h \cdot 100}{Fr \cdot imW}$

kur: Sw – sensoriaus plotis (milimetrai)

h – skrydžio aukštis (metrai)

Fr – fokusavimo atstumas (milimetrai)

imW – nuotraukos aukštis (pikseliai)

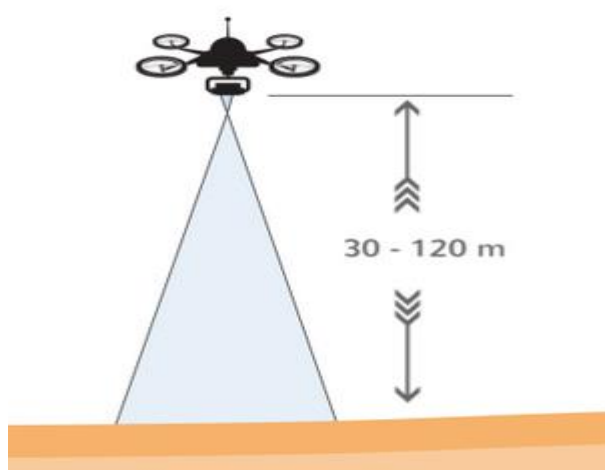
Taip pat su šiais parametrais galima apskaičiuoti, kokį plotą apima viena nuotrauka pagal pasirinktą aukštį.

Plotis = (rezoliucija\*nuotraukos plotis) / 100,

Ilgis =(rezoliucija\*nuotraukos aukštis)/100,

Plotas = ilgis\*plotis.

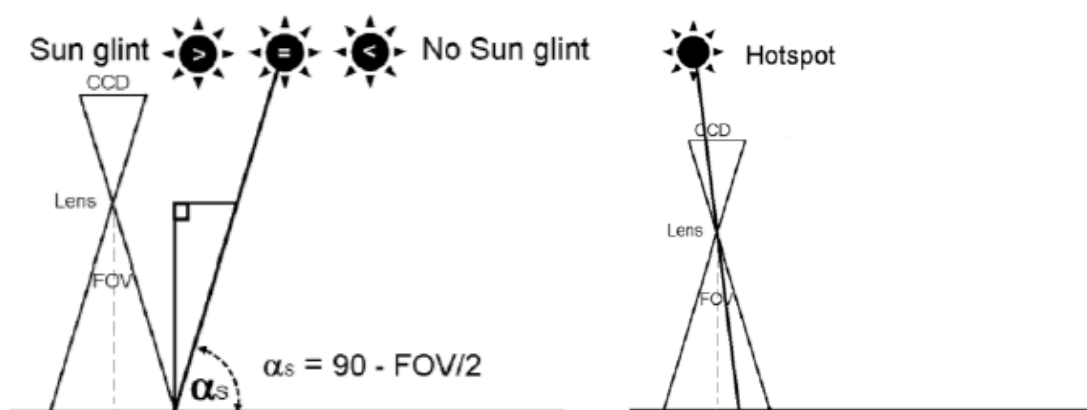
Pasirenkamas skrydžio aukštis priklauso nuo norimų rezultatų. Norint gauti geros kokybės (2-5cm pikselyje) nuotraukas, reikėtų skristi apie 75–100 m aukštyje. Šiuolaikinių dronų galimybės siekia daug daugiau (iki 2 km aukštį) ir taip galima apimti didesnę plotą, bet tokiu atveju kokybė žymiai sumažėja.



8 pav. Rekomenduojamas drono skrydžio aukštis. (<https://www.propelleraero.com>)

## 1.5. Saulės atspindys

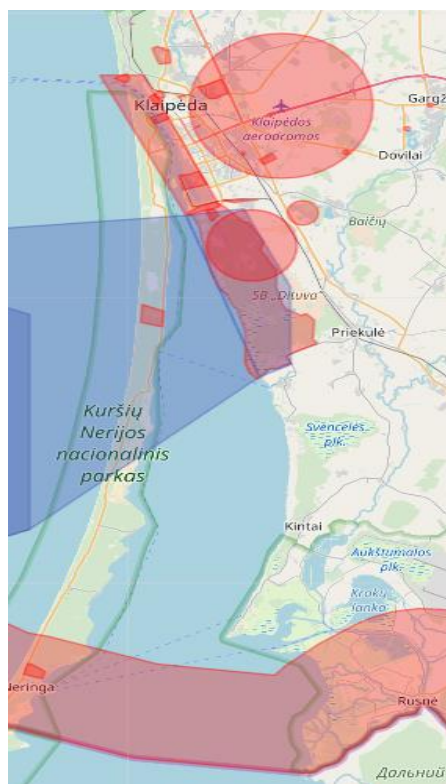
Saulės atspindžio (angl. sun glint) efektas aptinkamas ten, kur sudaromų nuotraukų paviršiai yra spindintys, pavyzdžiui, vanduo, stiklas ar metalas, ir kai atspindžio kampas patenka į kameros matymo kampą. Vizualiai šis efektas pavaizduotas 9 pav., taip pat ir karštųjų dėmių (angl. hot spot) efektas, kuris atsiranda, kai saulė būna beveik tiesiai virš objektyvo, bet jis nedaro tokios didelės įtakos nuotraukoms. Stipriausias saulės atspindžio efektas matomas, kai saulės pakilimo kampas yra lygus iš  $90^\circ$  atėmus pusę kameros matymo kampo (Ortega-Terol et al., 2017).



9 pav. Saulės atspindžio ir karštųjų dėmių susidarymo sąlygos (Turner et al., 2012).

## 1.6. Draudžiamos skrydžių teritorijos

Dronų skrydžiams galioja taisyklės ir teritorijos, kur ir kaip galima skristi. [www.Oran.lt](http://www.Oran.lt) sudarytas žemėlapis aiškiai parodo, kuriose teritorijose skraidyti griežtai draudžiama ir kur skrydžiai ribojami. Skrydžio draudimai paremti civilinės aviacijos administracijos įsakymu dėl bepiločių orlaivių naudojimo taisyklių patvirtinimo (Civilinės aviacijos administracija, 2014).



10 pav. Mėlynai pažymėtos apribotos zonos, o raudonai – draudžiama skristi  
(<http://www.oran.lt/>)

### 1.7. Automatinio skrydžio planavimo programos

Programų pasirinkimas automatiniam skrydžio planavimui yra platus ir dauguma jų atlieka panašias funkcijas bei gauna JPEG formato nuotraukas, reikalingas RGB žemėlapiams sudaryti. Vis dėlto vienos programos turi daugiau funkcijų ir yra suderinamos su daugeliu dronų, o kitos jų turi mažiau.

Galimybė iš anksto planuoti, kur bus atliekamas skrydis yra naudinga, kadangi sudaryti planus vietoje daugumai programų reikalinga interneto prieiga. Tik kelios programos (Pix4D capture ir DroneDeploy) leidžia sudaryti planus nesant interneto prieigai. Be interneto prieigos dronui skristi pagal iš anksto sudarytą planą reikalingas didesnis kiekis pasiekiamų GPS palydovų. Pavyzdžiui, DroneDeploy reikalauja 10 palydovų pasiekiamumo, kad galėtų pradėti automatinį skrydį, o debesuotomis dienomis signalas būna silpnas ir norint pradėti darbus tenka laukti ilgiau. Pix4D Capture turėjo mažiausiai problemų ir pakildavo su 8 pasiekiamais GPS palydovais.

Kelios programos turi galimybę vietoje, esant interneto prieigai, sudaryti vietovės žemėlapius iš karto atlikus skrydį, tačiau ši funkcija dažniausiai yra mokama (išskyrus kelis bandomuosius skrydžius) ir nėra pakankamai tiksli lyginant su kitame poskyryje aprašytais programomis (Toffanin, 2018).

2 lentelė Automatinio skrydžio programų palyginimas

Programos pavadinimas /Programos galimybės	DroneDeploy	Pix4D Capture	DJI GO	PrecisionFlight	Drone Harmony
Galimybė sudaryti planus iš anksto	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
Veikia su visais prietaisais	Taip	Taip	Savarankiškas skraidymas tik su Apple produktais (2018 06 20)	Taip	Taip
Sudaro žemėlapius	Pirmi 10 nemokami, vėliau nuo 110 eurų/mėn.	10 dienų nemokamai, vėliau nuo 260 eurų/mėn.	Ne	60 nemokamų	Nėra. 29 eurų/mėn. (tik už skrydžius, visomis galimybėmis)
Galimybė importuoti/eksportuoti skrydžio planus	Taip	Ne	Ne	Ne	Taip
Skrydžio trajektorijos	Nubrėžtas poligonas 90°, 3D modeliui skrydis ratu aplink teritoriją 45° kameros kampu.	Nubrėžtas poligonas, ratu aplink objektą (3D modelis), dvigubo tinklelio (3D modelis), laisvo skrydžio (daroma nuotrauka nuskrendant tam tikrą atstumą)	Taškai	Nubrėžtas poligonas 90°, 3D modeliui skrydis ratu aplink teritoriją 45° kameros kampu.	Geriausias planas visais kampais, taškai, orbitos skrydis, 3D, poligonas.
Svetainė	<a href="https://www.dronedeploy.com/">https://www.dronedeploy.com/</a>	<a href="https://pix4d.com/product/pix4dcapture/">https://pix4d.com/product/pix4dcapture/</a>	<a href="https://www.dji.com/goapp">https://www.dji.com/goapp</a>	<a href="https://www.precisionhawk.com/precisionflight">https://www.precisionhawk.com/precisionflight</a>	<a href="https://droneharmony.com/">https://droneharmony.com/</a>

### 1.8. Fotogrametrijos programų palyginimas

Sudarius nuotraukas, iš jų fotogrametrijos programine įranga reikia sukurti galutinį produktą: rastrų mozaiką arba ortofoto, aukščių ir 3D modelius. Fotogrametrijai skirtos programos dažniausiai

susietos su automatinio skrydžio planavimo programomis. Keleto pagrindinių programų, naudojamų mozaikų sudarymui, pagrindinių funkcijų palyginimai surašyti 3 lentelė. Fotogrametrijos programos daugiausia remiasi anksčiau literatūroje minėtu SfM algoritmu, kuris sugeba rasti vienodus taškus gretimose nuotraukose ir sujungti jas į vieną ortofotonuotrauką arba 3D realybės atvaizdavimą (Toffanin, 2018).

3 lentelė Modelių iš nuotraukų sudarymo programų palyginimas

Programos pavadinimas/ Programos galimybės	Agisoft Photoscan	DroneDeploy	WebODM	Pix4D	PrecisionMapper	Maps Made Easy
<b>Kaina</b>	160 eurų	10 dienų nemokamai, vėliau nuo 260 eurų/mėn.	Nemokamas	260 eurų/mėn.	60 nemokamų (Mokamas planas sudaromas asmeniškai kiekvienam klientui)	Kaina pagal plotą (1 ha kaina vidutiniškai apie 100 eurų)
<b>Koordinatų pritaikymas vietoms</b>	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
<b>3D modeliai</b>	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
<b>Paviršiaus ir reljefo modeliai</b>	Taip	Tik paviršiaus	Taip	Taip	Taip	Taip
<b>Atskaitos taškų pridėjimas</b>	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
<b>Svetainė</b>	<a href="http://www.agisoft.com">http://www.agisoft.com</a>	<a href="http://www.dronedeploy.com">www.dronedeploy.com</a>	<a href="http://www.opendrone-map.org">www.opendrone-map.org</a>	<a href="http://www.pix4d.com">www.pix4d.com</a>	<a href="http://www.precisionmapper.com">www.precisionmapper.com</a>	<a href="http://www.mapsmadeeasy.com">www.mapsmadeeasy.com</a>

### 1.9. Atviros prieigos palydovų duomenų panaudojimas makrofitų kartografavimui

Daugybei palydovų sistemų buvo išbandyta galimybė aptikti makrofitų rūšis ir jų charakteristikas įvairiuose vandens telkiniuose, visame pasaulyje. Prastos erdvinės rezoliucijos sistemoms, kaip MODIS arba sentinel-3, neturi pakankamo detalumo, kad galėtų sudaryti tikslus ir didelio ploto žemėlapius. Tačiau vidutinės erdvinės rezoliucijos sistemos, kaip Landsat ir SPOT, parodė galimybę kartografuoti makrofitus įvairiose vandens telkiniuose ir skirtingų rūšių makrofitų augimvietėse, bet tokios sistemos gali turėti per maža erdvinę ir spektrinę rezoliuciją, kad atskirtu tikslus ekologinius skirtumus ir pokyčius tarp vegetacijos plotų, reikalingų optimaliam monitoringui (Sakuno, Kunii, 2013; Shuchman et al., 2013).

Makrofitų plotai turi būti dideli ir pakankamai tankūs, kad juos būtų galima sėkmingai identifikuoti. Heblinski teigia, kad makrofitų augimvietės plotas turėtų būti mažiausiai du kartu didesnis negu vienas palydovo nuotraukos pikselis (Heblinski et al. 2010). Landsat 8 su vis didėjančia radiometrine rezoliucija ir papildomais matomo spektro juostomis turėtų pagerinti monitoringo galimybės vandenų aplinkoje (Lymburner et al., 2016). Sentinel-2 suteikia geresnius erdvinės ir

spektrinės rezoliucijos sensorius kurie gerokai padidina makrofitų aptikimo tikslumą, kur makrofitų savybės gali būti kartografuojamos leidžiant vykdyti operatyvų makrofitų pokytį laike (Hedley et al., 2012). Bendrai tariant aukštesnės erdvinės rezoliucijos palydovų sistemos suteikia didesnio tikslumo informaciją lyginant su vidutinės ir žemos erdvinės rezoliucijos palydovų sistemomis (Shuchman et al., 2013).

Sintetinės apertūros radarai (SAR) turi galimybę suteikti duomenis net esant debesuotoms dienomis, kurie leidžia kartografuoti makrofitus, tačiau mikrobangos neprasiskverbia po vandeniu, todėl negalima aptikti panirusių makrofitų rūšių (Silva et al., 2010).

