



Kuriame
Lietuvos ateitį

2014–2020 metų
Europos Sąjungos
fondų investicijų
veiksmų programa



Iš čia kylama
į žvaigždes



Lietuvos
mokslo
taryba

UŽLIEJAMŲ PELKIŲ PLOTŲ TYRIMAS REMIANTIS SENTINEL PALYDOVŲ DUOMENIMIS

Europos socialinio fondo lėšomis pagal priemonę Nr. 09.3.3-LMT-K-712
„Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę
mokslinę veiklą“ finansuoto projekto Nr. 09.3.3-LMT-K-712-09-0101 mokslinė
ataskaita

Vilniaus universiteto
CHGF Geomokslų instituto
Meteorologijos ir hidrologijos
bakalauro studijų
IV kurso studentas
Giedrius Uselis

Darbo vadovas
dr. doc. Edvinas Stonevičius

VILNIUS, 2018

Ivadas

Vandens teritorijų tyrimai naudojantis Sentinel palydovų duomenimis pasaulyje vykdomi jau keleta metų (Yang ir kt., 2017); (Bioresita ir kt., 2018); (Zhou ir kt., 2017); (Xing ir kt., 2018). Tai puiki priemonė įvertinti potvynių pavojų, mastą ir sukeliama materialinę žalą. Dažniausiai palydovinių duomenų pagalba būna analizuojamos upės ir potvynių metu užliejami jų slėniai, tačiau Sentinel palydovų duomenys taikomi nagrinėjant ir kitus hidrologinius objektus. Pelkės – viena iš itin svarbių hidrologinio režimo dalyvių. Intensyvių kritulių laikotarpiu jos sugeria ir savyje laiko itin didelį kiekį vandens, o sausuoju laikotarpiu išdžiūsta. Naudojantis Sentinel palydovų duomenimis galima išskirti užlietas pelkių teritorijas ir labiausiai įmirkusius paviršius. Tai itin svarbi informacija norint geriau suprasti pelkių hidrologinį režimą, jų dalyvavimą vandens apytakoje ir viso to įtaką pelkių ekosistemai.

Vienas iš pelkių tyrimų naudojantis palydoviniais duomenimis buvo vykdomas Turkijoje Sakarbasi pelkėje (Kaplan ir Avdan, 2017). Tyrimui buvo naudojami Sentinel 2 palydovo surinkti duomenys. Naudojantis palydovinių nuotraukų duomenimis buvo vykdomos 3 klasifikacijos: taškinė, objektų ir indeksų. Taškinės klasifikacijos tikslas buvo išskirti pelkės teritoriją iš kitų žemėnaudų. Ši klasifikacija įvykdyta remiantis K-vidurkių metodu, kai nuotraukos taškai yra sugrupuojami remiantis jų atspindžio reikšmėmis. Pritaikius objektų klasifikacijos metodą, pelkės teritorijos buvo suskirstomos į poligonus. Indeksų klasifikacijai buvo pasirinkti 3 indeksai: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index, liet. – normalizuotas augalijos indeksas*), NDWI (*Normalized Difference Water Index, lie. – normalizuotas vandens indeksas*), MSAVI2 (*Modified Soil-adjusted vegetation Index, liet. – modifikuotas, dirvožemiui pritaikytas augalijos indeksas*). Visi indeksai buvo naudojami išskirti įvairių tipų paviršiaus dangą pelkėje. Taškinės klasifikacijos būdu buvo itin sunku atskirti pelkės teritoriją nuo kitų tamsių objektų nuotraukoje. Naudojantis šiuo metodu buvo neįmanoma pelkėje atskirti teritorijų su augalija, nuo atviro vandens ploto. Indeksų klasifikacijos metu buvo nustatyta, kad naudojantis NDVI indeksu, įmanoma atskirti teritorijas visiškai dengiamas augmenijos, nuo teritorijų, kuriuose dalį paviršiaus dengia vanduo. Naudojantis NDWI indeksu buvo atskiriami vandens plotai, nuo kitų žemėnaudų. Nustatyta, kad ribinė indekso reikšmė indikuojanti apie vandens buvimą yra lygi -0.15. NDVI ir MSAVI2 indeksai suteikė informacijos tik apie augmenijos būklę ir raidą pelkėje. NDWI indekso ribinei reikšmei esant 0, nuotraukose išskiriami tik atviri vandens objektai, tuo tarpu ribinei reikšmei esant 0.15, galime išskirti teritorijas kuriose yra vandens ir augmenijos kompozicija. Nors NDVI ir gali suteikti informacijos apie teritorijas kur yra ir vandens, ir augmenijos, dažnai tokios teritorijos gali būti neteisingai klasifikuojamos nes panašiu atspindžiu pasižymi žemėnaudos, kuriose augmenija

skurdi ir nėra vandens. Objektų klasifikacijos metu paaiškėjo, kad vieninteliai objektai turintys panašų atspindį į pelkes ir galintys sukelti klaidas išskiriant pelkių teritorijas buvo miškai ir debesys.

Sentinel 2 palydoviniai duomenys buvo naudojami tiriant Venecijos miesto pakrantės ribos pokytį (Du ir kt., 2016). Per pastaruosius 100 metų jūros lygis prie Venecijos pakilo 23 cm. Tai lėmė vandens objektų plėtimąsi, padažnėjusius potvynius ir jų sukeliamą žalą, todėl buvo svarbu nustatyti paviršinių vandenų pokyčius ir jų esamą būklę. Vandens telkinių riboms nustatyti buvo naudojami MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*, liet. – modifikuotas normalizuotas vandens indeksas) ir NDWI indeksai. Tyrimo metu nustatyta, kad MNDWI indeksas sėkmingiau nei NDWI indeksas identifikavo vandens teritorijas ir atskyrė jas nuo urbanizuotų žemėnaudų. Taip pat MNDWI indekso išskirtos vandens teritorijų ribos buvo detalesnės, nei ribos išskirtos naudojant NDWI indeksą.

Nyderlanduose buvo tiriamas agrokultūros žemėnaudų užliejamumas, naudojantis Sentinel 1 palydovo duomenimis. Buvo analizuojami 6 stebėjimų laukai (Liu, 2016). Tyrimo metu atlikus palydovo užfiksuotų duomenų apdorojimą ir panaudojus pagalbinę dirvožemio drėgnumo, kritulių ir NDVI indekso informaciją, buvo išskirtos teritorijos, kurių paviršiuje yra stovinčio vandens. Tyrimo metu nustatyta, kad sunkumų išskiriant užlietas teritorijas sukelia žemos raiškos Sentinel – 1 palydovo nuotraukos. Jomis neįmanoma išskirti nedidelių užliejamų plotų. Nuotraukų užfiksavimo periodai ne visuomet sutampa su vandens kiekio padidėjimu tiriamoje teritorijoje, todėl ne visuomet pavyksta užfiksuoti drėgniausius periodus analizuojamoje teritorijoje. Taip pat nebuvo atsižvelgta į žmonių ūkinės veiklos įtaką stebėjimų periodo metu, kuri galėjo paveikti paviršiaus šiurkštumo, padengimo žoline augmenija ir kitus faktorius, kurie daro įtaką vandens plotų nustatymo procesui.

Naudojantis Sentinel palydovo duomenimis ir indeksais skirtais vandeniui aptikti, buvo tiriamas Artosios aukštapelkės bei kitų aplinkinių aukštapelkių, žemapelkių ir tarpinio tipo pelkių užliejimas vandeniui ir užliejimo masto kaita laike. Palydovinių duomenų panaudojimas vertinant Artosios pelkės užliejamus plotus yra apsunkintas augalinės dangos. Joje nedaug atviro vandens plotų net ir laikotarpiais kai vandens lygis aukštas. Artosios aukštapelkėje dominuojanti augalinė danga yra kiminai, visoje pelkėje auga retos žemaūgės pušys. Žemapelkėse ir tarpinio tipo pelkėse vyrauja žolinė augmenija, yra krūmynų ir juodalksnynų.

Šio darbo tikslas – įvertinti Sentinel palydovų duomenų tinkamumą vertinant užlietus plotus pelkėse su gausia augalijos danga ir atlikti šių plotų dinamikos analizę : ar tiriamojoje

teritorijoje yra užliejamų pelkės plotų, nurodyti konkrečią jų vietą bei išanalizuoti, kaip užliejamų teritorijų plotas keičiasi priklausomai nuo metų laiko, bei kritulių kiekio.

Darbo uždaviniai:

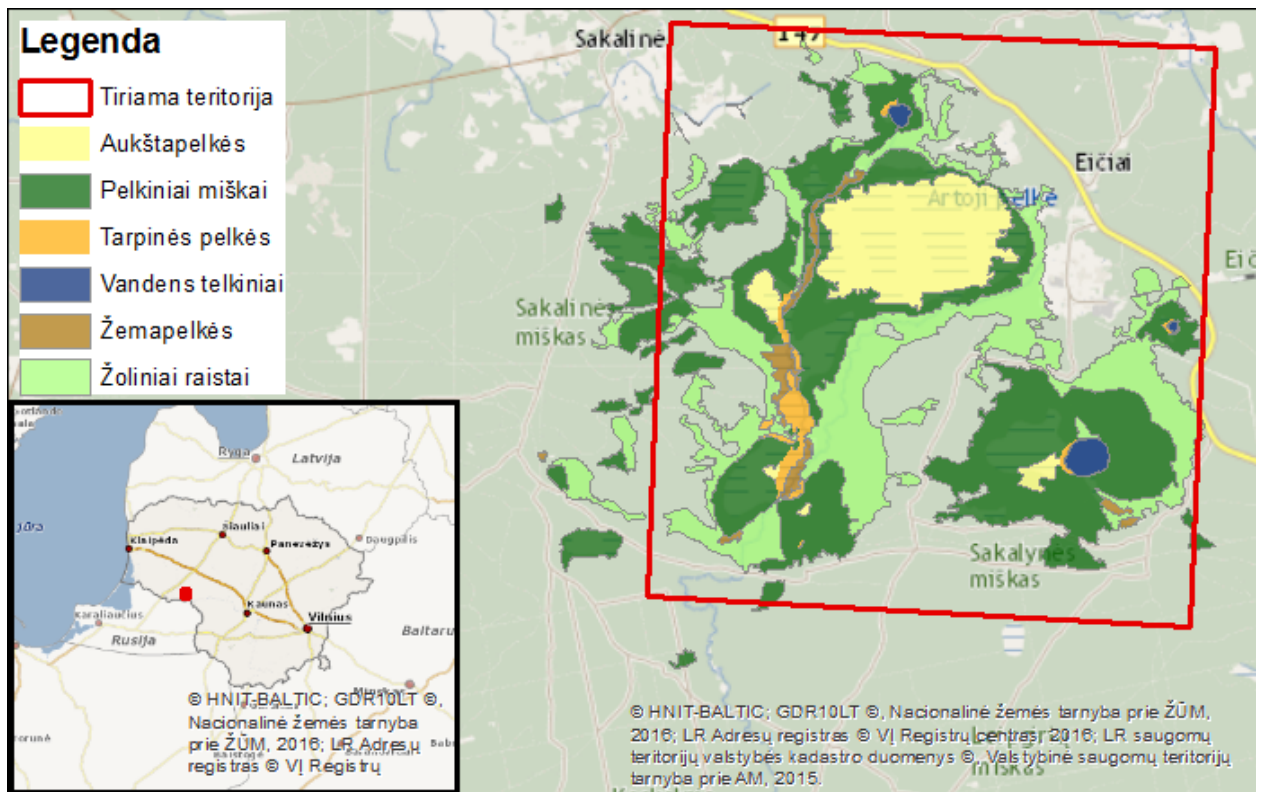
- Įvertinti Sentinel 1 duomenų tinkamumą vertinant užliejamus plotus pelkėse su augaline danga.
- Įvertinti Sentinel 2 duomenimis paremtų vandens identifikavimo indeksų tinkamumą vertinant užliejamus plotus pelkėse su augaline danga.
- Nustatyti kaip užliejamų teritorijų ploto kitimas priklauso nuo kritulių kiekio.