## II. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

Tyrimo metodai toliau pateikiami atsižvelgiant į uždavinius.

### 2.1. Hidrometeorologinių bei techninių sąlygų įvertinimas makrofitų kartografavimui dronu.

Šiam tyrimui naudotas dronas DJI Phantom 4 advanced (11 pav. ), priklausantis Klaipėdos universiteto Jūros tyrimų institutui. Pagrindiniai drono parametrai ir jų reikšmė pateikti 4 lentelė .

4 lentelė Pagrindiniai DJI Phantom 4 advanced parametrai

Kameros sensorius	Kameros megapikseliai	Objektyvas	Skrydžio atstumas	Skrydžio laikas
1''CMOS	20	FOV (Field of view) 84° 8.8 mm – 24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 – f/11 auto focus at 1 m – ∞	Iki 2 km spinduliu	Iki 27 min.

Taip pat naudotos 3 papildomos baterijos, kurios pailgino bendrą galimo skrydžio laiką.

Kad būtų pasiektas didesnis absoliutus tikslumas, pririšant drono vaizdus prie koordinacių, ant žemės buvo pasitelkiami keturi kontroliniai taškai. Kontrolinių taškų koordinacių nustatymui naudota Leica 1200 smart rover (11 pav. ) sistema, kuri naudoja GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) anteną ir mobilius globalaus pozicionavimo duomenis. Dirbant su šiuo prietaisu pasiekta iki 5 cm kontrolinių taškų absoliuti paklaida.



11 pav. DJI Phantom 4 adv dronas ir GPS antena

Skrydžių planavimo tyrimams buvo pasirinktos DroneDeploy ir Pix4D Capture programos dėl paprasto naudojimosi, galimybės sudaryti daug planų (10) ir galimybės dronui automatiškai skristi 10 m aukštyje. Ortofoto sudarymui iš gautų nuotraukų naudota OpenDroneMap programa.

### 2.1.1 Techninių sąlygų įvertinimas

Pasirinkta tyrimų vieta yra vakarinė Platelių ežero pakrantė, žemiau Šventorkalnio pusiasalio (12 pav. ). Iš techninių sąlygų buvo vertintas drono skrydžio aukštis, tam, kad būtų galima nustatyti optimalų vaizdų rezoliucijos ir aukščio santykį, identifikuojant makrofitų rūšis ir plotus. Pasirinkti aukščiai buvo 10 m, 20 m, 40 m ir 70 m. Duomenų validavimui ekspertai *in situ* aprašė augalų įvairovę ir padengimą.



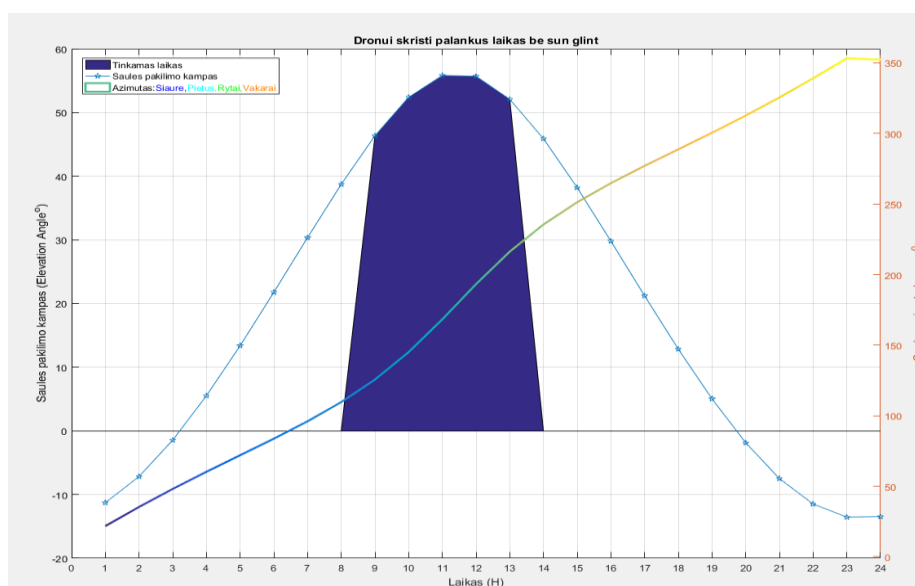
12 pav. Tyrimo vietos dronu Kuršių mariose ir Platelių ežere

## 2.1.2. Hidrometeorologinės sąlygos

Tyrimams pasirinkta ta pati Platelių ežero vieta ir trys Kuršių marių vietos, kurios skyrėsi hidrologinėmis sąlygomis: Klaipėda (netoli malkų įlankos) – daugiausia veikiama jūrinio vandens, Svencelė – minimalus jūrinio ir upės vandens poveikis, ir Ventė – veikiama Nemuno upės vandens. Tiriant hidrometeorologines sąlygas buvo atsižvelgta į vėjo greitį, vandens skaidrumą, debesuotumą bei saulės pakilimo kampą ir azimutą. Vėjo duomenys (greitis ir kryptis) buvo nurašomi iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos tinklapio (<http://www.meteo.lt/lt/home>) pagal skrydžio laiką. Debesuotumas vertintas vizualiai nuo 0 (giedra) iki 10 (visiškai debesuota).

Dronu darytose nuotraukose gali būti matomas saulės atspindys, kuris neteisingai renkant duomenis kai kuriose vietose gali siekti iki 50% teritorijos. Kad jo būtų išvengta, reikia pritaikyti tam tikrą skrydžio kampą ir laiką prieš pradėdant skrydžius. Remiantis Turner et al. (2012), saulės azimutui ir pakilimo kampui nustatyti buvo sudarytas algoritmas Matlab programa (*Priedas 1*) nubrėžiantis grafiką (13 pav.) su optimaliu paros laiku skrydžiui ir skridimo kampu. Sudarytame algoritme suvedus ilgumą, platumą, drono matymo kampą ir datą gautas grafikas, kurio x ašis rodo laiką, y kairioji ašis – saulės pakilimo kampą ir y dešinioji ašis – saulės azimutą. Pagal užpildytą plotą centre galima spręsti, koku dienos metu palanku skristi (pavyzdyje 8–14h). Kreivė kertanti šį plotą žymi koku kampu reikėtų skristi su dronu (pavyzdžiui, 8 val. ryto šiaurės-rytų kryptimi, t. y., 110° kampu). Skrendant link saulės arba nuo jos matomas mažiausias saulės atspindys, dėl to reikia žinoti, kurioje vietoje yra saulė (saulės azimuto kampas) ir skristi į ją arba iš to kampo atėmus 180°, kai skrendama atgal.

Šiame tyrime palyginti skirtingus saulės atspindžio poveikius drono vaizdams buvo skrendama tą pačią dieną pagal grafiką palankiu ir nepalankiu metu (13 pav.).



13 pav. Saulės azimuto ir padėties per dieną pokyčių grafikas (2018 m. birželio 14 d. Klaipėdoje)

## **2.2. Žemėlapių analizė įvertinant nendrių tūrio, ploto ir kiekio pokytį skirtingais laikotarpiais, prieš ir po nendrių pjovimo darbų**

Tūrio, ploto ir kiekio skaičiavimams pasirinktas Platelių ežero krantas, žemiau Šventorkalnio (12 pav. ), dėl lengvo priejimo ir vienos iš teritorijų, kurioje 2018 metų vasarą buvo atliekami nendrių pjovimo darbai. 12 pav. geltonai žymimi plotai, kuriuos buvo planuota išpjauti. Skrydžiai atlikti 2018 m. liepos 17 d. ir 2018 m. lapkričio 11 d. Tūrio skaičiavimams naudoti paviršiaus aukščio modeliai, sudaryti dronu skrendant 40 m aukštyje. Paviršiaus aukščio modelio tikslumo įvertinimui papildomai sudaryta 10 m detalesnė ortofoto, kurioje kelios nendrės buvo išmatuotos liniuote.

Pirmiausia, ortofoto buvo pririštos prie gautų atskaitos taškų naudojant *georeferencing* funkciją ArcMap programoje. Kadangi gautas aukštis yra nuo jūros lygio, tūrio skaičiavimams naudota ArcMap funkcija *minus*, kur atėmus ties vandens paviršiumi esantį aukštį gautas tik virš vandens paviršiaus esančių objektų (helofitų) aukštis. Kadangi aukščio modelyje matomas ir bangavimo aukštis, makrofitų plotas skaičiuotas tik ten, kur aukštis buvo didesnis nei 0,02 m. Atlikus šiuos veiksmus naudota *Zonal Statistics as Table* funkcija gauti vidutiniams aukščiams, tūriui ir plotui.

Nendrių kiekis į kvadratinį metrą buvo skaičiuotas makrofitų eksperto iš gautų ortofoto.

## **2.3. Makrofitų atpažinimo tikslumas tarp *in situ*, palydovų ir drono duomenų**

Tam, kad įvertinti ar galima palengvinti makrofitų aptikimą iš drono vaizdų, buvo testuojamas automatinis klasifikavimas Platelių ežere (12 pav.). Klasifikavimui buvo pasitelkta prižiūrimojo mokymosi *Supervised Classification* ArcMap funkcija. Funkcijos naudojimo metu nurodomi pavyzdiniai plotai (ne mažiau negu 200 m<sup>2</sup>), kuriuos norima suklasifikuoti gautame žemėlapyje kiekvienai klasei, t.y. vanduo ir augalija.

Klasifikavimo tikslumui įvertinti procentais naudota ArcMap funkcija *Random Point*. Sudaryta 300 atsitiktinių taškų, pasiskirsčiusių po visą tyrimo rajoną, kurie ekspertiniu būdu priskirti vienai ar kitai klasei. Vertinimai taškuose vėliau lyginami su automatinio klasifikavimo rezultatais ir apskaičiuotas santykinis tikslumas.

Prižiūrimojo mokymosi funkcija suklasifikuotas žemėlapis taip pat vertintas su *in situ* makrofitų matavimais. 2018 metų gegužės 9 d. du makrofitų ekspertai atsitiktinėse 22 vietose Ventės rago teritorijoje (12 pav. ) braidžiodami iki 1,3 m gylio fiksavo makrofitų rūšinę sudėtį. Vėliau su dronu gauta ortofoto suklasifikuota pagal 4 klases: krantas, neapaugęs ir apaugęs makrofitais dugnas ir kita. Suklasifikuotame žemėlapyje įvertintas makrofitų aptikimas tuose pačiuose taškuose, kur buvo identifikuoti *in situ* makrofitai ir apskaičiuotas santykinis tikslumas.

Platelių ežere sudarius žemėlapius iš drono įvertinau procentinę helofitų (tik išnirę makrofitai) padengimą. Tie patys du ekspertai įvertino makrofitų padengimą (panirusius ir nepanirusius) iš tų

pačių drono vaizdų ir identifikavo jų rūšis. Vidutinis padengimas pagal abu vertinimus buvo patikrintas Stjudento testu priklausomoms imtims. Šie du vertinimai lyginti su augalijos indeksais, TGI (angl., triangular greenness index ) ir NDVI, apskaičiuotais iš drono ir palydovo vaizdų, kad sužinoti ar iš indeksų galima apskaičiuoti panirusių arba išnirusių makrofitų padengimą. Pasirinkti šie indeksai, kadangi jie geriausiai parodo augmenijos būklę ir yra dažniausiai naudojami padengimo įvertinimui (Villa et al., 2015).

Dėl geriausios erdvinės rezoliucijos, nemokamų duomenų, bei prieinamumo pasirinkti sentinel-2 palydovo duomenys (2018 metų liepos 17 d. ir lapkričio 16 d.). Indeksų skaičiavimui naudota ArcMap programos *Raster Calculator* funkcija, kur dronui skaičiuoti TGI, o sentinel-2 TGI ir NDVI indeksai, kurių formulės yra:

$$\mathbf{TGI} = R_{\text{GREEN}} - 0.39 * R_{\text{RED}} - 0.61 * R_{\text{BLUE}}$$

$$\mathbf{NDVI} = \frac{R_{\text{nir}} - R_{\text{red}}}{R_{\text{nir}} + R_{\text{red}}}$$

Kur:  $R_{\text{GREEN}}$  – Žaliasis spektras

$R_{\text{RED}}$  – Raudonasis spektras

$R_{\text{BLUE}}$  – Mėlynasis spektras

$R_{\text{NIR}}$  – Infraraudonasis spektras

Gautiems drono padengimo bei drono ir palydovo indeksų rezultatams apskaičiuota Spirmano koreliacija ( $r_s$ ) Excel programa, tarpusavyje lyginant gautas reikšmes 45 poligonuose, kurie suskirstyti pagal sentinel-2 erdvinės rezoliucijos gardelę (100 m<sup>2</sup>).

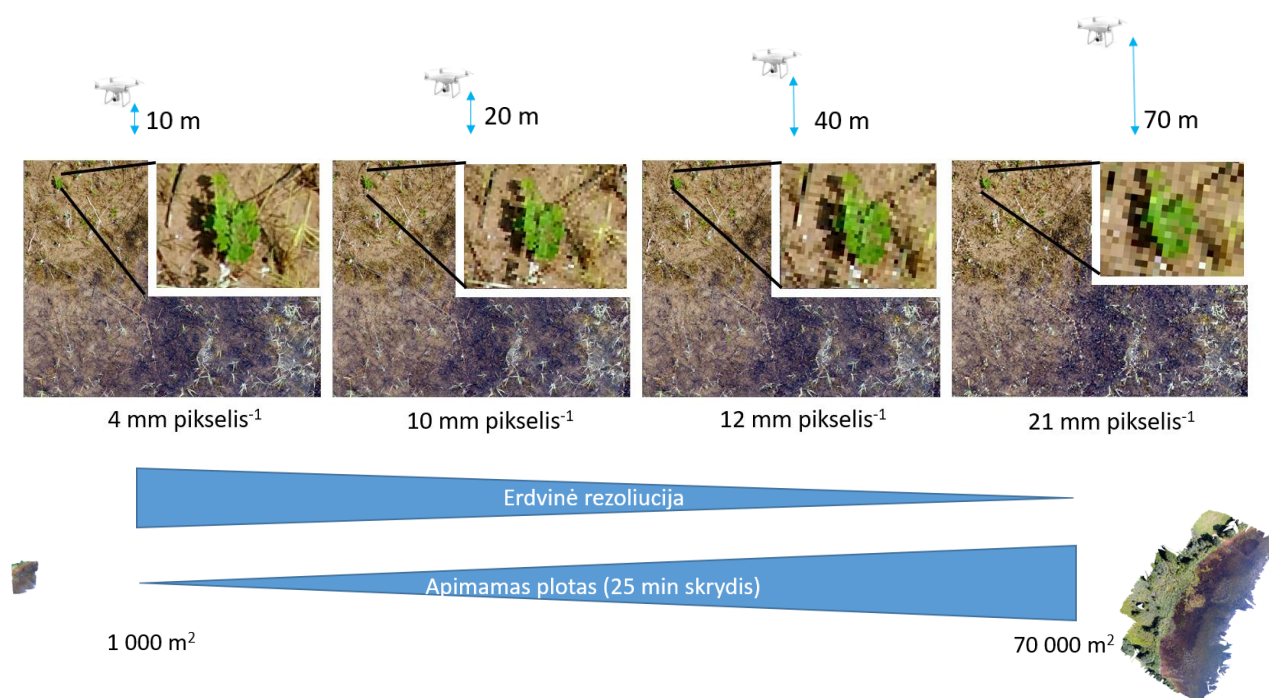
### III. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1. Hidrometeorologinių bei techninių sąlygų įvertinimas makrofitų kartografavimui dronu

##### 3.1.1. Drono galimybės skirtinguose aukščiuose

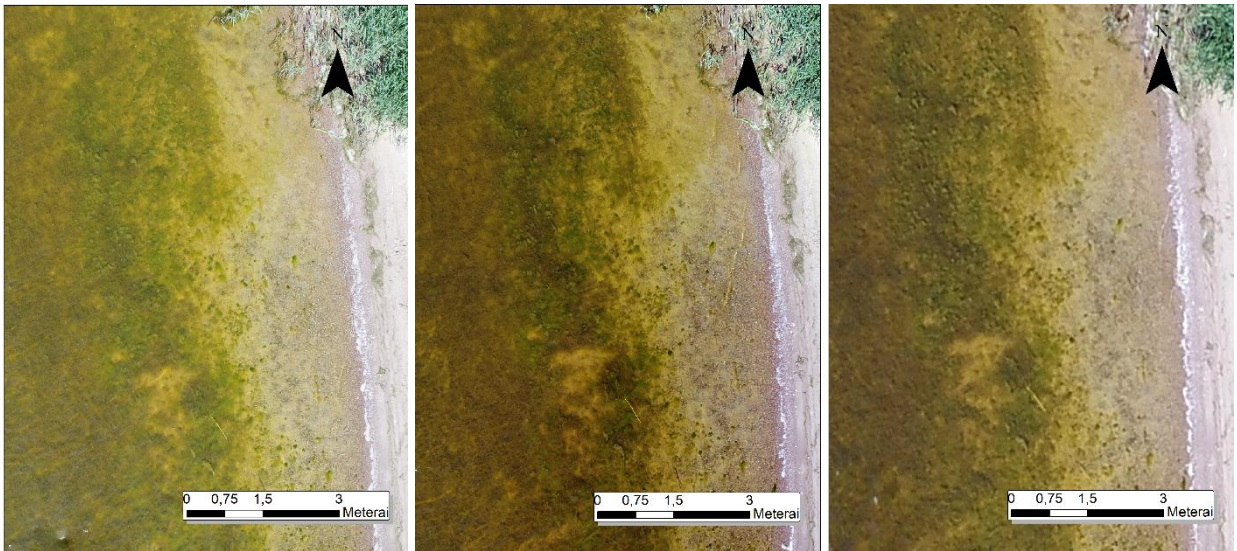
Dronui skrendant 10–20 m aukštyje gautose ortofoto aiškiai matomos augalo morfologinės detalės (14 pav. ). Iš 40 m aukščio gautos ortofoto kokybė netenka detalumo, o pasiekus 70 m aukštį objektai tampa neberyškūs ir vaizdas susilieja. Nors keičiant aukštį nuo 20 m iki 40 m ortofoto rezoliucija pakinta vos 2 mm pikselyje, tačiau vizualiai augalų detalumas prarandamas labiau negu pakeičiant aukštį nuo 10 m iki 20 m, kai ortofoto rezoliucija pakinta 6 mm.

Nors didesnė rezoliucija yra tinkamesnė atpažinti makrofitų rūšis, skrendant žemiau sudarytos ortofoto plotas mažėja. Pakeitus skrydžio aukštį nuo 70 m iki 10 m su viena baterija, kuri veikia apie 25 min., vidutiniškai apimamas plotas sumažėja nuo 7 ha iki 0,1 ha.



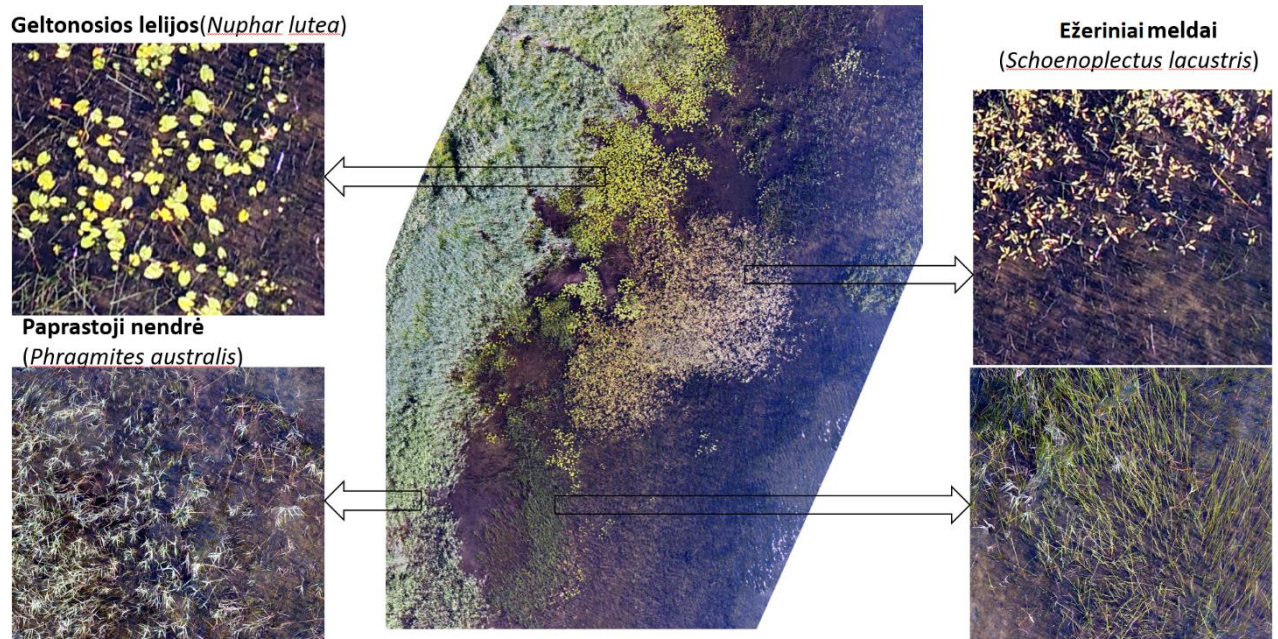
14 pav. Vaizdo erdvinės rezoliucijos ir galimo apimti plotą su viena drono baterija skalė Platelių ežere

Skirtingo aukščio ortofoto Kuršių mariose ties Klaipėda (15 pav. ) skirtumas tarp 10 m aukščio ir 40 m aukščio nebuvo ryškus, tačiau 70 m aukščio ortofoto nebuvo pakankamai geros raiškos atpažinti makrofitų rūšis. Dėl šios priežasties toliau makrofitams atpažinti naudotos 40 m aukštyje sudarytos ortofoto, kurios pikselis vidutiniškai atitinka 12 mm realaus objekto ir galima sudaryti apie 5 ha ploto žemėlapius.



15 pav. 10 m (kairėje), 40 m (centre) ir 70 m (dešinėje) aukštyje sudarytos ortofoto Kuršių mariose

Iš 40 metrų aukščio buvo galima nustatyti dominuojančių makrofitų rūšis Platelių ežere: geltonoji lelija, paprastoji nendrė, žydintys ir nežydintys ežeriniai meldai (16 pav. ).



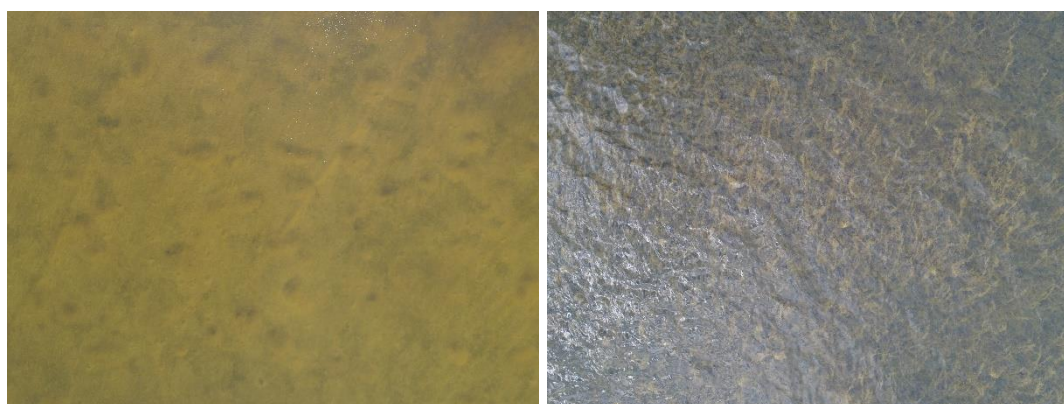
16 pav. Identifikuotos makrofitų rūšys iš drono nuotraukų

### 3.1.2. Hidrometeorologinių sąlygų įvertinimas

Įvertinus vandens ir oro sąlygas (5 lentelė ) nustatyta, kokios skrydžio sąlygos buvo palankiausios geros kokybės nuotraukoms gauti. Esant vidutiniam vėjo greičiui nuo 1 iki 5 m s<sup>-1</sup> reikšmingų skirtumų drono ortofoto kokybei nebuvo, tačiau vėjui sustiprėjus daugiau nei 5 m s<sup>-1</sup> atsiranda bangos, kurios trukdo sujungti vienodus taškus, ir nuotraukos nėra įtrauktos į ortofoto, o į ortofoto įtrauktose nuotraukose vandens bangos pakeičia saulės spindėjimo kampą ir apsunkina vizualų makrofitų vertinimą (17 pav. ).

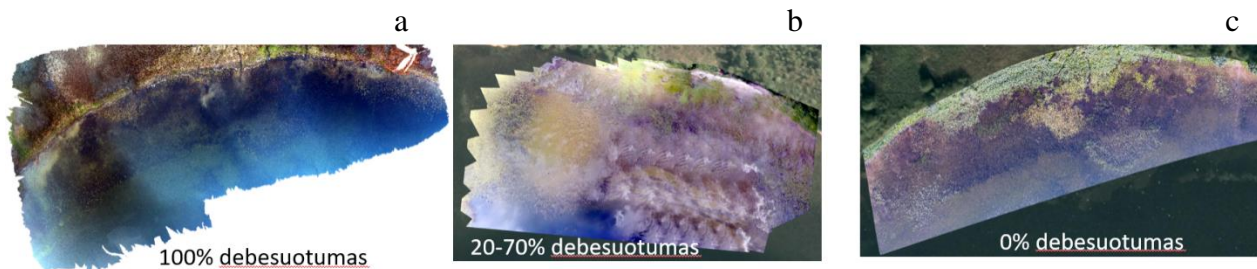
5 lentelė Oro ir aplinkos sąlygos

Drono skrydžio datos	Vėjo greitis $m s^{-1}$	Vėjo kryptis	Debesuotumas	Vieta
2018 05 09	2	ŠŠV	0	Svencelė, Ventė
2018 05 14	3	ŠŠV	0	Klaipėda
2018 05 23	3	ŠŠV	3	Klaipėda, Svencelė, Ventė
2018 05 28	5	V	0	Klaipėda
2018 05 31	4	PPV	0	Klaipėda
2018 06 14	4	ŠŠR	2	Klaipėda
2018 06 18	4	ŠŠV	9	Klaipėda
2018 06 28	4	ŠŠR	0	Klaipėda
2018 07 04	3	V	0	Klaipėda
2018 07 10	1	V	8	Plateliai
2018 07 17	5	ŠŠR	4	Klaipėda
2018 07 18	1	P	2	Plateliai
2018 07 19	4	Š	2	Plateliai
2018 11 08	1	PR	9	Plateliai