Sentinel palydovų duomenys dar nebuvo naudojami vandens balanso tyrimuose Lietuvos pelkėse. Šis darbas vertina Sentinel palydovų duomenų naudojimo tinkamumą panašiuose tyrimuose.

Mokslinis tyrimas finansuotas/finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis pagal priemonę Nr. 09.3.3-LMT-K-712 „Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę mokslinę veiklą“.

1. Pradiniai duomenys ir metodika

Tiriamąojo darbo analizei buvo pasirinkta Artosios aukštapelkė bei aplink ją esančios įvairių tipų mažesnės pelkės. Tai teritorija esanti vakarinėje Lietuvos dalyje, Tauragės apskrityje, Karšuvos girioje (1.1 pav.). Didžioji dalis analizuojamos teritorijos yra Viešvilės valstybiniame gamtiniame rezervate, todėl puikiai atspindi žmogaus ūkinės veiklos nepažeistą natūralų pelkės hidrologinį balansą.



1.1 pav. Tiriamosios teritorijos vieta bei analizuojamos žemėnaudos

Tyrime buvo naudojami 2017-2018 m. palydoviniai duomenys atsisiųsti iš Copernicus Open Access Hub duomenų bazės (<https://scihub.copernicus.eu/>). Copernicus – tai Europos kosmoso agentūros vykdoma žemės stebėjimų programa. Analizei buvo naudojami Sentinel 1 ir Sentinel 2 palydovų duomenys. Sentinel 1 palydovas gabena SAR (*Synthetic Aperture Radar*, liet. – *sintetinės diafragmos radaras*) instrumentą kuris spinduliuoja C dažnio (5,405 GHz) elektromagnetines bangas ir fiksuoja jų atspindžius. Pagal atspindžio intensyvumą ir poliarizaciją galima spręsti apie Žemės paviršiaus šiurkštumą, o pagal fazę apie jo aukštį. Sentinel 1 GRD (*Ground Range Detected*, liet. – *Žemės paviršiaus*) tipo nuotraukos yra 40 m² raiškos, o Sentinel 1 SLC (*Single Look Complex*, liet. – *Stebėjimo ruožų kompozicija*) tipo nuotraukų raiška siekia 2.3×14.1 m. Sentinel 2 duomenys yra surenkami MSI (*Multi-Spectral Instrument* liet. – *multi-*

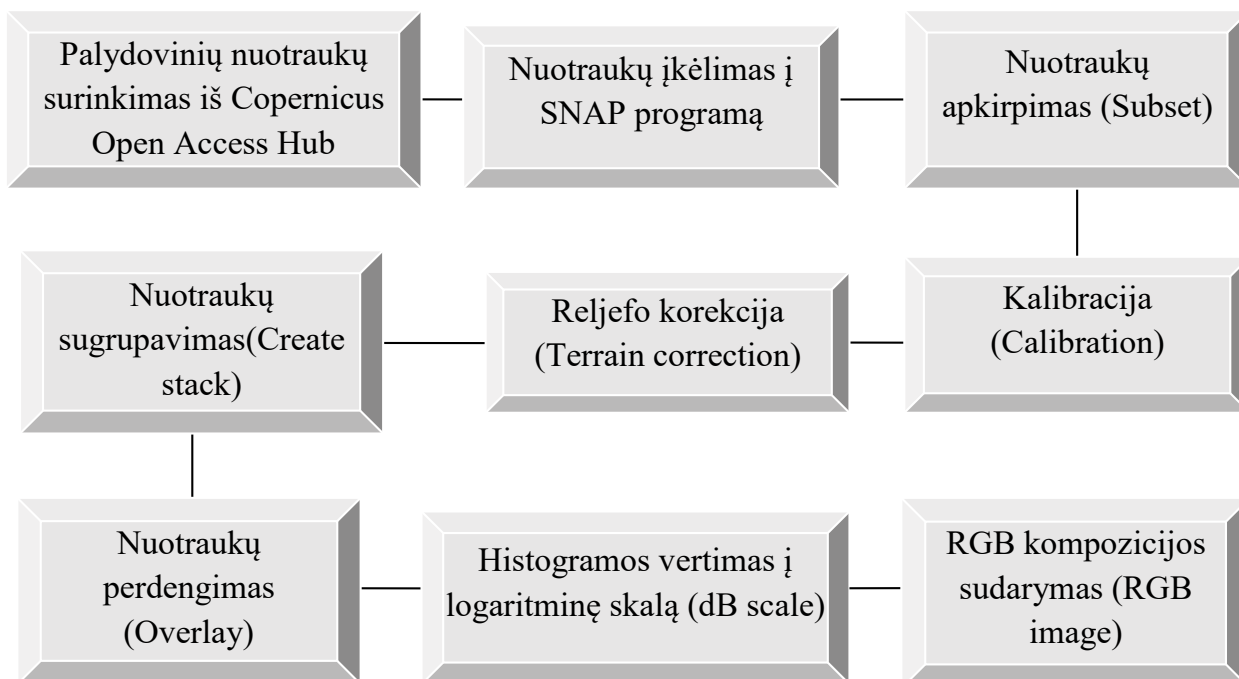
spektrinis instrumentas). Šis instrumentas turi 13 spektrinių kanalų, pasižyminčių įvairia raiška – nuo 10 iki 60 m². Nagrinėjant Sentinel 2 nuotraukas, buvo atsižvelgta į debesuotumą, nes šio palydovo instrumentai negali fiksuoti paviršiaus duomenų per debesis, todėl analizei buvo naudojamos tik tos nuotraukos, kurių fiksavimo metu virš tiriamosios teritorijos buvo visiškai giedra. Tai lėmė gana nedidelį tinkamų analizei nuotraukų skaičių. Gautos nuotraukos buvo apdorojamos atsižvelgiant į analizuojamą teritoriją (1.1 pav.). Palydoviniai duomenys buvo apdorojami SNAP programa.

Tiriamosios teritorijos skirtingos žemėnaudos buvo suskirstytos į kelias žemėnaudų grupes: aukštapelkes, žemapelkes, tarpinio tipo pelkes, pelkinius miškus, žolinius raistus ir vandens telkinius (1.1 pav). Vėliau buvo nagrinėjamos kiekvieno žemėnaudos tipo vandens identifikavimo indeksų reikšmės, galinčios nusakyti vandens kiekį paviršiuje ir augmenijoje bei vertinama indeksų reikšmių kaita laike.

Tyrime naudoti kritulių duomenys buvo gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Pelkės meteorologinėms sąlygoms tiriamuoju laikotarpiu nusakyti buvo naudojami Tauragės meteorologinės stoties duomenys (390526, 6125952 LKS; 55.256858, 22.277866 WGS). Ši stotis stovi ganėtinai atviroje vietoje. Pietryčiuose 30 m atstumu yra keletas medžių, o gyvenamieji privatūs namai stovi maždaug už 100 m nuo stoties. Tai arčiausiai tiriamos teritorijos veikianti oficiali meteorologinius matavimus atliekanti stotis. Tiriamą teritoriją ir Tauragės meteorologijos stotį skiria 10-20 km. atstumas. Dėl nedidelio atstumo ir nedidelio stoties apstatymo, Tauragės meteorologijos stotis turėtų pakankamai reprezentatyviai atspindėti tiriamos teritorijos meteorologinius parametrus.

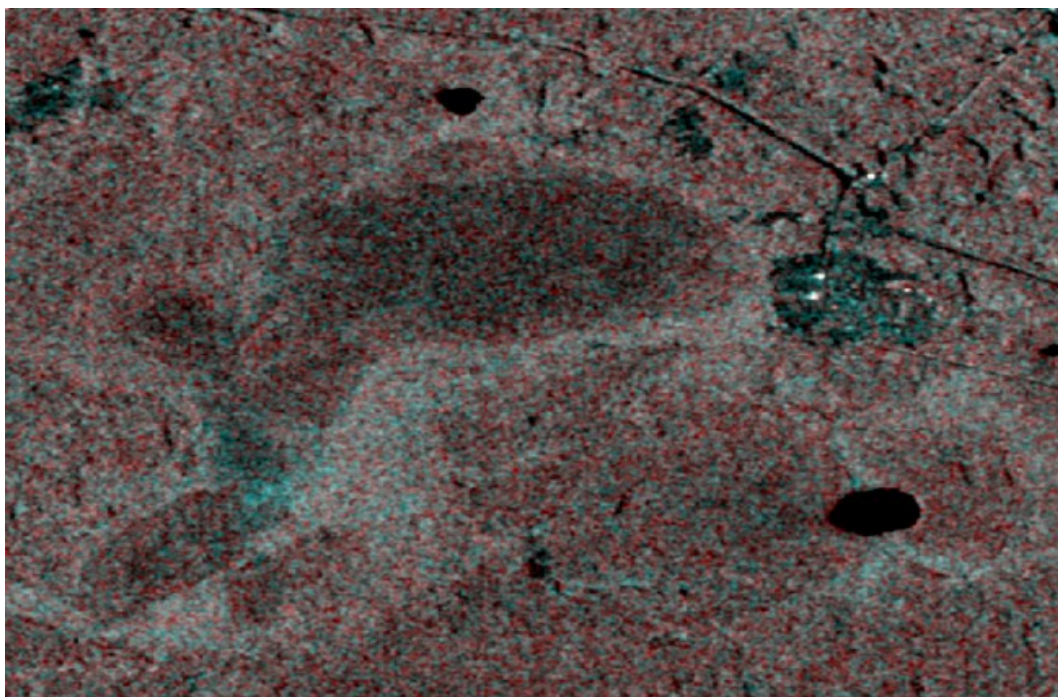
2. Užliejamų teritorijų analizė paremta Sentinel 1 GRD duomenimis