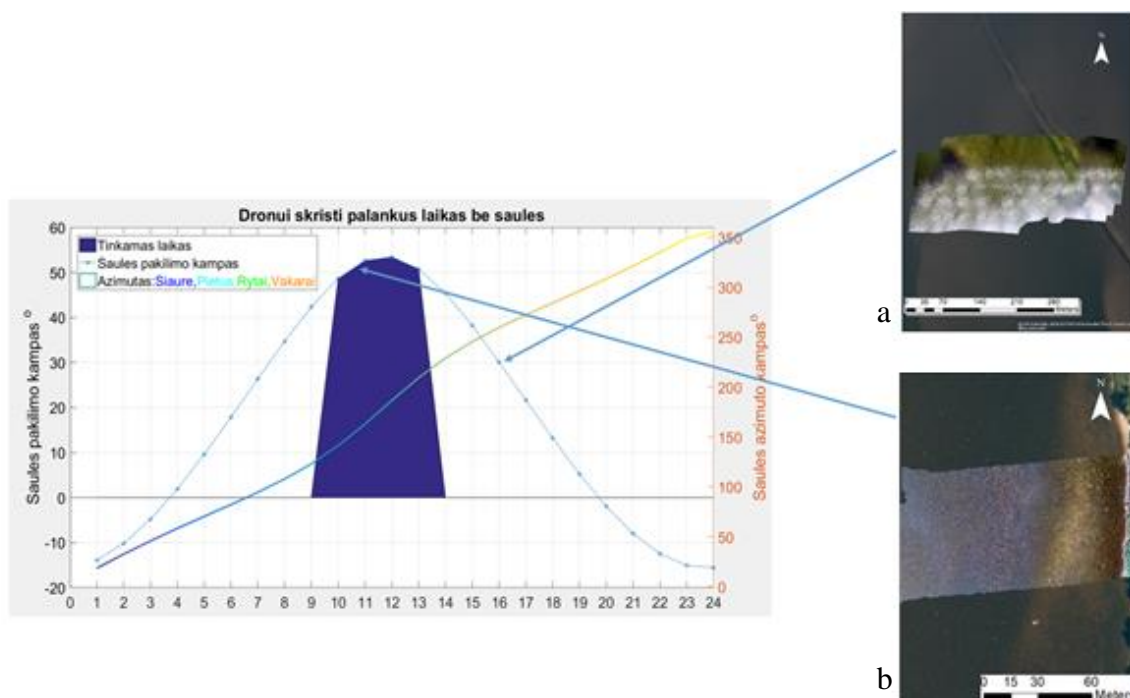
17 pav. Vėjo greitis  $1 m s^{-1}$  (kairėje) ir vėjo greitis  $6 m s^{-1}$  (dešinėje)

Geriausia sudaryti nuotraukas buvo visiškai debesuotomis dienomis (18 pav. Drono ortofoto prie a), kad nebūtų saulės atspindžio nuo vandens. Iš dalies debesuotomis dienomis nuo debesų gautas panašus atspindys, kaip ir nuo saulės (18 pav. b).



18 pav. Drono ortofoto prie skirtingo debesuotumo Platelių ežere

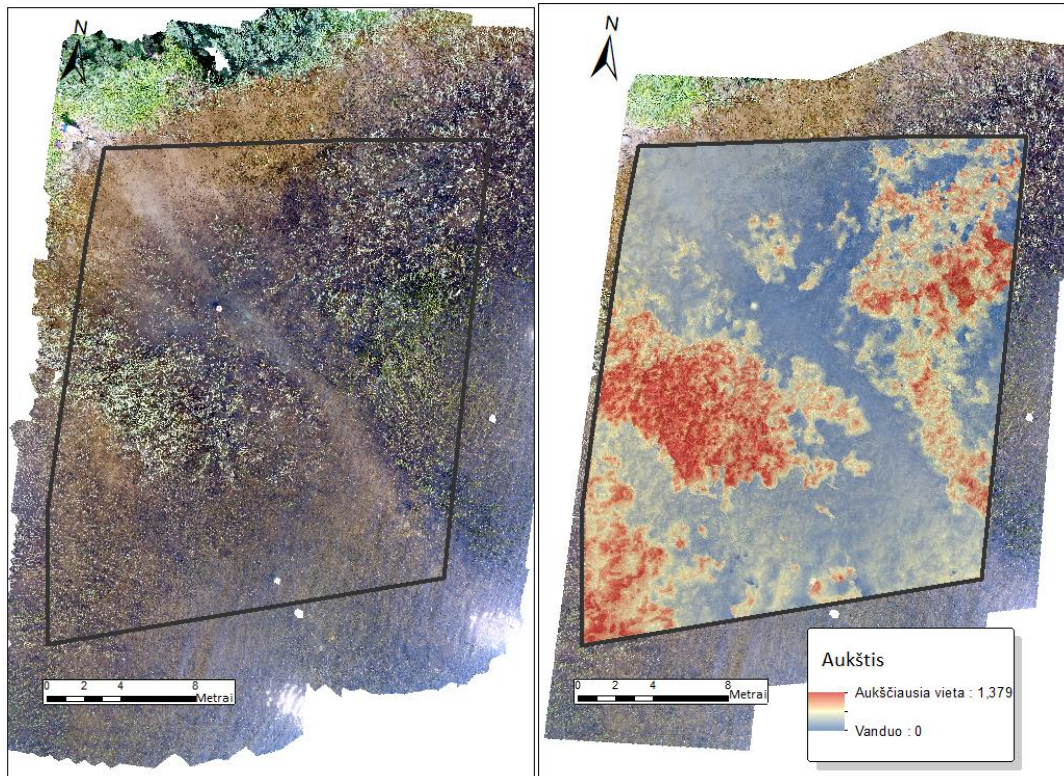
Netinkamo paros laiko pasirinkimas (19 pav. a) lėmė iki 60% vaizdinių duomenų praradimą dėl saulės atspindžių, ypač esant stipriam vandens bangavimui. Pasirinkus tinkamą skrydžio kampą ir laiką, saulės atspindžio efektas gali būti sumažintas iki 0.



19 pav. Saulės azimuto ir padėties per dieną pokyčių grafikas (2018 m. birželio 14 d. Klaipėdoje): (a) saulės atspindžio paveikta nuotrauka (59% ploto); (b) saulės atspindžio nepaveikta nuotrauka

### 3.2. Nendrių tūrio, ploto ir kiekio pokytis skirtingais laikotarpiais

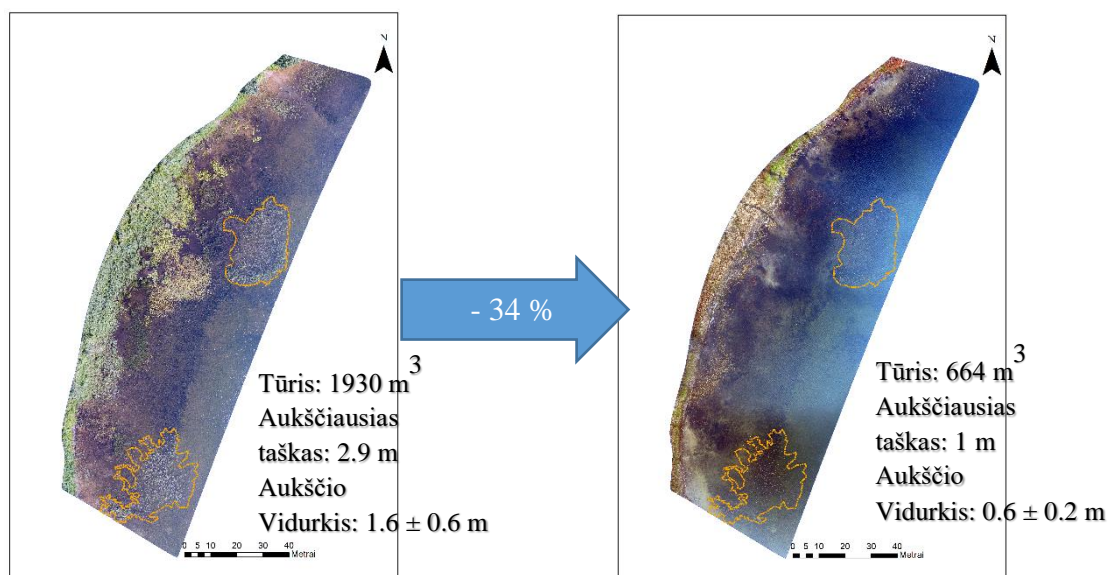
Paviršiaus aukščio modeliai ir liniuote matuoti rezultatai buvo panašūs. Teritorijoje realus nendrių aukštis buvo apie 1,2–1,4 m, tai matoma ir iš paviršiaus aukščio modelio (20 pav. , b). Paviršiaus modelyje regimos didesnės reikšmės vietos, kuriose buvo šiek tiek banguota, dėl šios priežasties toliau skaičiuojant tūrius ir plotus neatsižvelgta į aukščius, žemesnius nei 0,1 m 22 pav. .



20 pav. nuotrauka sudaryta iš 10 m aukščio (4 mm erdvinė rezoliucija) (a) ir galutinis helofitų aukščių modelis (b)

Visas juodai apibrėžtos teritorijos plotas 520 m<sup>2</sup>. Gautas 221 m<sup>2</sup> plotas, kurį užima tik paviršiniai augalai. Makrofitų teritorijoje apskaičiuotas tūris buvo 201 m<sup>3</sup>, kur aukščiausia vieta siekė 1,38 m. Iš šių rezultatų galima teigti, kad tūrio matavimai yra gana tikslūs, tačiau tankiose nendrių teritorijose reikšmės interpoliuojamos ir gali būti prarasta tarp nendrių esanti informacija.

Toliau tūris ir plotai skaičiuoti didesnei teritorijai, kurioje buvo pjaunamos nendrės. Plotai, kurių pokytis buvo matuojamas pažymėti oranžine punktyrine linija 21 pav.



21 pav. Nendrių tūrio ir tankio pokytis tarp liepos 17 d. (a) ir lapkričio 11 d. (b)

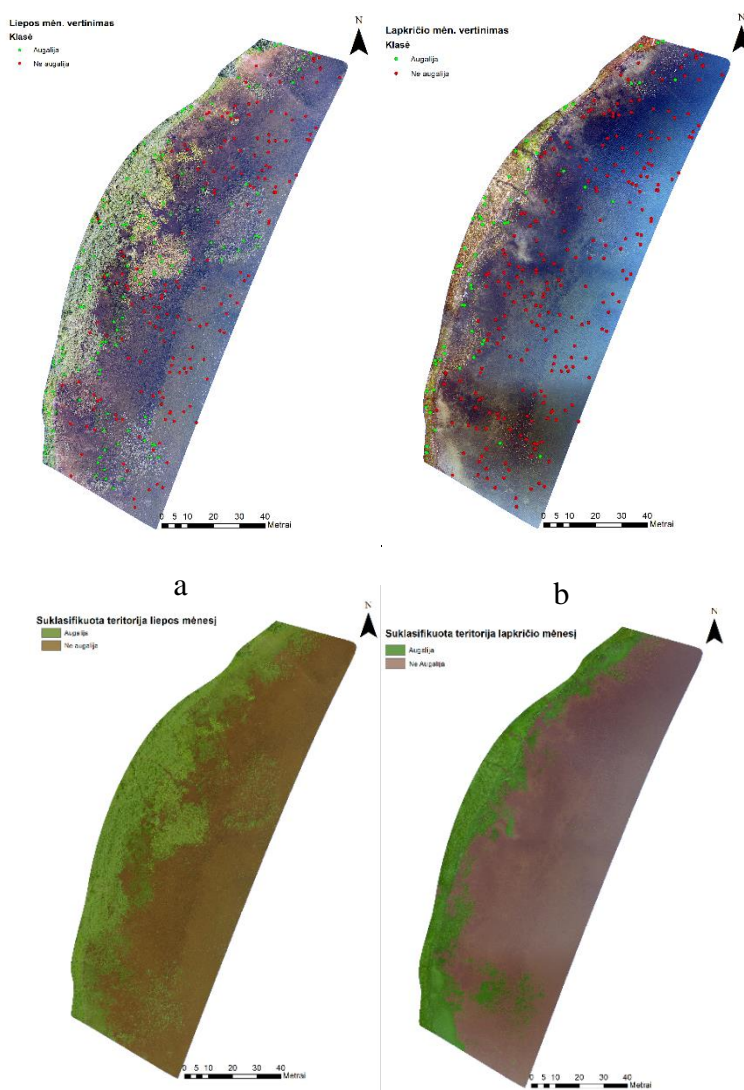
Iš pirmo žvilgsnio vizualiai matomas nendrynų pokytis tarp prieš pjovimo darbus atliktų teritorijų ir po jų. Bendrai abiejų plotų tūris sumažėjo nuo 1930 m<sup>3</sup> iki 664 m<sup>3</sup> ir vidutiniai aukščiai nuo 1,6 m iki 0,6 m. Nendrių skaičius plotuose sumažėjo vidutiniškai nuo  $5,2 \pm 1$  iki  $1,6 \pm 1$  vienetų į kvadratinį metrą. Akivaizdu, kad nendrių pjovimo darbai buvo veiksmingi biomasės sumažinimui, tačiau reikalingi ilgamečiai duomenys, kad būtų galima patikrinti, kiek įtakos nendrių pokyčiui turėjo sezono kaita ir kokie nendrių kiekiai ataugo kitais metais.

### 3.3. Makrofitų atpažinimo tikslumas tarp *in situ*, palydovų ir drono nuotraukų duomenų

#### 3.3.1. Automatinis klasifikavimas

Vasaros nuotraukoje (22 pav. a) matoma gerai išsivysčiusi helofitų juosta, kur pakrantėje gausu nendrių, lelijų ir meldų. Toliau nuo kranto išsiskiria du nendrynų plotai. Nuotraukoje yra taškų nepriskirtų augalijai, kurie vizualiai atrodo esantys makrofitų sąžalynuose, tačiau šie taškai patenka į tarpus tarp makrofitų arba yra virš panirusių makrofitų. 1 1073 m<sup>2</sup> klasifikuotame plote vasarą augalija užėmė 4268 m<sup>2</sup>. Iš 300 taškų 245 taškai buvo suklasifikuoti teisingai, tai yra 81,7% tikslumu.

Rudens nuotraukoje (22 pav. b) helofitų juosta reikšmingai sumažėjo. Pakrantėje matomi tik nedideli plotai nuvytusių nendrynų, o toliau nuo kranto pavienės nuvytusios nendrės, kurios taip pat buvo priskirtos augalijos klasei. Bendras helofitų plotas sumažėjo iki 2567 m<sup>2</sup>. Rudens klasifikacijos rezultatas gautas geresnis – 92% (276 teisingai klasifikuotų taškų iš 300).

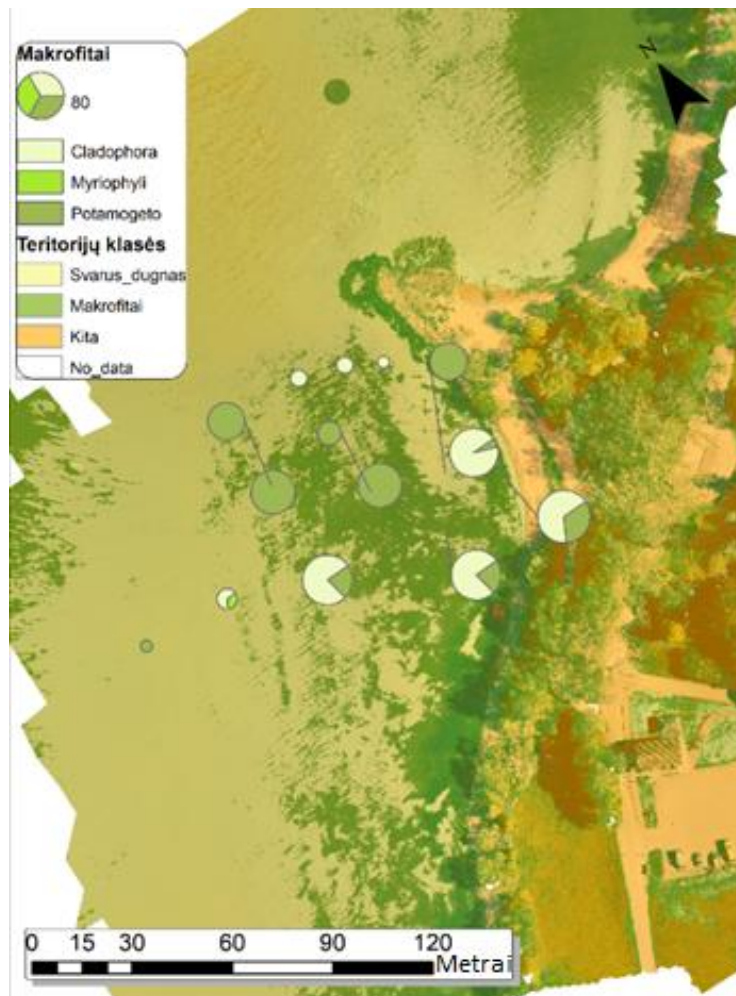


22 pav. Platelių ežero vasaros (a) ir rudens (b) suklasifikuoti žemėlapiai (apačioje) ir atsitiktinai paimti vertinimo taškai (viršuje)

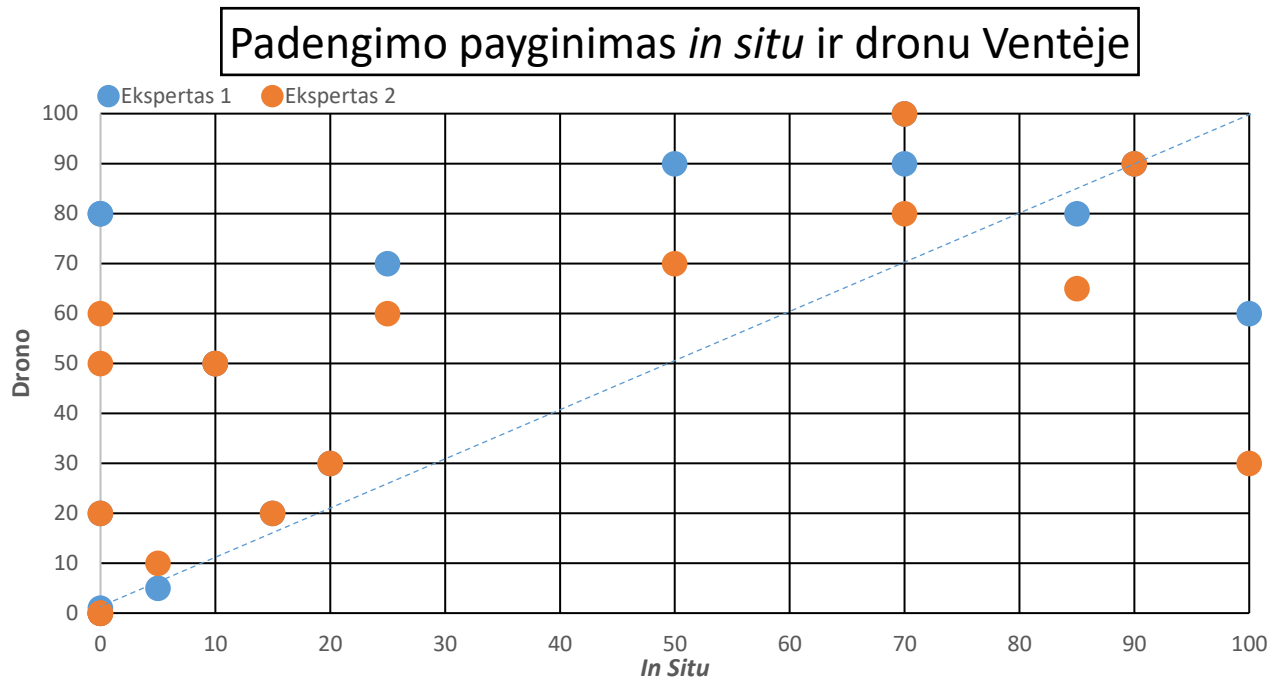
### 3.3.2. Palyginimas su *in situ* duomenimis

Ventėje, vertinant makrofitus *in situ*, arčiau kranto, sekliose vietose dominavo *Cladophora glomerata*, toliau nuo kranto didesnę vandens augalų dalį sudarė *Potamogeton perforliatus*. *Myriophyllum spicatum* buvo pavieniai (23 pav. ). Iš 22 *in situ* taškų 16 dugnas buvo padengtas makrofitais, suklasifikuotame žemėlapyje makrofitai buvo aptikti 15 taškų (aptikimo tikslumas – 93.75%).

Vertinant makrofitų padengimą iš drono vaizdų ir *in situ* matavimų gauta 0,68 ir 0,73 koreliacija tarp skirtingų ekspertų. Didžiausi skirtumai buvo ten, kur padengimas *in situ* buvo >90%, taip pat ten kur makrofitų padengimas <30%. Dronu vertinti rezultatai daugiausia buvo pervertinti, lyginant su *in situ*.



23 pav. Taškai, kuriuose buvo atlikti *in situ* matavimai



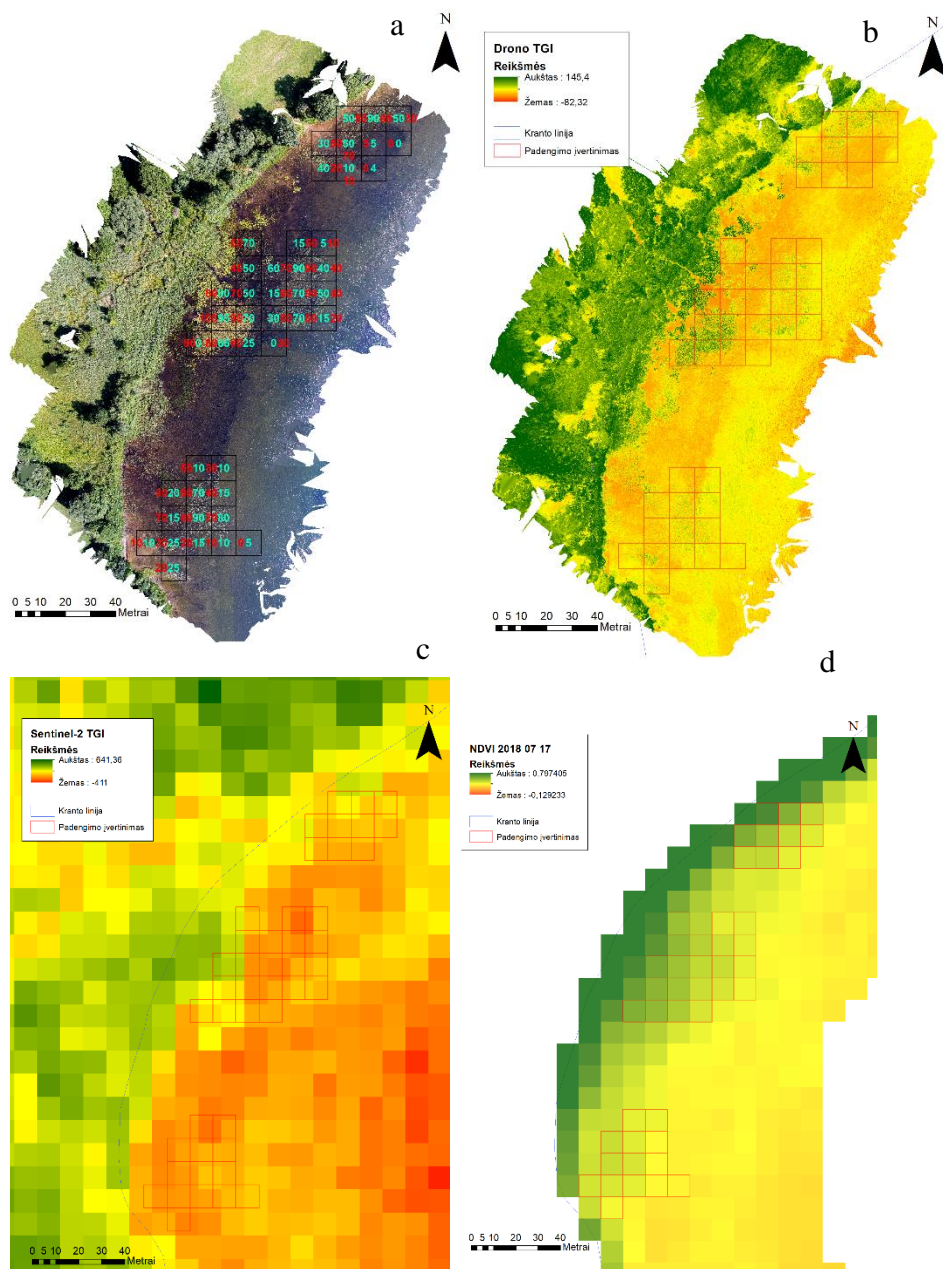
24 pav. Bendro makrofitų padengimo įvertinimo palyginimas tarp *in situ* ir su dronu

### 3.3.3. Drono ortofoto palyginimas su palydovo duomenimis

Įvertintas makrofitų padengimas pavaizduotas nuotraukoje 25 pav. (a), kur raudona spalva žymi ekspertų vertintus panirusius ir nepanirusius makrofitus, o žydra spalva tik helofitai 2018 liepos 17 d. Vidutinis padengimas tarp vertinimų statistiškai reikšmingai skyrėsi ( $t = -3,3$ ,  $df = 44$ ,  $p < 0,01$ ).

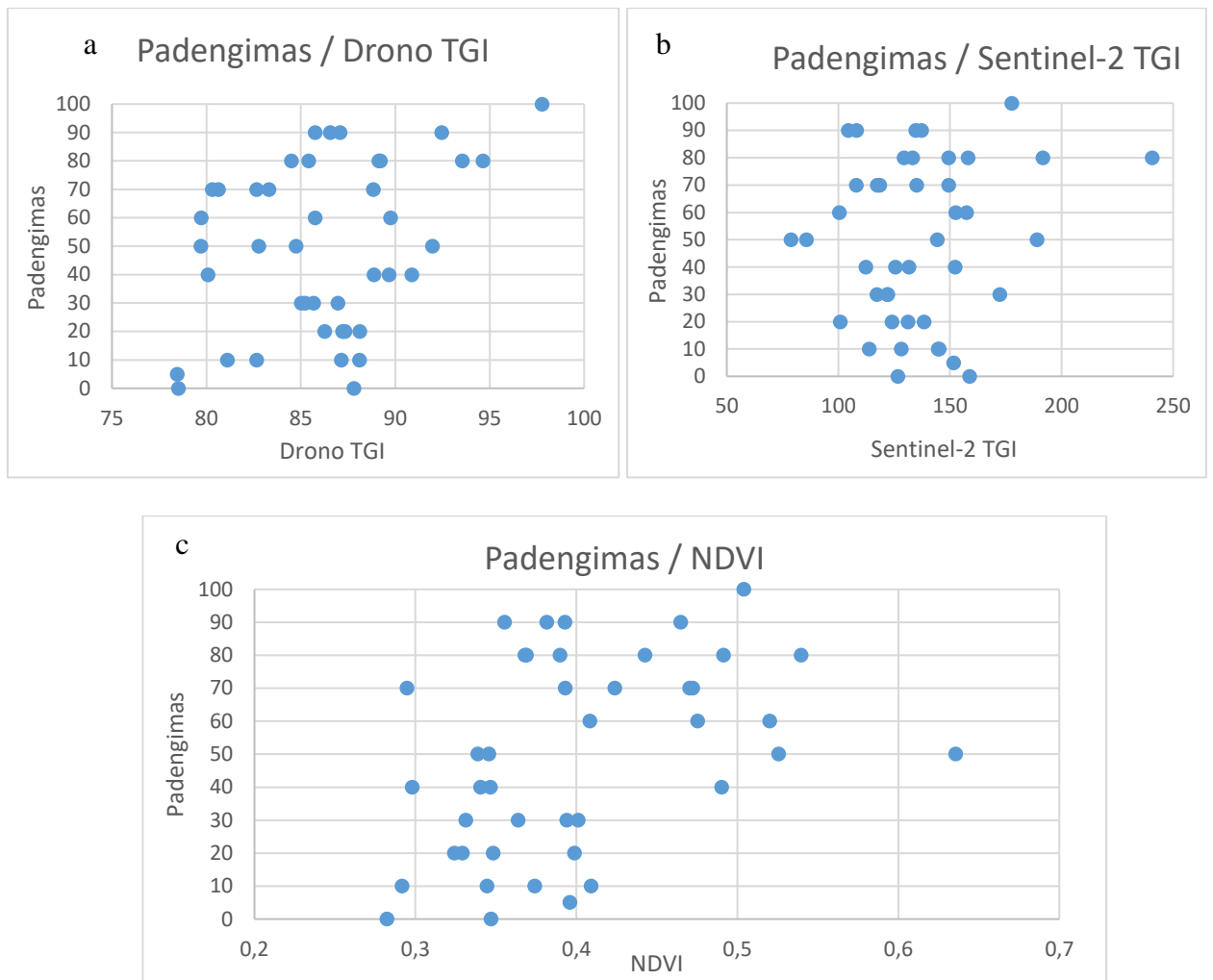
TGI indeksas, apskaičiuotas iš drono ortofoto (25 pav. b), išryškina tas pačias teritorijas kuriose matomi helofitai, tačiau panirusių makrofitų reikšmės yra gerokai mažesnės už 0. Iš sentinel-

2 gauto TGI (25 pav. c) reikšmės stipriai koreliavo su drono TGI. Lyginant TGI indeksą, tiek drono tiek palydovo, su NDVI (25 pav. d) koreliacija buvo sąlyginai mažesnė.