Paviršiuje esančiam vandeniui aptikti buvo analizuojami Sentinel 1 GRD tipo nuotraukų duomenys. Šie duomenys skirti tirti sausumos teritorijas ir vidaus vandens objektus. Sentinel 1 palydovas duomenų surinkimui naudoja SAR, kuris žemės paviršiaus link siunčia radijo bangas, fiksuoja bangas atsispindėjusias nuo paviršiaus ir taip nustato paviršiaus objektus. Kadangi vandens paviršiai yra pakankamai lygūs, grįžtamasis atspindys nuo jų yra labai nedidelis, todėl juos įmanoma atskirti nuo kitų paviršiaus objektų. Patikrinti, ar šis metodas tinkamas pelkėms, buvo pasirinkti dvejų dienų duomenys: 2017 m. gegužės 24 d. (sausas laikotarpis su labai nedideliu kritulių kiekiu prieš nuotraukos užfiksavimą) ir 2017 m. spalio 27 d. (Drėgnas laikotarpis, pasižymėjęs intensyviais ir ilgos trukmės krituliais prieš palydovinės nuotraukos užfiksavimą). Vertinant užliejamas teritorijas Sentinel 1 GRD duomenys buvo apdorojami SNAP programa (2.1 pav.). Atlikus duomenų apdorojimą, buvo gauta galutinė RGB (*Red, Green, Blue, liet. – raudona, žalia, mėlyna*) kompozicija (2.2 pav.) Sudarant RGB kompozicija, sauso laikotarpio nuotraukos VV (*Vertical transmit and Vertical receive, liet. – vertikalio padėtimi išsiunčiami ir vertikalio padėtimi gaunami*) poliarizacijos atspindžiai yra atvaizduojami raudona spalva, o drėgno laikotarpio VV poliarizacijos atspindžiai yra atvaizduojami žalia ir mėlyna spalvomis. Užlietos teritorijos gautoje kompozicijoje yra išskiriamos raudona spalva, nes senesnėje, sauso laikotarpio nuotraukoje, tose teritorijose paviršiai pasižymi stipriu atspindžiu, o naujesnėje nuotraukoje, kur šios teritorijos yra užlietos, nuo vandens paviršiaus į prietaiso anteną negrįžta atspindys, todėl tose teritorijose mažas mėlynos ir žalios spalvos intensyvumas.



2.1 pav. Sentinel 1 GRD duomenų apdorojimo eiliškumo seka SNAP programoje

Atsisiuntus duomenis iš Copernicus Open Access Hub, ir įsikėlus nuotraukas į SNAP programą, jos buvo apkarpos iki tiriamos teritorijos dydžio (1.1 pav.), taip sumažinant duomenų kiekį ir paspartinant jų apdorojimo procesą. Tuomet norint lyginti skirtingų laikotarpių nuotraukas, atliekama jų kalibracija. Reljefo korekcija atliekama norint pašalinti rezultatų iškraipymus, teritorijose pasižyminčiose nelygiu reljefu. Sekančiame žingsnyje naudojantis nuotraukų geografinės padėties informacija, abiejų nuotraukų duomenys sugrupuojami į tą patį failą. Tuomet siekiant palyginti ir rasti skirtumus tarp analizuojamų nuotraukų, šios yra perdengiamos. Galiausiai siekiant gauti aiškesnį pokyčių tarp nuotraukų vaizdą, sukurama RGB kompozicija (2.2 pav.), kuri užlietas teritorijas išryškina raudona spalva.



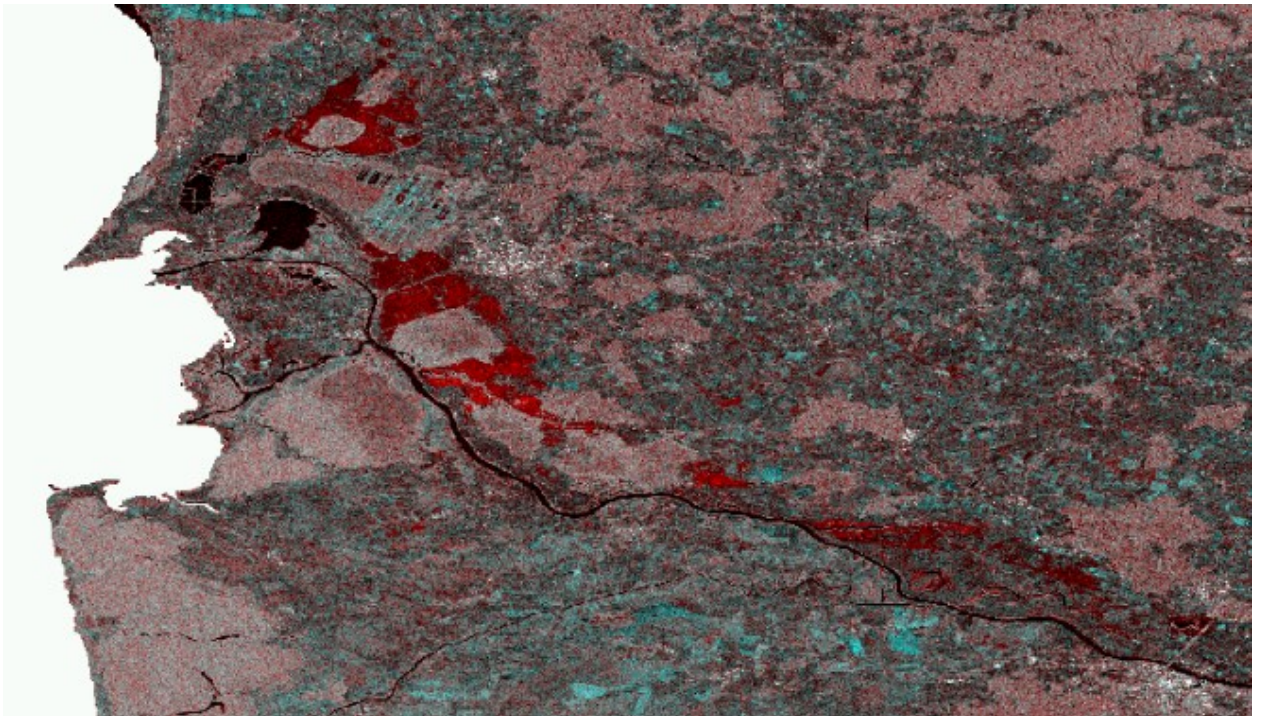
2.2 pav. Artosios pelkės Sentinel 1 GRD tipo, RGB kompozicijos nuotrauka. Raudona spalva vaizduoja teritorijas, kuriose 2017 m. spalio 27 d. lyginant su gegužės 24 d. vandens buvo daugiau, o melsva spalva – kur vandens buvo mažiau

Nepaisant to, kad per mėnesį iki spalio 27 d. iškrito 184,3 mm kritulių o per mėnesį iki gegužės 24 d. – tik 19,1 mm kritulių, nuotraukoje neįmanoma išskirti aiškiai užlietų teritorijų (2.2 pav.). To priežastis – paviršiaus augmenija. Užlietos teritorijos pelkėje pasižymi tik nedideliu vandens gyliu, tad paviršinis vanduo neapsemia paviršiaus augalijos (2.3 pav.). Tuomet nuotraukoje vietoj itin mažu atspindžiu pasižyminčių atvirų vandens plotų matome stiprų atspindį (2.2 pav.), kuriuo pasižymi paviršius dengiamas augalų, nepaisant to, kad jie yra vandenyje.

Nepaisant to, kad per mėnesį iki spalio 27 d. iškrito 184,3 mm kritulių o per mėnesį iki gegužės 24 d. – tik 19,1 mm kritulių, nuotraukoje neįmanoma išskirti aiškiai užlietų teritorijų (2.2 pav.). To priežastis – paviršiaus augmenija. Užlietos teritorijos pelkėje pasižymi tik nedideliu vandens gyliu, tad paviršinis vanduo neapsemia paviršiaus augalijos (2.3 pav.). Augmenija užlietose teritorijose pasižymi stipresniu į instrumentą sugrįžtančiu atspindžiu, nei vanduo, tad RGB kompoziciniame vaizde (2.2 pav.) ten, kur yra užlietos teritorijos, matome atspindį, nulemtą augmenijos, o ne atspindžio intensyvumą, kokį turėtų lemti atviras vandens paviršius. Tinkamas tokio atspindžio pavyzdys, gali būti Nemuno žemupys (2.4 pav.). Ta pati duomenų apdorojimo seka (2.1 pav.) ir RGB kompozicija (2.4 pav.) buvo sudaryta naudojant tų pačių datų nuotraukas.



2.3 pav. Užlieta žemapelkė liepos 22 d.

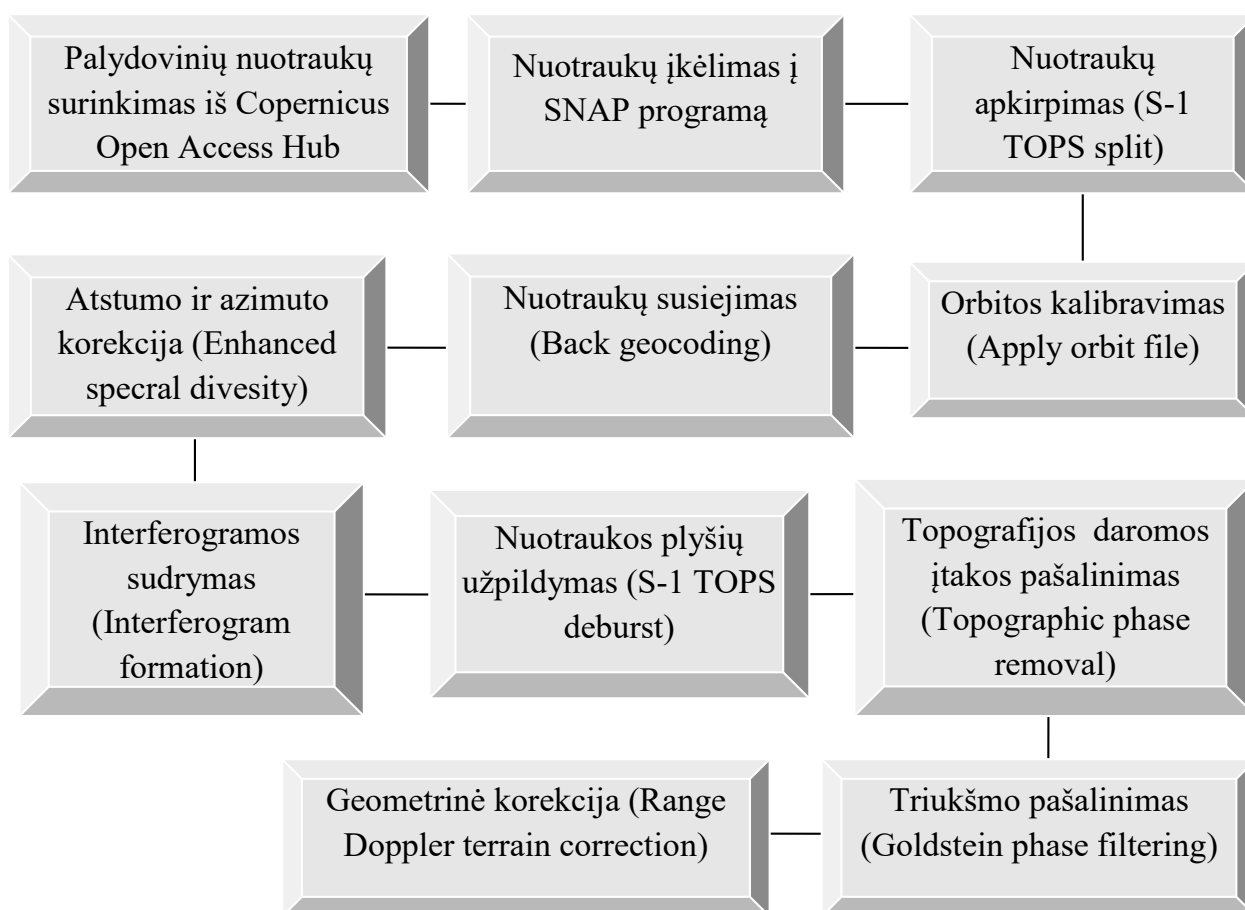


2.4 pav. Nemuno žemupio Sentinel 1 GRD tipo, RGB kompozicijos nuotrauka. Raudona spalva vaizduoja teritorijas, kuriose 2017 m. spalio 27d. lyginant su gegužės 24 d. atspindžiai dėl išsiliejusio vandens buvo itin maži.

Nemuno žemupyje esančiose pievose dėl didelio vandens kiekio išsiliejusio į salpą, visa žolinė augmenija atsiduria po vandeniu ir neiškraipo palydovo siunčiamo signalo atspindžio. Užlietose teritorijose vandens paviršius yra atviras ir tokias teritorijas nesunkiai galime išskirti RGB kompozicijoje (2.4 pav.). Galima daryti išvadą, kad šis metodas tinka tik teritorijoms su žema žoline augmenija arba teritorijoms, kurios pasižymi stipriais potvyniais, arba poplūdžiais. Artosios aukštapelkė ir aplinkinės šios pelkės teritorijos nepasižymi šiais bruožais, tad vandens teritorijų išskyrimas naudojant šį metodą, galimas tik pakankamai ekstremalių hidrologinių sąlygų laikotarpiais.

3. Užliejamų teritorijų aukščio pokyčio analizė naudojantis Sentinel 1 SLC duomenimis

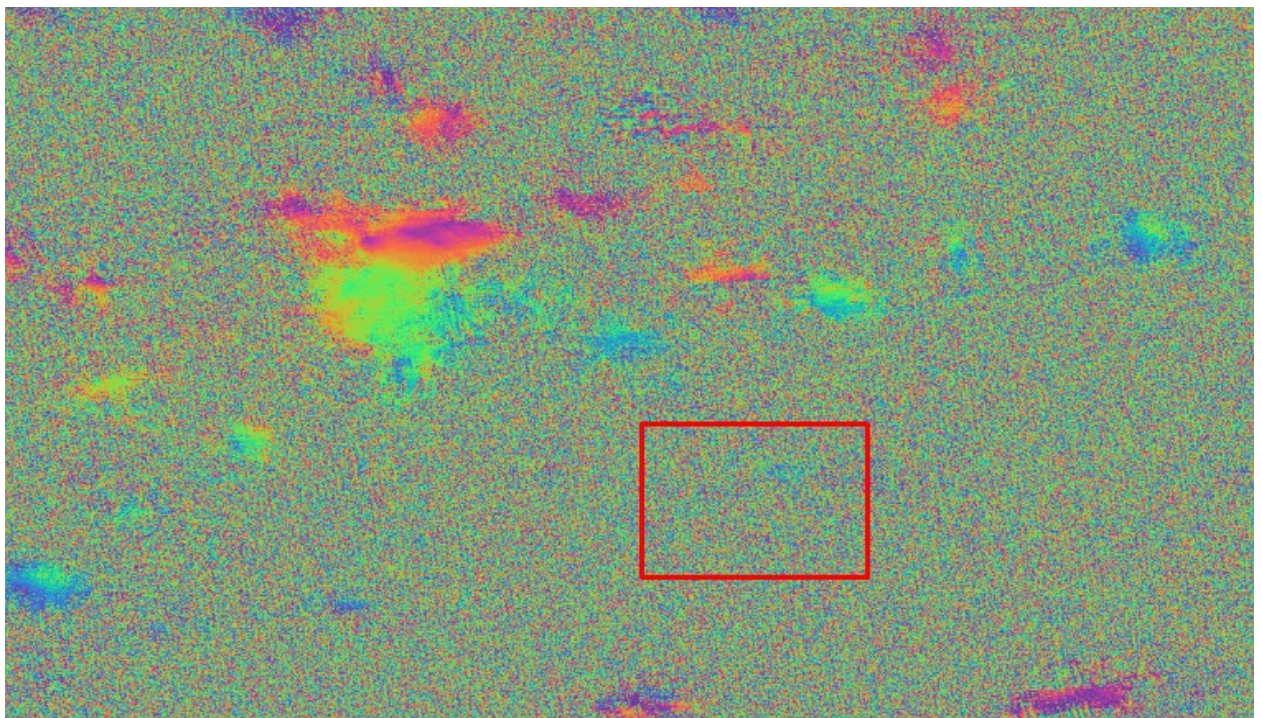
Kitas metodas, kuris gali padėti išskirti užlietas teritorijas ar įmirkusius paviršius yra susijęs su paviršiaus aukščio pokyčiu. Užlietų teritorijų ar pelkių, kuriose vandens prisigėrę kiminai išsiplečia, paviršius pakyla. Naudojantis Sentinel 1 SLC tipo duomenimis įmanoma išskirti altitudės pokyčius per tam tikrą laikotarpį. Labai nedideli aukščio pokyčiai yra išskiriami dėka elektromagnetinės bangos fazės poslinkio skirtingais laikotarpiais. Fazės pokyčiams išskirti buvo naudojami tų pačių datų duomenys, kaip ir GRD duomenų analizėje (2017 m. gegužės 24 d. ir spalio 27 d.) (3.1 pav.)



3.1 pav. Sentinel 1 SLC duomenų apdorojimo eiliškumo seka SNAP programoje

Kaip ir apdorojant GRD tipo duomenis, SLC tipo nuotraukas atsiuntus ir įsikėlus į SNAP programą, siekiant sumažinti duomenų kiekį ir išskirti tiriamą teritoriją (1.1 pav.), vykdomas jų apkarpymas. Tačiau šiuo atveju apkarpymas vyksta ne pagal geografines koordinatas, o

pasirenkant palydovo skanavimo juostas, iš kurių buvo sudaryta palydovinė nuotrauka. Pasirenkamos tos juostos, kuriuose yra tiriamoji teritorija, o likusios juostos iš palydovinės nuotraukos pašalinamos. Tuomet siekiant gauti itin patikimą palydovo orbitos informaciją, abejoms nuotraukoms atliekama orbitos kalibracija. Tada abi tiriamos nuotraukos susiejamos, kad jose esantys pikseliai (*angl. pixel – vaizdo elementas*) atitiktų vienas kito poziciją. Sekančiame žingsnyje, siekiant dar tiksliau susieti nuotraukas, atliekama atstumo ir azimuto korekcija, kuri patikslina palydovo padėtį nuotraukos sudarymo metu. Tuomet sudaroma interferograma (3.2 pav.), kuri parodo radijo bangų fazės nesutapimus tarp tiriamų nuotraukų. Toliau yra užpildomi tarpai tarp jau minėtų palydovo skanavimo juostų, kad nuotraukoje neliktų plyšių, kuriose nėra vizualios informacijos. Tada pašalinama topografijos daroma įtaka fazės pokyčiams. Kitame žingsnyje interferogramoje yra pašalinamas triukšmas ir gaunamos aiškesnės fazės pokyčio ribos. Galiausiai norint gauti proporcingai tikslią nuotrauką, yra įvykdoma geometrinė reljefo korekcija.

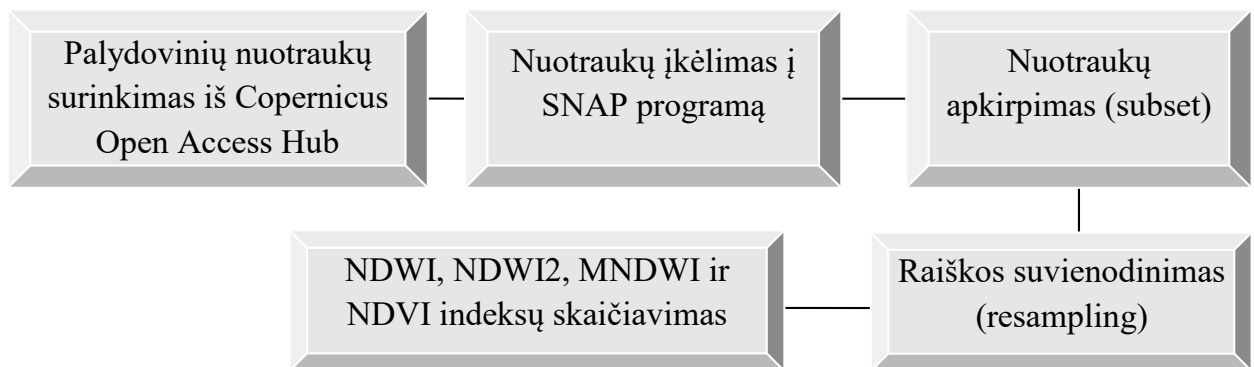


3.2 pav. Tiriamos teritorijos Sentinel 1 SLC tipo elektromagnetinių bangų fazės nuotrauka (interferograma). Skirtingos spalvos vaizduoja elektromagnetinių bangų fazės pokyčius tarp 2017 m. gegužės 24 d. ir spalio 27 d. darytų nuotraukų. Raudonu kvadratu apibrėžta tiriamoji teritorija

Šiuo metodu aukščio pokyčių pelkėse užfiksuoti nepavyko. Tikėtina to priežastis – paviršiaus augmenijos kitimas. Dalis augmenijos per laikotarpį tarp nuotraukų sudarymo paaugo, kita dalis sunyko. Įtakos galėjo turėti ir vėjas, lemiantis augmenijos pozicija nuotraukos sudarymo metu. Dėl šių priežasčių, augmenijos paviršius įgauna atsitiktinį pasiskirstymą lyginant pirmą nuotrauką su antrąja. Dėl to galutinėje nuotraukoje, vietose kur paviršių dengia augalija, matyti tik „triukšmas“ (3.2 pav.). Jeigu paviršiaus augmenija būtų visiškai apsemta vandeniu arba pakilusi dideliame plote dėl susikaupusio pelkėje vandens tūrio, tose teritorijose matytume aiškų radijo bangų fazės pasikeitimą dėl padidėjusio, ar sumažėjusio paviršiaus aukščio. Kadangi tokių plotų tiriamojoje teritorijoje užfiksuoti nepavyko, galima daryti išvadą, kad visiškai apsemtų vietų, kurias dėl palydovinių duomenų erdvinės raiškos būtų galima identifikuoti, Artosios aukštapelkėje ir aplinkinėse pelkėse nebuvo, o pelkės paviršiaus aukščio pokyčius dėl sukaupto vandens viršija augalijos, tame tarpe ir kiminų aukštapelkėje, sudaromas atspindžio triukšmas. Patikimą ir nuoseklų atspindžio fazės poslinkį tarp tiriamų datų pavyko užfiksuoti tik urbanizuotose teritorijose (3.2 pav.).