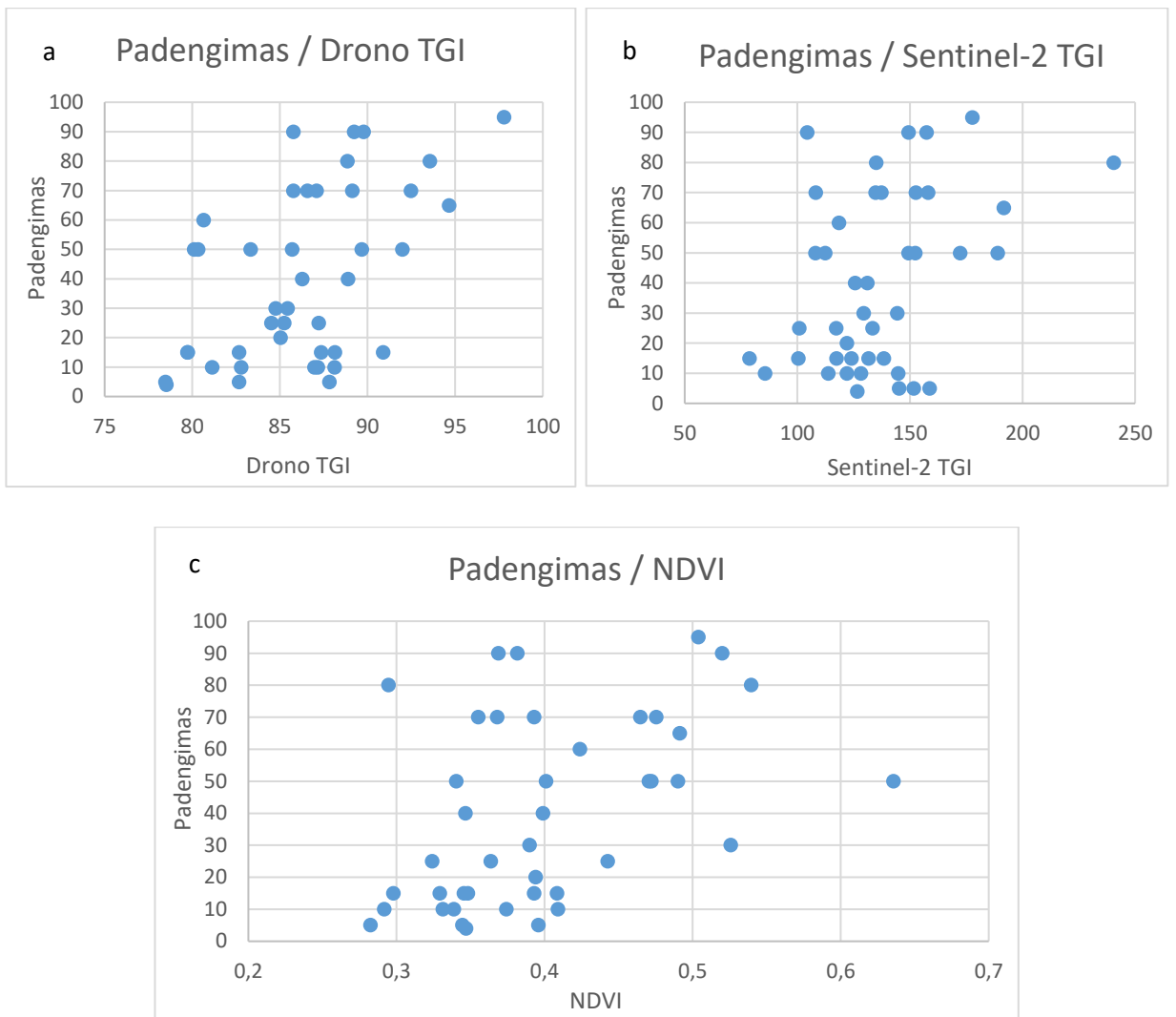
25 pav. Platelių teritorijos (a) RGB vaizdas, (b) TGI gautas iš drono, (c) TGI iš sentinel-2, (d) NDVI iš sentinel-2

Lyginant ekspertų įvertintą makrofitų padengimą ir apskaičiuotus indeksus stipriausia koreliacija ( $r_s = 0,68$ ) gauta su iš drono nuotraukos gautu TGI (26 pav. a). Ten kur TGI buvo nuo 78 iki 88 reikšmės dažniau atitiko mažą padengimą (0-30%) makrofitais, o TGI reikšmėms daugiau negu 88 padengimas buvo labai didelis (80-100%). Silpniausia koreliacija ( $r_s = 0,11$ ) gauta su padengimu ir Sentinel-2 TGI (26 pav. b). NDVI priklausomybė nuo padengimo (26 pav. c) buvo silpna –  $r_s = 0,44$ . NDVI reikšmėms esant nuo 0,28 iki 0,4 aiškiau rodė 0-40% padengimą, o NDVI reikšmėms esant daugiau negu 0,4 padengimas daugiausia svyravo nuo 60% iki 100%.



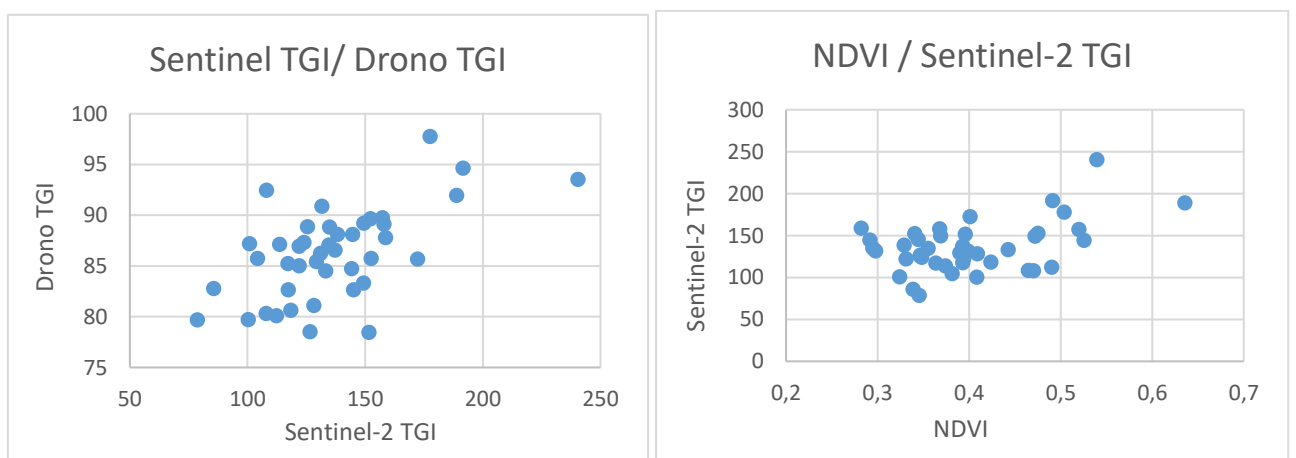
26 pav. Panirusių ir išnirusių makrofitų padengimo palyginimas su drono TGI (a), Sentinel-2 TGI (b) bei NDVI (c)

Vertinant tik vandens paviršiuje esančius helofitus ryšys buvo nedaug silpnesnis. Tarp padengimo ir drono TGI (27 pav. a) koreliacija išliko stipriausia ( $r_s = 0,4$ ), tačiau nedaug skyrėsi ir NDVI bei makrofitų padengimo (27 pav. b) koreliacija ( $r_s = 0,38$ ), kuri smarkiai išaugo nuo lyginimo įtraukiant ir panirusius makrofitus. Koreliacija tarp sentinel-2 TGI (27 pav. c) sumažėjo beveik per pusę iki  $r_s = 0,23$ .



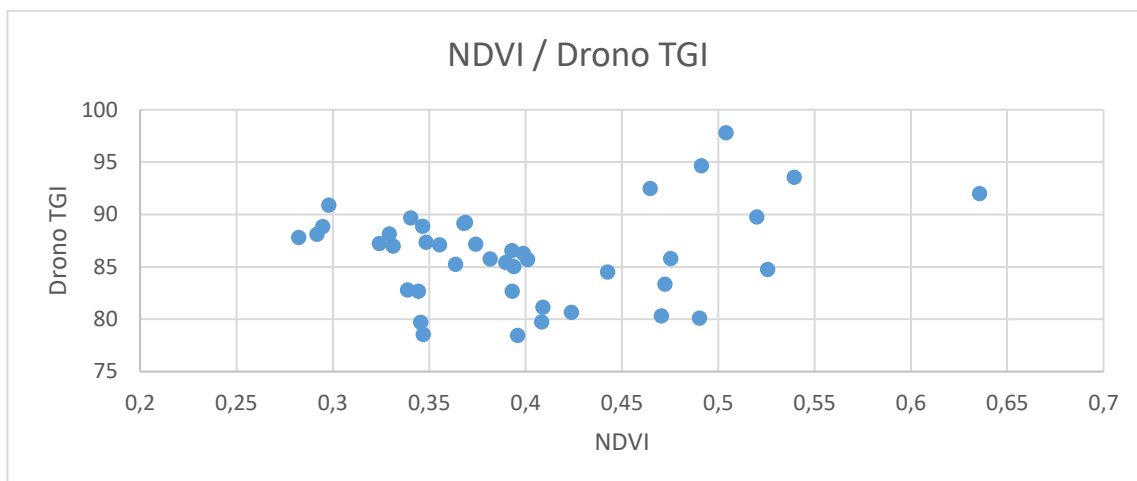
27 pav. Helofitų padengimo palyginimas su drono TGI (a), Sentinel-2 TGI (b) bei NDVI (c)

Lyginant indeksus tarpusavyje stipriausia koreliacija rodo drono ir sentinel-2 TGI ( $r_s = 0,55$ ). NDVI ir sentinel-2 koreliacija buvo  $r_s = 0,3$ .



28 pav. Sentinel TGI ir drono TGI (a) bei NDVI ir sentinel-2 TGI (b) indeksų ryšys

Silpniausia ryšį parodė NDVI ir drono TGI koreliacija –  $r_s = 0,04$ .



29 pav. NDVI ir drono TGI indeksų ryšys

Taip pat koreliacija tikrinta ir su rudenį sudarytomis ortofoto bei palydovo vaizdais, tačiau ryšys tarp visų indeksų ir panirusių bei nepanirusių makrofitų padengimo buvo silpnas ( $r_s$  svyravo nuo -0,04 iki 0,25) ir statistškai nereikšmingas ( $p > 0,05$ ), kaip ir koreliacija tarp helofitų ( $r_s$  svyravo nuo 0,03 iki 0,17).

## TYRIMO REZULTATŲ APITARIMAS

Šiame darbe ortofoto kokybė ir sudarymas, vertinant makrofitus, priklausė nuo hidrometeorologinių sąlygų: vėjo greičio, debesuotumo, saulės pakilimo kampo. Vėjo sukeltas bangavimas turėjo didžiausią poveikį, kadangi nuotraukose bangavimo efektas sudarė sulietus vaizdus, kurių neįmanoma pakoreguoti, skirtingai negu saulės atspindžio, kuriam pritaikius tinkamą skrydžio kampą ir laiką, galima gauti makrofitų atpažinimui tinkamas ortofoto. Didžiausia problema išlieka nuotraukų homogeniškumas (išskirtinių taškų trūkumas), ypač gilesnėse vietose. Dėl jo nuotraukos nesujungiamos ir žemėlapyje lieka tušti plotai. Pastarajai problemai išspręsti geriausias būdas yra rankinis nuotraukų prijungimas, tačiau tai reikalauja daug laiko sąnaudų (pagal M. James).

Pagal įvairius tyrimus, makrofitų kartografavimui naudotas drono aukštis svyruoja nuo 30 m iki 150 m (Ventura et al., 2017; Husson et al., 2016). Žemesni skrydžiai dažniausiai buvo naudojami panirusių augalų, makrodumblių ir jūržolių, kartografavimui (Ventura et al., 2017). Tuo tarpu didesni skrydžio aukščiai buvo taikomi kartografuojant išnirusius makrofitus, kur dominavo nendrės (Husson et al., 2016). Šiame darbe helofitų įvertinimas buvo nesunkiai atliktas tiek prie aukštų tiek prie žemų skrydžių, tai patvirtina Husson et al. (2016) rezultatus.