4. Užliejamų teritorijų analizė remiantis Sentinel 2 duomenimis

Interferometrinio būdu dėl augalijos nepavykus išskirti užlietų teritorijų, apsemtus plotus bandyta nustatyti remiantis multi-spektrinio instrumento, esančio Sentinel 2 palydove duomenimis. Vanduo Sentinel 2 sudarytose nuotraukose yra išskiriamas naudojantis vandens kiekį paviršiuje nustatančiais indeksais. Atrinkus palydovines nuotraukas, kuriose tiriamojoje teritorijoje nebuvo debesų, buvo taikoma duomenų apdorojimo seka, norint gauti indekso reikšmes atvaizduojančias nuotraukas (4.1 pav.)



4.1 pav. Sentinel 2 duomenų apdorojimo eiliškumo seka SNAP programoje

Visi analizuoti indeksai yra skirti vandeniui arba jo kiekiui augaluose aptikti. Kiekvieno indekso reikšmės suradimui naudojami skirtingi bangų kanalai, pasižymintys nevienoda erdvine raiška, tad prieš indeksų apskaičiavimą buvo vykdomas jų spinduliuotės kanalų raiškos suvienodinimas (4.1 pav.).

NDWI – tai indeksas skirtas išmatuoti skysto vandens molekulių koncentraciją augalijoje, kuri sąveikauja su tiesiogine saulės spinduliuote. Šis indeksas yra išvedamas iš NIR (*Near Infrared – liet. Artimoji infraraudonoji spinduliuotė*) ir SWIR (*Short Wave Infrared – liet. Trumpabangė infraraudonoji spinduliuotė*) spinduliuotės kanalų. SWIR atspindys keičiasi priklausomai nuo vegetacijoje esančio vandens kiekio bei augalijos paviršiaus struktūros. NIR atspindys yra veikiamas augalijos vidinės struktūros ir lapų sausosios masės. Šių kanalų kombinacija padeda išskirti vandens kiekį augalijoje (Ceccato ir kt. 2001).

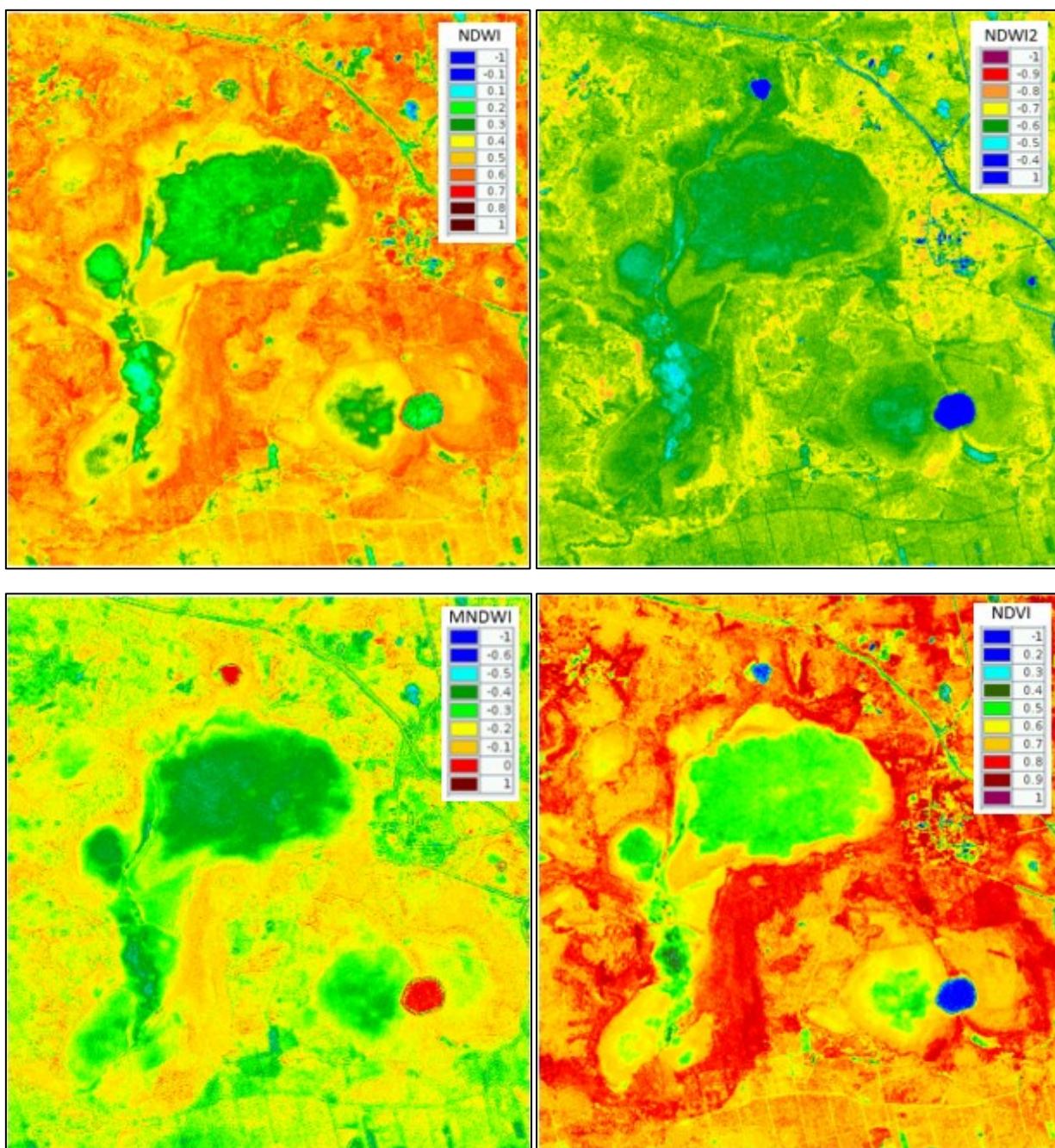
NDWI2 indeksas buvo sukurtas siekiant aptikti paviršinius vandenis pelkėse ir šlapynėse, bei išmatuoti šių vandens teritorijų apimtis. Kaip ir NDWI indeksas, NDWI2 indeksas naudoja NIR spinduliuotės kanalą, tačiau vietoj SWIR kanalo NDWI2 indekso formulėje yra matomosios žalios spinduliuotės kanalas (Xu, 2006).

MNDWI – tai dar vienas sausumoje esančiam vandeniui aptikti skirtas indeksas. Šis indeksas išryškina sausumoje esančio vandens požymius, tuo pat metu sumažindamas vegetacijos ir dirvožemio spinduliuotės atsaką. Tokios indekso savybės padeda tiksliau išskirti atvirus vandens telkinius. MNDWI indeksui apskaičiuoti naudojami MIR (*Midle Infrared – liet. Vidurinioji infraraudonoji spinduliuotė*) ir matomosios žalios spinduliuotės kanalai (Xu, 2006).

NDVI indeksas priešingai, nei prieš tai aprašyti indeksai padeda išskirti ne vandenį, o nustatyti augalijos gyvybingumą. Kadangi augalijos gyvybingumas yra stipriai susijęs su vandens kiekiu augaluose ir jų aplinkoje, šis indeksas taip pat gali padėti aptikti drėgnesnes vietas. NDVI indeksui apskaičiuoti naudojami NIR ir matomosios raudonos spalvos spinduliuotės kanalai (Zhang ir kt., 2017).

Pagrindinis tikslas apskaičiuojant indeksų vertes tiriamai teritorijai buvo identifikuoti galimai užliejamus plotus. Daugiausiai dėmesio buvo skiriama NDWI2 indekso analizei (4.2 pav.), kadangi šis indeksas sukurtas būtent pelkių ir šlapynių vandeniui aptikti. Kitų indeksų rezultatai buvo panašūs ir suteikė papildomos informacijos apie vandens pasiskirstymą tiriamoje teritorijoje. Kiekvienam žemėlapių pikseliui priskyrus tam tikrą indekso reikšmę, buvo gaunamas to indekso žemėlapis. Tuomet indekso reikšmėms buvo pritaikyta spalvinė gama, išryškinanti ir leidžianti lengviau atskirti sausas teritorijas nuo drėgnų (4.2 pav.).

Visi analizuojami indeksai pasižymi tokia pačia reikšmių amplitude – nuo 1 iki -1. NDWI, MNDWI ir NDVI indeksų žemiausios reikšmės rodo teritorijoje esantį vandenį. Tuo tarpu NDWI2 indekso priešingai – aukštesnės indekso reikšmės parodo vandens buvimą (4.2 pav.). Kiekvienam indeksui buvo pritaikyta individuali spalvinė gama, su skirtingu spalvinių reikšmių skaičiumi. Šis skaičius buvo parinktas atsižvelgiant į tai, kokiame diapazone analizuojamuose duomenyse kito kiekvieno indekso reikšmės per visą tiriamąjį laikotarpį. Taip pat atsižvelgta į spalvinės gamos gebėjimą suteikti informatyvią vizualinę medžiagą, parodančią kurios teritorijos galimai yra užliejamos ir kaip stipriai skiriasi drėgmės kiekis pelkėse skirtingais laikotarpiais. Indeksų spalvinės reikšmės neišskiria teritorijų su vandeniu, o tik parodo drėgnesnes teritorijas, kurios galimai yra užlietos. Nors kitų autorių tyrimuose yra nurodomos konkrečios ribinės indeksų reikšmės, parodančios vandens buvimą (Kaplan ir Avdan, 2017), šių reikšmių šiame tiriamajame darbe panaudoti nepavyko. To priežastis – užlietos teritorijos nėra atviros, o užaugusios krūmais, ar pakankamai aukšta žoline augmenija. Todėl nuotraukose matome ne vandens atspindžio reikšmes, o vandens ir augmenijos kompozicinio atspindžio rezultatą. Kadangi bėgant laikui keičiasi ne tik vandens kiekis paviršiuje, bet ir augalijos būklė, apskaičiuotai indekso vertei užlietose teritorijose įtakos turėjo jau ne vienas, o du procesai.



4.2 pav. NDWI, NDWI2, MNDWI ir NDVI indeksų reikšmių tiriamosios teritorijos žemėlapiai 2018 m. gegužės 10 d.

Indekso reikšmės pakankamai stipriai kito net teritorijose kuriose yra neišdžiūstantys vandens telkiniai. Tiriamojoje teritorijoje yra 3 ežerai (1.1 pav.). Priklausomai nuo metų laiko, indeksų reikšmės juose pastebimai kito. To priežastis greičiausiai buvo specifinis pelkių vanduo. Šis vanduo yra pakankamai tamsios spalvos, taip pat visi 3 ežerai yra negilūs, tad nuotraukos sudarymo metu atspindžio reikšmės galėjo paveikti vandens spalva bei ežero dugnas, jei vanduo

tuo metu buvo pakankamai skaidrus. Vegetacijos laikotarpiu ežero pakraščiai apauga lelijomis ir kitais vandens augalais, todėl ežerų pakraščiai gali pasižymėti panašiu atspindžiu, kaip ir augalija. Vandens žydėjimo metu vanduo pasidaro drumzlinas ir gali pasižymėti vandeniui nebūdingomis atspindžio reikšmėmis.

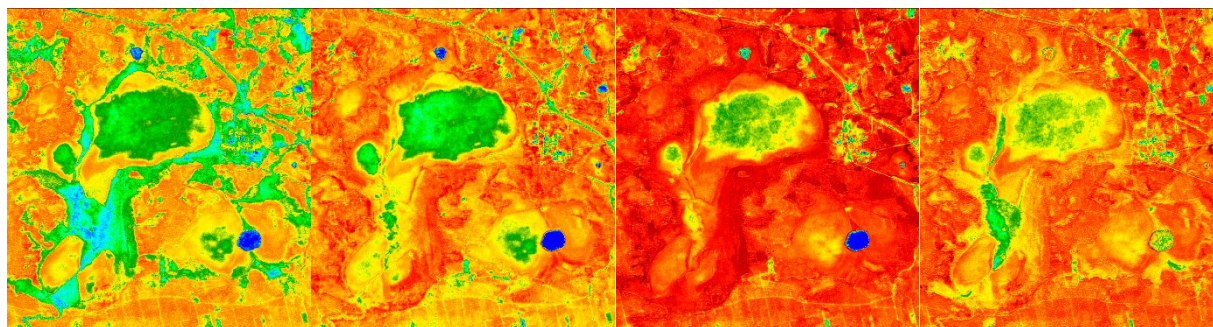
Sentinel 2 palydoviniai duomenys fiksuojami nuo 2015 m, tačiau nuotraukos su atmosferos korekcija, kurias mes nagrinėjame šiame darbe, yra sudaromos tik nuo 2017 m. Per šį laikotarpį pavyko išrinkti 21 palydovinę nuotrauką, kuriose analizuojamos teritorijos nedengia debesys. Nuotraukoms nuo 2017-04-08 iki 2018-03-21 yra atlikta klaidų korekcija. Vėliau užfiksuotoms nuotraukoms ši korekcija nebuvo atlikta. Tai operatyviniam darbui skirti duomenys, tačiau jų patikimumas išlieka pakankamai didelis. Iš 21 nuotraukos vizualiai buvo analizuojamos 12. Pastebėta, kad Sentinel 2A ir 2B palydovų duomenų, užfiksuotų panašiu metu, indeksai rodantys drėgmės kiekį paviršiuje pakankamai stipriai skiriasi. Dėl šios priežasties buvo nuspręsta tyrime nenaudoti Sentinel B palydovo nuotraukų, nes jų skaičius buvo mažesnis nei Sentinel A palydovo. Dalis nuotraukų nebuvo nagrinėjamos dėl tiriamojoje teritorijoje buvusio sniego, kuris dėl savo atspindžio savybių iškraipo gautus duomenis. Analizei tinkamoms nuotraukoms buvo apskaičiuotos indeksų reikšmės (4.3; 4.4; 4.5 ir 4.6 pav.).

2017-04-08

2017-05-28

2017-08-16

2017-10-02

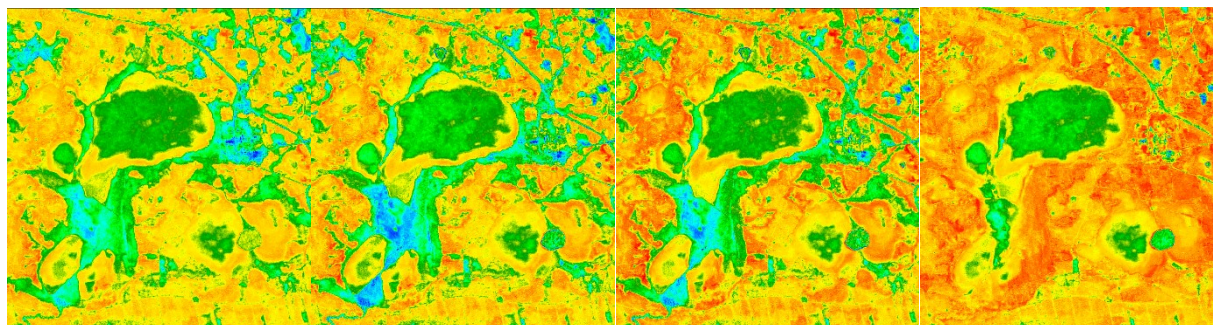


2018-04-13

2018-04-20

2018-04-23

2018-05-10

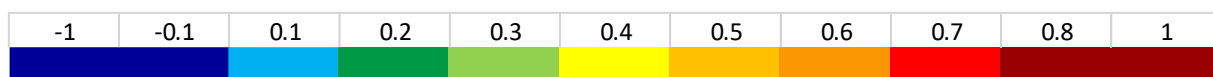
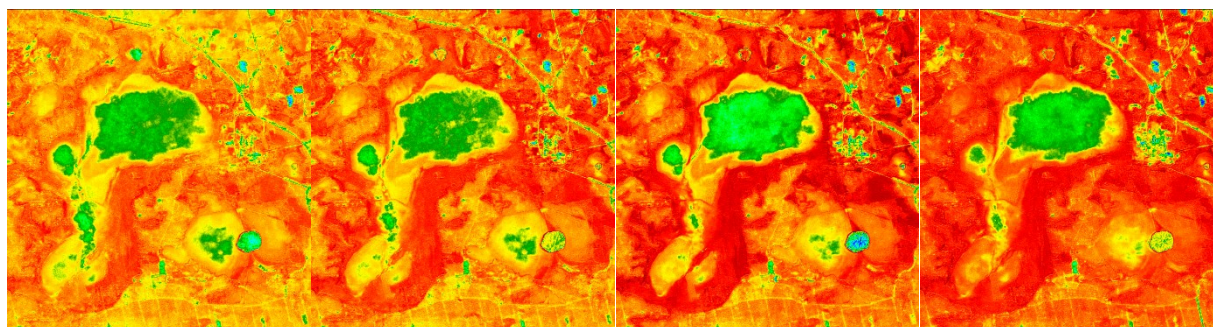


2018-05-13

2018-05-20

2018-06-09

2018-08-01



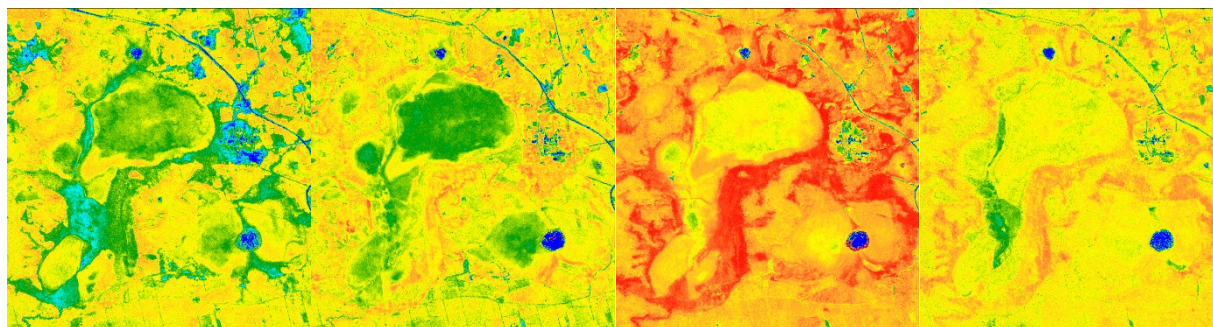
4.3 pav. NDWI indekso reikšmių kaita tiriamuoju laikotarpiu.

2017-04-08

2017-05-28

2017-08-16

2017-10-02

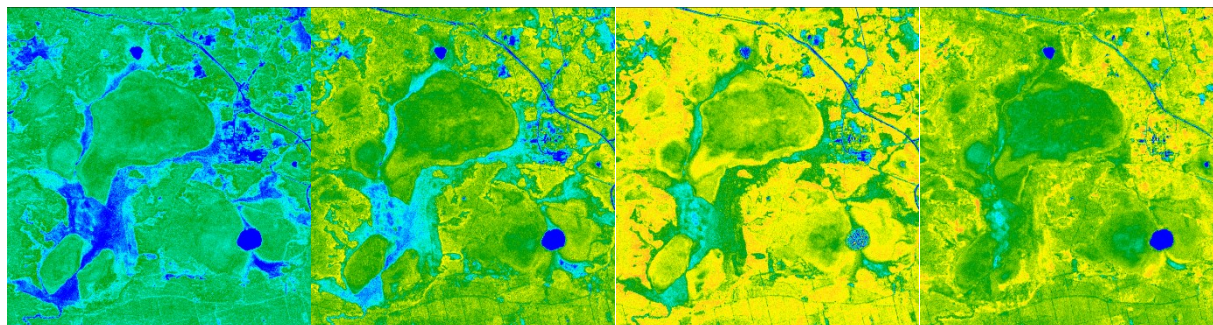


2018-04-13

2018-04-20

2018-04-23

2018-05-10

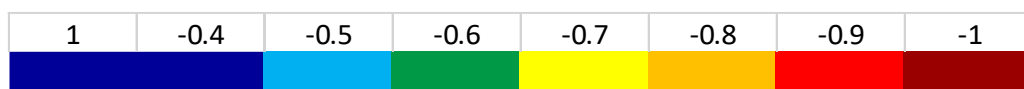
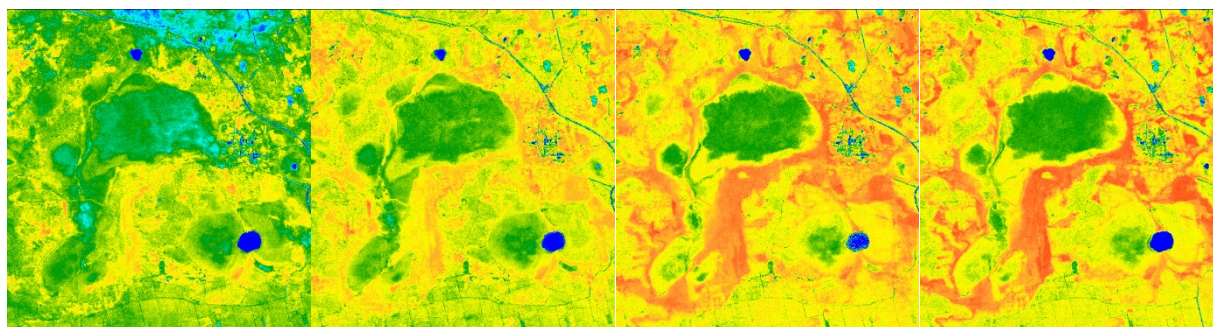