Gautų makrofitų žemėlapių rezoliucija ir apimamas plotas yra daug kartų didesnis negu įprastų (iki 6 skirtingų matavimų, pagal gylį) iki šiol naudotų makrofitų monitoringo būdų (Sinkevičienė ir kt. 2006). Tai dronus daro naudingus tyrimams, žinant sąlyginai nedidelę jų kainą ir galimybę stebėti aplinką jos nepažeidžiant. Palyginimui 12 pav. vaizduojama Platelių ežero tyrimo vietos ortofoto nuotrauka (30 pav. a) sudaryta lėktuvu 2013, kurios erdvinė rezoliucija yra 0,5 m pikselyje. Šalia pavaizduotas ir sentinel-2 10 m rezoliucijos vaizdas (30 pav. b). Nors rezoliucija iš lėktuvo pakankama makrofitų plotams įvertinti, tačiau duomenų pasikartojimas yra retas : 1995-1999, 2005, 2009, 2012, 2015 (geoportal.lt). Tiesiogiai sentinel-2 vaizdų panaudojimas įvertinant makrofitų plotus nėra pakankamas, dėl prastos rezoliucijos, tačiau dominuojančių makrofitų (nendrių) plotai gali būti kartografuojami viso telkinio teritorijoje.



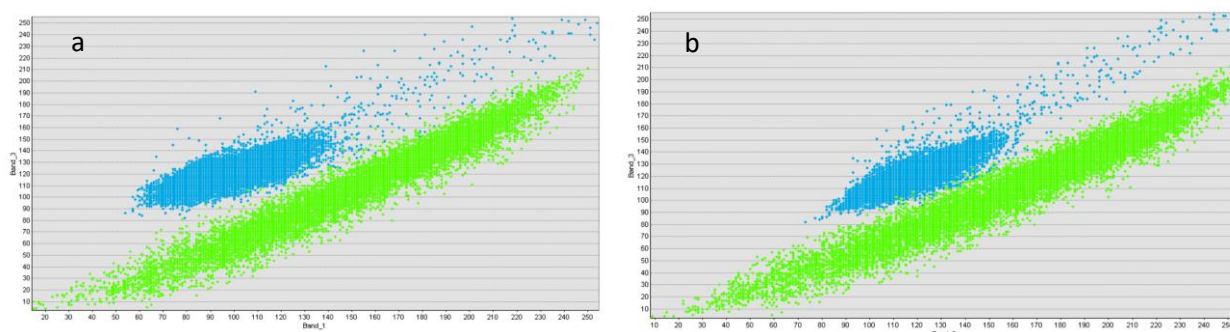
30 pav. kairėje ORT10LT iš lėktuvo sudarytos ortofoto Platelių ežere (2013 m., [geoportal.lt](http://geoportal.lt)), dešinėje sentinel-2 RGB vaizdas

Mokslinėje literatūroje nepavyko aptikti drono panaudojimo vertinant nendrynų pjovimo efektyvumą, todėl šiame tyrime pirmą sykį buvo vertintas nendrynų pokytis pagal nendrių aukštį, tūrį ir gausumą. Visi šie parametrai parodė reikšmingą nendrynų pjovimo darbų poveikį Platelių ežere. Nendrių gausumui įvertinti reikia daugiau darbo sąnaudų (reikalingas eksperto vizualinis vertinimas), lyginant su nendrių aukščio ir tūrio įvertinimu, kuris atliekamas naudojant GIS funkcijas. Tūrio apskaičiavimui duomenys tarp nendrių yra interpoliuojami, kadangi iš vaizdo sunku gauti aukščius esančius tarp nendrių. Norint gauti tikslesnius tūrio matavimo duomenis, reikalingi aukščio koordinatinių matavimai, kurie nebuvo atlikti šiame darbe. Taip pat tūrio ir plotų skaičiavimo rezultatų pagerinimui, kaip minima daugelio straipsnių autorių (Casado et al., 2015), vertėtų padidinti KT taškų kiekį, tiek patikslinti koordinatėms, tiek kontroliniams taškams. Taip pat verta investuoti į geresnę kompiuterinę ar programinę įrangą, kadangi nuotraukų sujungimas fotogrametrijos būdais užima daug laiko (nuo kelių iki keliasdešimties valandų).

*In situ* metodas vis dar išlieka tiksliausias atpažįstant makrofitus, tačiau dronu gauta informacija buvo surinkta greičiau ir apėmė didesnę plotą. Pavyzdžiui *in situ* 50m atstumu nuo kranto transekta apima apie 500 m<sup>2</sup>, tuo tarpu su dronu tam pačiam atstumui skrendant 40 m aukštyje galima kartografuoti 40 000 m<sup>2</sup>. Vertinant helofitus galima skristi dar aukščiau (iki 150 m) ir apimti plotus iki 100 000 m<sup>2</sup> (Husson et al., 2016). Nors kai kurioms monitoringo užduotims dronas yra gera priemonė, šiuo metu plačiai taikomi ir palydovai, dėl jų plataus bangų spektro ir apimamos teritorijos

(Dogliotti et al., 2018). Todėl panaudojus abu metodus galima išgauti daugiau informacijos apie makrofitus tiek teritorijos dydžio atžvilgiu tiek rūšių atpažinimu.

Automatinio klasifikavimo rezultato tikslumas buvo pakankamai geras (82-92%) tolimesniam jo naudojimui, tačiau Platelių ežere buvo klasifikuotos tik dvi klasės kurių mėlynojo ir žaliojo spektro (31 pav. b), bei raudono ir mėlyno spektro ryšys (31 pav. a) skiriasi, dėl to šių zonų klasteriai lengviau atskiriami. Daugiausia klasifikavimo neatitikimų lėmė vietos, kur matomos bangos, vietos tarp makrofitų ir seklios zonos; šios vietos klaidingai atpažintos kaip makrofitai. Rudenį automatinis klasifikavimas buvo geresnis nei vasarą, tikriausiai dėl sumažėjusių makrofitų augimviečių. Nendrynai ir pavienės nendrės buvo gerai suklasifikuoti, tačiau nuvytusių makrofitų (meldų) aptikimas buvo silpnesnis. Klasifikavimo tikslumui pagerinti ateityje reiktų naudoti platesnio spektro kamerą, kuri padidintų atskyrimą suteikdama daugiau duomenų.



31 pav. Kairėje santykis tarp raudono (*band\_1*) ir mėlyno (*band\_3*) spektro, o dešinėje tarp žalio (*band\_2*) ir mėlyno. Mėlyni taškai rodo vandens pikselius, o žali makrofitų.

Lyginant automatinio klasifikavimo rezultatus su *in situ* makrofitų aptikimu, rezultatai taip pat buvo labai geri (94% tikslumas). Dviem ekspertams vertinant padengimą procentais tose pačiose vietose tarp drono vaizdų ir *in situ* matavimų buvo gautas geras sutapimas ( $r_s = 0,68$  ir  $0,73$ ). Padengimo įvertinimo netikslumai galėjo atsirasti dėl vertintojų matymo lauko ir telefone esančio GPS koordinatinių netikslumo (iki 5 m paklaida). Įvertinimo paklaidos didžiausios arti makrofitų augimvietės pabaigos, kur koordinatėms nukrypstant net 1 metrą rezultatai gali smarkiai pasikeisti. Priklausomai nuo gylio ekspertų matymo kampas keitėsi vertinant makrofitų padengimą, tuo tarpu iš ortofoto vertinta teritorija visada apibrėžta tiksliai (5 metrų spinduliu).

Vertinant padengimą ir indeksus gautos vidutinio stiprumo koreliacijos. Sentinel-2 TGI reikšmės buvo daug didesnės negu drono TGI dėl sentinel radiometrinės rezoliucijos, kuri yra aukštesnė (12-bit) ir vienos spektrinės juostos reikšmės siekia nuo 0 iki 4095, o drono (8-bit) reikšmės buvo nuo 0 iki 255. Nepaisant to, tarp sentinel-2 TGI ir drono TGI buvo ryšys ( $r_s = 0,55$ ). TGI reikšmės didesnės už nulį rodo aukštesnį chlorofilo kiekį, o žemesnės – vystančią arba neegzistuojančią augaliją, dirvožemį ir kitą (McKinnon T., McKinnon P. 2017). NDVI su padengimu koreliavo mažiausiai ( $r_s = 0,11$ ), kadangi šis indeksas labiau naudojamas augalijos būklės įvertinimui,

o ne padengimui (Tong Q., et al., 2014). Vertinant tik helofitus ryšys buvo didesnis ( $r_s = 0,38$ ), iš ko galima teigti, kad NDVI nepilnai įvertina panirusių makrofitų padengimą. Bendri rezultatai rodo, kad drono TGI yra tinkamesnis indeksas vertinti augalijos padengimui, bet rezultatus būtų galima pagerinti naudojant platesni bangų spektrą (Tong Q., et al., 2014).

Nagrinėtoje mokslinėje literatūroje nebuvo daug panašių tyrimų kaip atlikti šiame darbe, kadangi nėra vieningo darbo protokolo kartografuojant makrofitus dronu. Šiame darbe sudaryta darbo eiga leidžia tiksliai išmatuoti paviršiuje esančių makrofitų plotus ir tūrį, tačiau panirusius arba šešėlyje esančius makrofitus atpažinti sunkiau ir šiam tikslui reikalingi kiti tyrimo metodai, pavyzdžiui akustiniai (Bučas et al., 2016).

## IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Tinkamiausios oro sąlygos ortofoto sudarymui buvo vėjo greičiui esant iki  $5 \text{ m s}^{-1}$ , visiškai debesuotu arba giedru dangumi. Tam, kad būtų mažesnis saulės atspindis nuo vandens, patartina skristi saulės švietimo kampu (link saulės arba nuo jos), taip pat, kai saulė yra kuo aukščiau horizonto. Makrofitų rūšių ir plotų atpažinimui tinkamiausias aukštis – 40 m.
2. Naudojant drono ortofoto buvo įvertintas reikšmingas nendrynų sumažėjimas po nendrių pjovimo darbų: bendras tūris 2018 m. liepos 19 d. apskaičiuotas  $1930 \text{ m}^3$ , po nendrių pjovimo 2018 m. lapkričio 8 d. tūris sumažėjo 66%, gausumas – 69% ir aukštis – 63%. Remiantis šiais rezultatais galima teigti, kad nendrių pjovimas buvo veiksmingas.
3. Gauti rezultatai iš drono ir sentinel-2 vaizdų rodo jų tinkamumą kartografuojant makrofitus:
  - Iš drono vaizdų (Paltelių ežere ir Ventėje) suklasifikuotų makrofitų aptikimas buvo 90%;
  - Padengimo įvertinimas su *in situ* vertinimais turėjo stiprų ryšį ( $r_s > 0,68$ ), o padengimo ir TGI bei NDVI indeksų koreliacija buvo vidutinė ( $r_s = \sim 0,5$ ).
  - TGI ryšys buvo stipresnis tarp panirusių makrofitų negu vertinant vien helofitus, skirtingai negu NDVI kuris parodė didesnę ryšį vertinant helofitus.

Kadangi vizualus vertinimas yra panašaus tikslumo kaip vertinimas pasitelkiant augalijos indeksus iš drono, jo taikymas gali reikšmingai pagerinti (apimti didesnę plotą) makrofitų monitoringą.

## LITERATŪRA

### Straipsniai iš mokslo žurnalų ir tęstinių leidinių:

1. Atzberger, C. 2013. *Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs*. Remote Sens. 5, 949–981.
2. Baldwin, D.; Manfreda, S.; Keller, K.; Smithwick, E.A.H. 2017 *Predicting root zone soil moisture with soil properties and satellite near-surface moisture data at locations across the United States*. J. Hydrol. 546,393–404.
3. Balevičiūtė A., Vateikis D. *Renatūralizacijos pokyčiai Lietuvos kraštovaizdyje 1995–2010 metais*. Vilniaus Universitetas. DOI: 10.6001/geografija.v48i2.2543
4. Bandini, F.; Butts, M.; Jacobsen Torsten, V. Bauer-Gottwein, P. 2017. *Water level observations from unmanned aerial vehicles for improving estimates of surface water–groundwater interaction*. Hydrol. Process. 31, 4371–4383.
5. Bučas, M., Šaškov, A., Šiaulys, A., Sinkevičienė, Z. 2016. *Assessment of a simple hydroacoustic system for the mapping of macrophytes in extremely shallow and turbid lagoon*. Aquatic Botany 134: 39–46.
6. Casado M.R., González R.B., Kriechbaumer T., Veal A. 2015. *Automated identification of river hydromorphological features using UAV high-resolution imagery*. Sensors. <https://doi.org/10.3390/s151127969>
7. Casado M.R., González R.B., Ortega J.F., Leinster P., Wright R. 2017. *Towards a Transferable UAV-Based Framework for River Hydromorphological Characterization*. Sensors. doi:10.3390/s17102210
8. Chabot D., Dillon C., Ahmed O., Shemrock A. 2017. *Object-based analysis of UAS imagery to map emergent and submerged invasive aquatic vegetation: a case study*. DOI: 10.1139/juvs-2016-0009
9. Civilinės aviacijos administracija. *Įsakymas dėl bepiločių orlaivių naudojimo taisyklių patvirtinimo*. 2014, Vilnius.
10. D. Ventura, A. Bonifazi, M.F. Gravina, G.D. Ardizzone, *Unmanned Aerial Systems for Environmental monitoring*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69598>
11. D’Addabbo, A.; Refice, A.; Pasquariello, G.; Lovergine, F.; Capolongo, D.; Manfreda, S. 2016. *Bayesian Network for Flood Detection Combining SAR Imagery and Ancillary Data*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 54, 3612–3625.
12. Detert, M.; Johnson, E.D.; Weitbrecht, V. 2017. *Proof-of-concept for low-cost and non-contact synoptic airborne river flow measurements*. Int. J. Remote Sens. 38, 2780–2807.