2018-05-13

2018-05-20

2018-06-09

2018-08-01



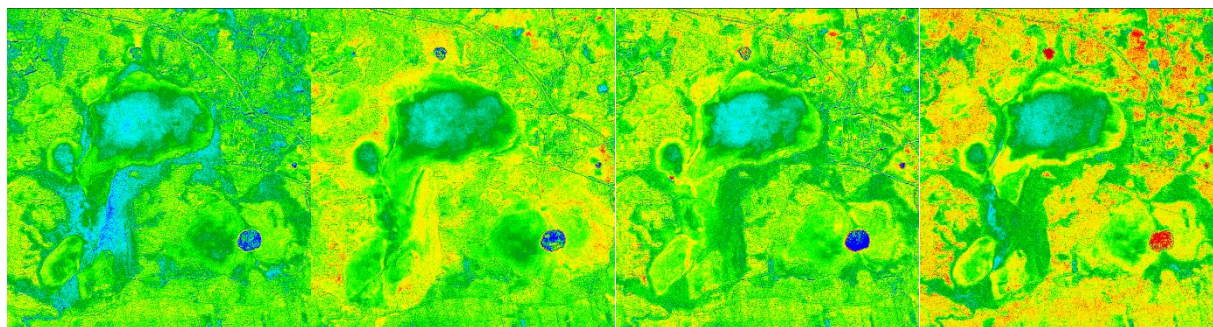
4.4 pav. NDWI2 indekso reikšmių kaita tiriamuoju laikotarpiu.

2017-04-08

2017-05-28

2017-08-16

2017-10-02

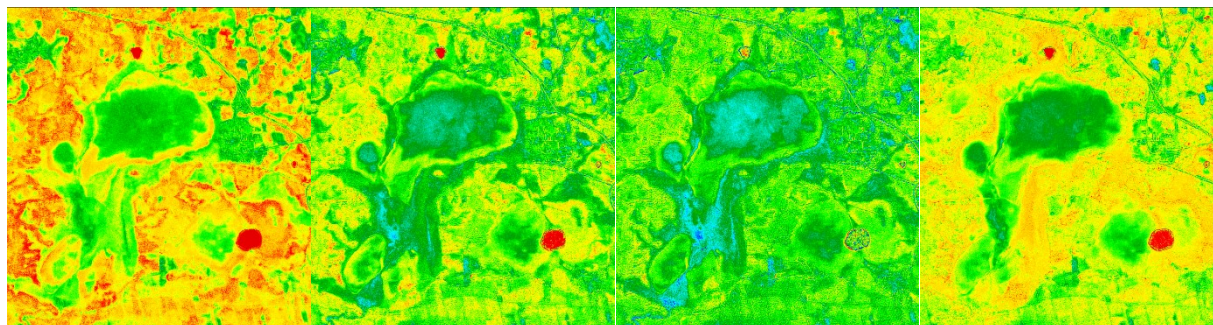


2018-04-13

2018-04-20

2018-04-23

2018-05-10

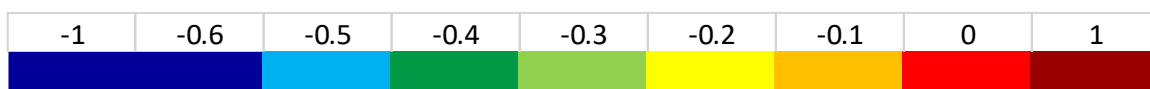
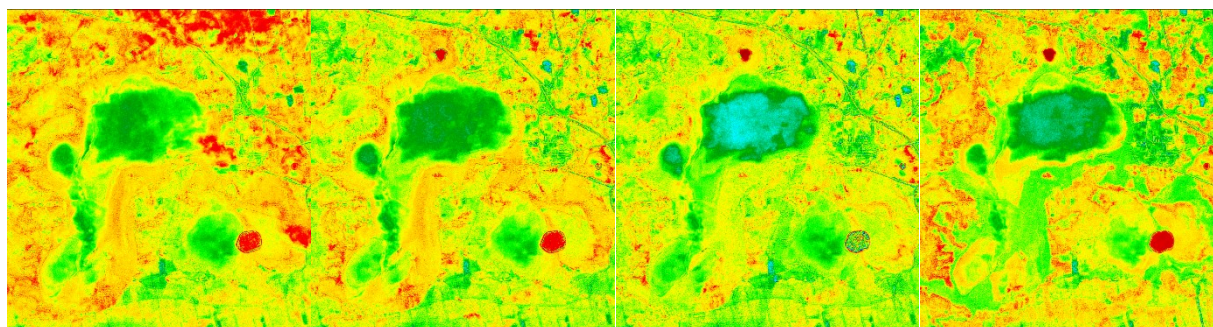


2018-05-13

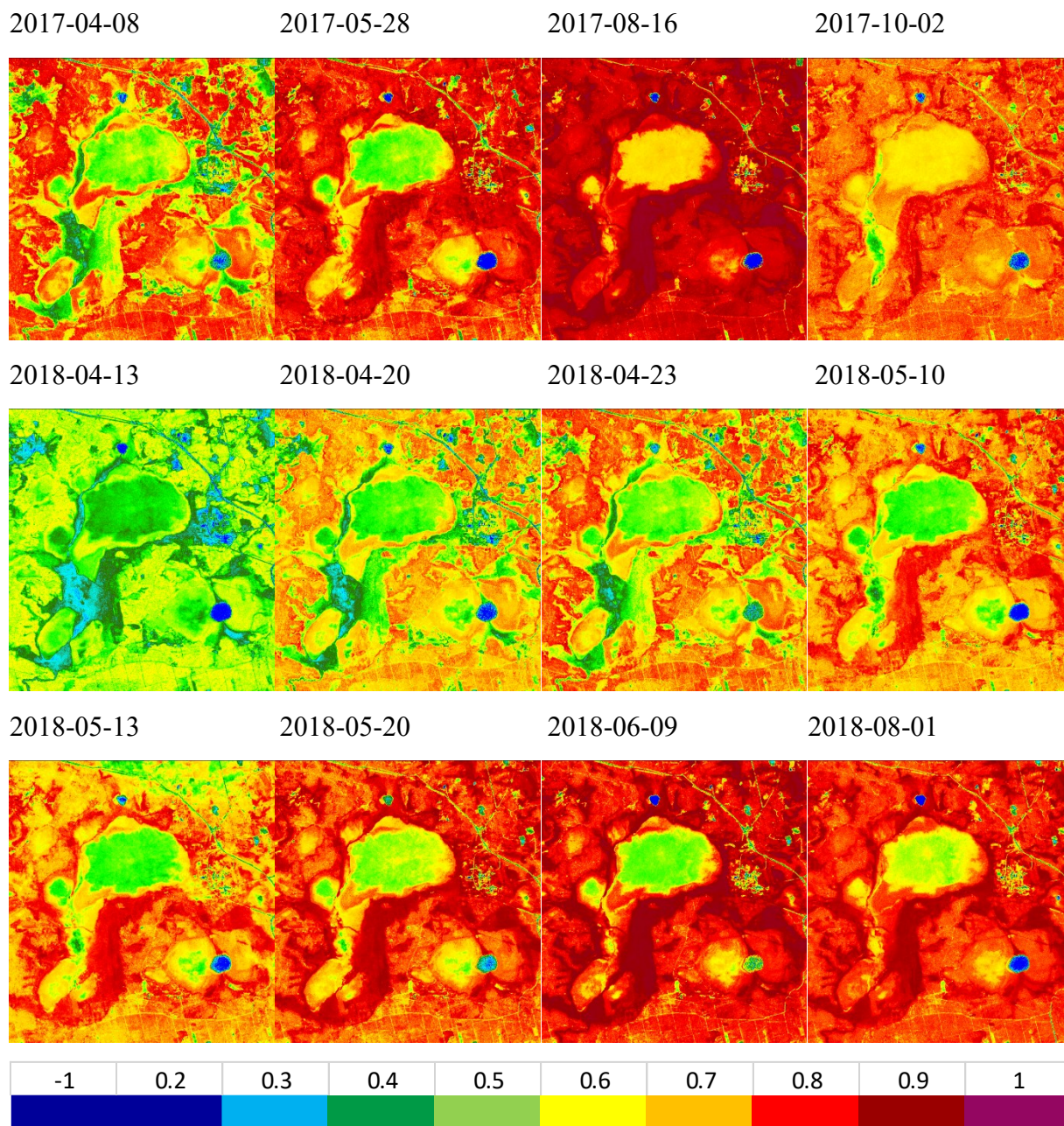
2018-05-20

2018-06-09

2018-08-01



4.5 pav. MNDWI indekso reikšmių kaita tiriamuoju laikotarpiu.



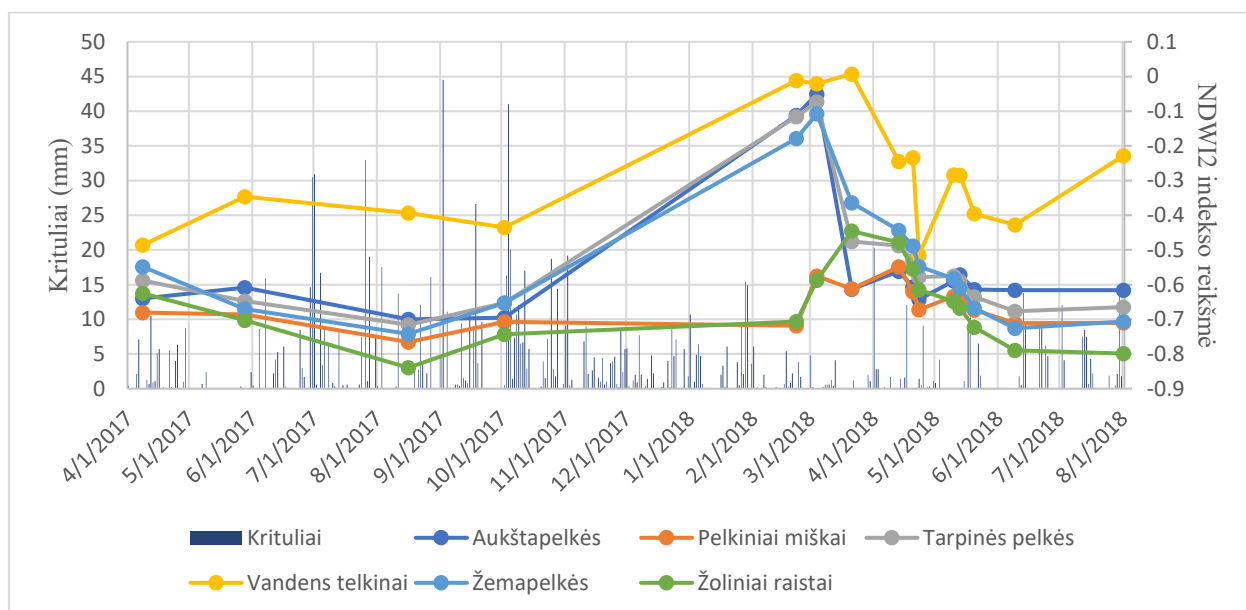
4.6 pav. NDVI indekso reikšmių kaita tiriamuoju laikotarpiu.