13. Dogliotti A., Gossn J., Vanhellefont Q., Ruddick K. 2018. *Detecting and Quantifying a Massive Invasion of Floating Aquatic Plants in the Río de la Plata Turbid Waters Using High Spatial Resolution Ocean Color Imagery.*, <https://doi.org/10.3390/rs10071140>
14. Dubikaitytė V. 2012. *Žemės ūkio paskirties žemės plotų kaita ir būklė Lietuvoje*. Aleksandro Stulginskio universitetas.
15. Duffy J.P., Pratt L., Anderson K., Land P.E., Shutler J.D. 2017. *Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.001.
16. Ferreira, E.; Chandler, J.; Wackrow, R.; Shiono, K. 2017. *Automated extraction of free surface topography using SfM-MVS photogrammetry*. *Flow Meas. Instrum.* 54, 243–249.
17. Gago, J.; Douthe, C.; Coopman, R.; Gallego, P.; Ribas-Carbo, M.; Flexas, J.; Escalona, J.; Medrano, H. 2015. *UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture*. *Agric. Water Manag.* 153, 9–19.
18. Getzin, S.; Nuske, R.S.; Wiegand, K. 2014. *Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests*. *Remote Sens.*, 6, 6988–7004.
19. Gillespie, T.W.; Chu, J.; Frankenberg, E.; Thomas, D. 2007. *Assessment and Prediction of Natural Hazards from Satellite Imagery*. *Prog. Phys. Geogr.* 31, 459–470.
20. Heblinski, J., Schmieder, K., Heege, T., Agyemang, T.K., Sayadyan, H., Vardanyan, L. 2010. *High-resolution satellite remote sensing of littoral vegetation of Lake Sevan (Armenia) as a basis for monitoring and assessment*. *Hydrobiol.*, 661, 97-111.
21. Hedley, J., Enríquez, S. 2010. *Optical properties of canopies of the tropical seagrass Thalassia testudinum estimated by a three-dimensional radiative transfer model*. *Limnol. Oceanogr.*, 55, 1537-1550.
22. Helman D. 2018. *Land surface phenology: What do we really 'see' from space* *Sci. Total Environ.* 618, 665–673.
23. Helman, D.; Givati, A.; Lensky I.M. 2015. *Annual evapotranspiration retrieved from satellite vegetation indices for the Eastern Mediterranean at 250 m spatial resolution*. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 12567–12579.
24. Helman, D.; Lensky, I.M.; Osem, Y.; Rohatyn, S.; Rotenberg, E.; Yakir, D. 2017. *A biophysical approach using water deficit factor for daily estimations of evapotranspiration and CO<sub>2</sub> uptake in Mediterranean environments*. *Biogeosciences*, 14, 3909–3926.
25. Hmimina, G.; Dufrene, E.; Pontauiller, J.Y.; Delpierre, N.; Aubinet, M.; Caquet, B.; de Grandcourt, A.S.; Burban, B.T.; Flechard, C.; Granier, A. 2013. *Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements*. *Remote Sens. Environ.* 132, 145–158.

26. Husson E. 2016. *Images from unmanned aircraft systems for surveying aquatic and riparian vegetation*. Faculty of Natural Resources and Agricultural Science Department of Aquatic Sciences and Assessment, Uppsala.
27. Husson E., Hagner O., Ecke F. 2013. *Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation*. Applied vegetation science. <https://doi.org/10.1111/avsc.12072>.
28. Johnson, L.F.; Herwitz, S.; Dunagan, S.; Lobitz, B.; Sullivan, D.; Slye, R. 2003. *Collection of Ultra High Spatial and Spectral Resolution Image Data over California Vineyards with a Small UAV*. In *Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Honolulu, Hawaii, 10–14 November; pp. 845–849.
29. Kalmár S. 2012. *Different applications of aerial photography using radio controlled model airplanes*. In: International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint;
30. Koh LP, Wich SA. 2012. *Dawn of drone ecology: Low-cost autonomous aerial vehicles for conservation*. Tropical Conservation Science.;5(2):121-132
31. Long N., Millescamp B., Guillot B., Pouget F., Bertin X. 2016. *Monitoring the topography of a dynamic tidal inlet using UAV imagery*. Remote sensing. <https://doi.org/10.3390/rs8050387>
32. Lu B., He Y. 2017. *Species classification using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired high spatial resolution imagery in a heterogeneous grassland*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.011>
33. Lymburner, L., Botha, E., Hestir, E., Anstee, J., Sagar, S., Dekker, A., et al. 2016. *Landsat 8: providing continuity and increased precision for measuring multi-decadal time series of total suspended matter*. Rem. Sens. Environ., 185, 108-118.
34. Manfreda, S.; Brocca, L.; Moramarco, T.; Melone, F.; Sheffield, J. 2014. *A physically based approach for the estimation of root-zone soil moisture from surface measurements*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, 1199–1212.
35. McGwire, K.C.; Weltz, M.A.; Finzel, J.A.; Morris, C.E.; Fenstermaker, L.F.; McGraw, D.S. 2013. *Multiscale Assessment of Green Leaf Cover in a Semi-Arid Rangeland with a Small Unmanned Aerial Vehicle*. Int. J. Remote Sens. 34, 1615–1632.
36. Orlonas L., Vateikis D. 2016. *Agrarinio kraštovaizdžio sklypinės sąskaidos kaita 1995–2013 m. (Rokiškio rajono savivaldybės pavyzdžiu)*. Lietuvos mokslų akademija.
37. Ortega-Terol D., Hernandez-Lopez D., Ballesteros R., Gonzalez-Aguilera D. 2012. *Automatic Hotspot and Sun Glint Detection in UAV Multispectral Images*. [doi:10.3390/s17102352](https://doi.org/10.3390/s17102352)
38. Otero, V.; Van De Kerchove, R.; Satyanarayana, B.; Martínez-Espinosa, C.; Fisol, M.A.B.; Ibrahim, M.R.B.; Sulong, I.; Mohd-Lokman, H.; Lucas, R.; Dahdouh-Guebas, F. 2018. *Managing mangrove forests from the sky: Forest inventory using field data and Unmanned*

- Aerial Vehicle (UAV) imagery in the Matang Mangrove Forest Reserve, peninsular Malaysia.* For. Ecol. Manag. 411, 35–45.
39. P. Barry, R. Coakley. 2012. *Accuracy of uav photogrammetry compared With network rtk gps.*
  40. Palace M., Herrick C., DelGreco J., Finnell D., John Garnello A., McCalley C., McArthur K., Sullivan F., Varner R.K. 2018. *Determining Subarctic Peatland Vegetation Using an Unmanned Aerial System (UAS).* Remote sensing. <https://doi.org/10.3390/rs10091498>
  41. Perks, M.T.; Russell, A.J.; Large, A.R.G. 2016. *Technical Note: Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs).* Hydrol. Earth Syst. Sci. 20, 4005–4015.
  42. Piero Toffanin, *OpenDroneMap the missing guide.* 2018
  43. Quaritsch, M.; Kruggl, K.; Wischounig-Strucl, D.; Bhattacharya, S.; Shah, M.; Rinner, B. 2010. *Networked UAVs as aerial sensor network for disaster management applications.* Elektrotech. Informationstech. 127, 56–63.
  44. Quilter, M.C.; Anderson, V.J. 2000. *Low altitude/large scale aerial photographs: A tool for range and resource managers.* Rangel. Arch. 22, 13–17.
  45. Sakuno, Y., Kunii, H. 2013. Estimation of growth area of aquatic macrophytes expanding spontaneously in Lake Shinji using ASTER Data.
  46. Shuchman, R.A., Sayers, M.J., Brooks, C.N. 2013. Mapping and monitoring the extent of submerged aquatic vegetation in the Laurentian Great Lakes with multi-scale satellite remote sensing. J. Great Lakes Res., 39, 78-89.
  47. Silva, T.S.F., Costa, M.P.F., Melack, J.M. 2010. Spatial and temporal variability of macrophyte cover and productivity in the eastern Amazon floodplain: a remote sensing approach. Rem. Sens. Environ., 114, 1998-2010.
  48. Sinkevičienė Z., Matulevičiūtė D., Stankevičiūtė J. 2006. *Makrofitų monitoringas upėse ir ežeruose.* Botanikos instituto floras ir geobotanikos laboratorija.
  49. Syvitski, J.P.M.; Overeem, I.; Brakenridge, G.R.; Hannon, M. 2012. *Floods, Floodplains, Delta Plains—A Satellite Imaging Approach.* Sediment. Geol. 267–268, 1–14.
  50. Tang, L.; Shao, G. 2015. *Drone remote sensing for forestry research and practices.* J. For. Res. 26, 791–797.
  51. Tauro, F.; Pagano, C.; Phamduy, P.; Grimaldi, S.; Porfiri, M. 2015. *Large-scale particle image velocimetry from an unmanned aerial vehicle.* IEEE/ASME Trans. Mechatron. 20, 3269–3275.
  52. Tom McKinnon, Paul McKinnon. 2017. *Comparing RGB-Based Vegetation Indices With NDVI For Drone Based Agricultural Sensing.* Agribotix LLC, 3309 Airport Road, Boulder, CO 80301 USA.
  53. Tong Q., Xue Y., Zhang L. 2014. *Progress in Hyperspectral Remote Sensing Science and Technology in China Over the Past Three Decades.*, DOI: 10.1109/JSTARS.2013.2267204

54. Torresan, C.; Berton, A.; Carotenuto, F.; Di Gennaro, S.F.; Gioli, B.; Matese, A.; Miglietta, F.; Vagnoli, C.; Zaldei, A.; Wallace, L. 2017. *Forestry applications of UAVs in Europe: A review*. Int. J. Remote Sens. 38, 2427–2447.
55. Toth V.R. 2018. *Monitoring Spatial Variability and Temporal Dynamics of Phragmites Using Unmanned Aerial Vehicles*. Frontiers in plant science. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00728>
56. Turner D., Lucieer A., Watson C. 2012. *An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds*. Remote Sensing. 2012;4(5):1392-1410. DOI:10.3390/rs4051392
57. Yilmaz, K.K.; Adlerab, R.F.; Tianbc, Y.; Hongd, Y.; Piercebe, H.F. 2010. *Evaluation of a Satellite-Based Global Flood Monitoring System*. Int. J. Remote Sens. 31, 3763–3782.
58. Zarco-Tejada, P.J.; Suarez, L.; Gonzalez-Dugo, V. 2013. *Spatial resolution effects on chlorophyll fluorescence retrieval in a heterogeneous canopy using hyperspectral imagery and radiative transfer simulation*. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 10, 937–941.

**Elektroniniai šaltiniai:**

1. <http://geoawesomeness.com/drone-lidar-or-photogrammetry-everything-your-need-to-know/>
2. <https://www.geoportal.lt/geoportal/>
3. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
4. <http://www.meteo.lt/lt/home>

## PRIEDAI

### Priedas 1

Palankaus laiko be saulės atspindžio, grafiko MatLab kodas. Reikalingi parametrai: data, platuma, ilguma, kameros vaizdo aprėpimo kampas (FOV).

```
% clear;clc
function EA=Sun_glint(data, lat, long, FOV)
% data='7/17/2018'; - data
% lat=55; - ilguma
% long=21; -platuma
% FOV=88; - kameros matymo kampas
LT=0:24; % Local Time (24 valandoms)
v = datevec(data); v0 = v; v0(:,2:3) = 1;
J=datenum(v) - datenum(v0) + 1;
% (1) The hour angle (HRA) is defined as the longitude of the sun, which is
calculated as: LSTM
LSTM= 15*3;% 15 nes 15 laipsniu trunka valanda, 3 nes lietuvos laikas atsilieka 3
valandom nuo GMT (15 konstanta, 3- NE (priklausimai nuo longitudes))
B=360/365*(J-81);
EoT=9.87* sind(2*B)-7.53* cos(B)-1.58* sind(B); %Equation of Time
TC = 4*(LSTM-long)+EoT; % Time Correction. The factor of 4 minutes comes from
the fact that the Earth rotates 1° every 4 minutes.(KONSTANTA)
LST=LT+(TC/60); % Local Solar Time
HRA= 15*(LST-12); %HouR Angle

% (2) SDA solar declination angle. Where is the solar declination angle and
varies from -23.45 deg to +23.45 deg through the year and can be approximated as:
SDA=-23.45 * (cosd(360/365*(J+10)));
% 2) saules pakilimo kampas nuo plokstumos (0-90)elevation engle "EA"
EA= asind((sind(SDA).*sind(lat))+(cosd(SDA).*cosd(lat).*cosd(HRA)));
% 3) Saules kampas nuo tiesiog linijos is plokstumos iki saules 0-90) Zenith
Angle (ZA)
ZA=90-EA;
% (4) Saules lokacija (0-360) Azimute Angle (AZ)
X=HRA;
AZ (X>0)=360-(acosd(((sind(SDA).*cosd(lat))-
cosd(SDA).*sind(lat).*cosd(X(X>0)))/cosd(EA(X>0))));
AZ (X<0)=acosd(((sind(SDA).*cosd(lat))-
cosd(SDA).*sind(lat).*cosd(X(X<0)))/cosd(EA(X<0))));
%=====Tinkamas laikas=====
B=90-(FOV/2);
x=EA';
```

```

g=(x <= B); % palikti tuos kuriu reikia
x(g)=(0); % istrinti kitus
%=====GRAFIKAI=====
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
area(x) %Plotas tinkamam skrydziui
hold on
plot (EA','-p') % Saules pakilimo grafikas
set(gca,'XTick',0:24) % X asis kad butu kas 1
col = AZ; % spalvos azimutui
ylabel('Saules pakilimo kampas (Elevation Angle^{o})') % y-axis labe
yyaxis right
ylabel('Saules azimuto kampas^{o}')
surface([LT+1;LT+1],[AZ;AZ],[col;col],'facecol','no','edgecol','interp','linew',
2); % spalvotas azimutas
xlim([0 24]) % x limitas
ylim([-1 360]) % Y limitas
title('Dronui skristi palankus laikas be sun glint')
xlabel('Laikas (H)') % x-axis label
legend({'Tinkamas laikas','Saules pakilimo kampas',...

'Azimutas:\color{blue}Siaure,\color{cyan}Pietus,\color{green}Rytai,\color{orange}
Vakarai'},...
'Location','northwest')
grid on
hold on
end

```