Visų indeksų verčių žemėlapiai rodo, kad drėgniausias būna pavasario pradžios laikotarpis. Tai lemia sniego tirpsmas ir silpnas augalijos evapotranspiracijos potencialas. NDWI2 indekso duomenimis (4.4 pav.) Artosios aukštapelkės centrinė dalis ištisus metus išlieka sausesnė, nei jos pakraščiai. Tačiau užliejamų teritorijų aukštapelkėje praktiškai nėra. Tik pačiuose pelkės pakraščiuose esantis lagas esant didesniai kritulių kiekiui prisipildo vandeniu, tačiau jo plotas galimai yra per mažas, kad ši teritorija būtų užfiksuota palydovinėmis nuotraukomis. Po intensyvesnių kritulių beveik visoje aukštapelkės teritorijoje buvo nedidelių plotų su atviru vandens paviršiumi, tačiau jų apimtis itin maža, tad tokių teritorijų palydovinėse nuotraukose išskirti taip pat neįmanoma. Artosios aukštapelkėje dominuojanti kultūra yra kiminai. Šie augalai

pasižymi gebėjimu savyje išlaikyti didelį vandens kiekį, tad NDWI2 indekso sezoninė kaita Artosios aukštapelkėje yra nedidelė, lyginant su kitomis žemėnaudomis (4.7 pav.).

Didžiausiu drėgnumu pasižymėjo žemapelkės ir tarpinės pelkės esančios į pietvakarius nuo Artosios aukštapelkės. Šiose teritorijose teka Viešvilės upelis. Nors upelio vaga nedidelė (praktiškai nėra aiškios vagos), priklausomai nuo drėgmės kiekio pelkėse, jis pasisavina arba maitina šias teritorijas vandeniu. Esant sausam laikotarpiui, upelio vaga išdžiūsta, o drėgmės sumažėjimą galime pastebėti ir minėtose žemėnaudose (4.4 pav. 2017-08-16). Žemėlapiuose matomose drėgnose teritorijose vyrauja pakankamai aukšta žolinė augmenija, kuri esant drėgnam laikotarpiui būna vandenyje.

Drėgmės kiekis skirtingose žemėnaudose skiriasi. Siekiant aiškiau suprasti drėgmės pokyčius įvairiose teritorijose metų eigoje, buvo suskaičiuotos vidutinės kiekvienos žemėnaudos viso ploto indeksų reikšmės (4.7 pav.).



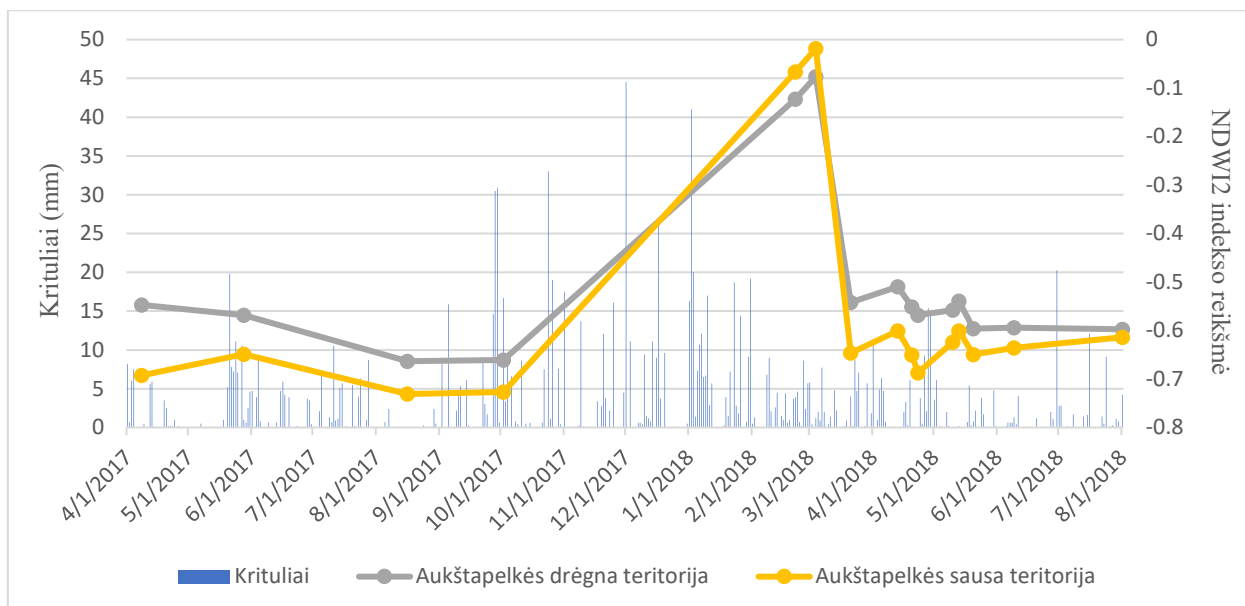
4.7 pav. NDWI2 indekso vidurkių pokyčiai laike analizuojamose žemėnaudose

NDWI2 indeksų reikšmės su Tauragėje išmatuotu kritulių kiekiu koreliavo pakankamai prastai (4.7 pav.). Viena to priežasčių galima laikyti tai, kad krituliai gali būti lokalus reiškinys. Nepaisant to, kad meteorologinė stotis nuo tiriamosios teritorijos buvo nutolusi tik per keliolika kilometrų, realus kritulių kiekis tiriamojoje teritorijoje galėjo būti visai kitoks. Ypač lokalūs krituliai būna šiltuoju laikotarpiu iš konvekcinių debesų. Kita priežastis galėjo būti vandens atitekėjimo vėlavimas. Į skirtingas žemėnaudas ir jų dalis vanduo iš aukštesnių vietų iškritus

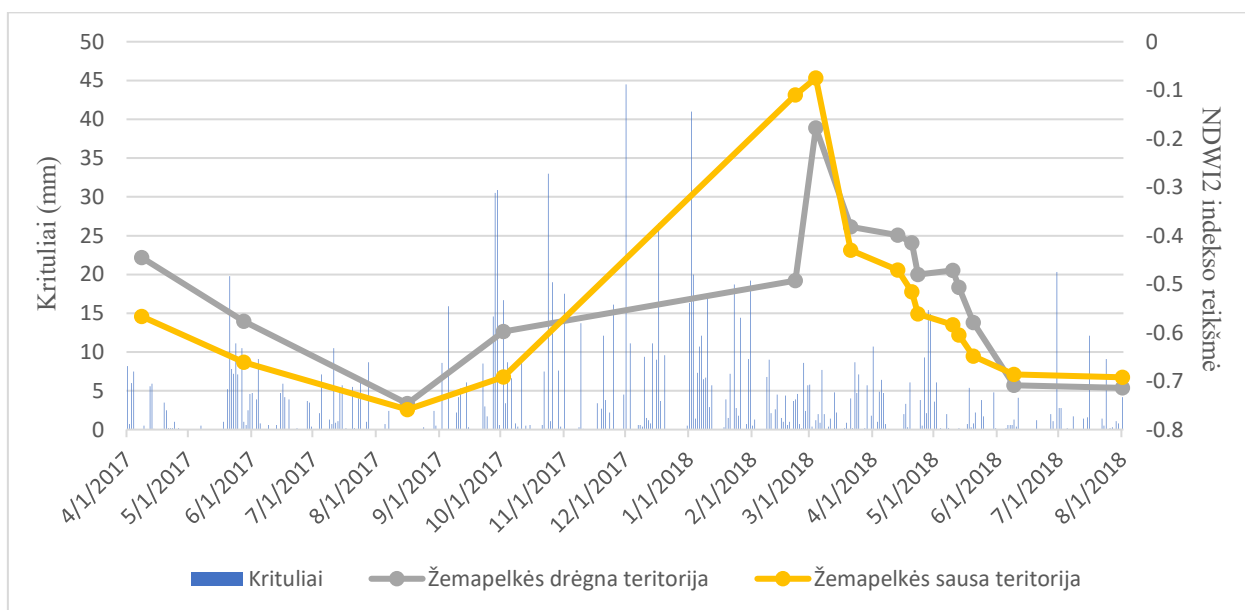
krituliams atiteka nevienodu greičiu, todėl indekso reikšmių pokyčiai dėl kritulių gali būti stebimi praėjus įvairiems laiko tarpams.

2017 m. rugpjūčio 16 d. NDWI2 indekso reikšmės visose žemėnaudose, išskyrus vandens telkinius pasiekė žemiausias ribas (4.7 pav.). Tai rodo, jog nepaisant lietingos 2017 m. vasaros, šis laikotarpis buvo pats sausiausias per abu tiriamuosius metus. Galima to priežastis buvo augalų paviršiaus išdžiūvimas. Nors 2017 m. vasara buvo lietinga (per 10 d. vidutiniškai iškrisdavo 34,8 mm kritulių, o per 5 d. 17,4 mm kritulių), suminis kritulių kiekis per 10 d. prieš nuotraukos sudarymą siekė 14,1 mm, o per 5 d. prieš nuotraukos sudarymą iškrito tik 0,1 mm kritulių. Nors tai gana trumpas laikotarpis, to galimai pakanka, kad augalijos lapų paviršinė dalis lemianti atspindžio reikšmes išdžiūtų ir lemtų sumažėjusias NDWI2 indekso reikšmes (4.4 pav. 2017-08-16). Didžiausios indekso reikšmės visose žemėnaudose, išskyrus pelkinius miškus ir žolinius raistus, buvo pasiektos kovo mėnesį, tačiau itin aukštas indekso reikšmes šiuo laikotarpiu galėjo lemti sniego danga. Tik žemėnaudose, kuriose dominuojanti augmenija buvo medžiai, indekso reikšmės nukrito. To priežastis – sniego buvimas po medžių lajomis, kurios darė didesnę įtaką atspindžio reikšmėms. Vėlesniais pavasario mėnesiais indeksų reikšmės visose žemėnaudose mažėjo, tačiau iškritus krituliams galima pastebėti nedidelius indekso padidėjimus (4.7 pav.). Žemiausios NDWI2 indekso reikšmės 2018 m. buvo pasiektos birželio mėnesį ir praktiškai nepakitusios išsilaikė iki pat rugpjūčio. Pavasario pradžioje didžiausiu drėgmės kiekiu ir jo pokyčiu pasižymėjo žemapelkės. Gegužės pradžioje didžiausias drėgmės kiekis buvo tarpinėse pelkėse, o vėliau drėgniausios išliko aukštapelkės. Rudens metu daugiausiai vandens buvo žemapelkėse.

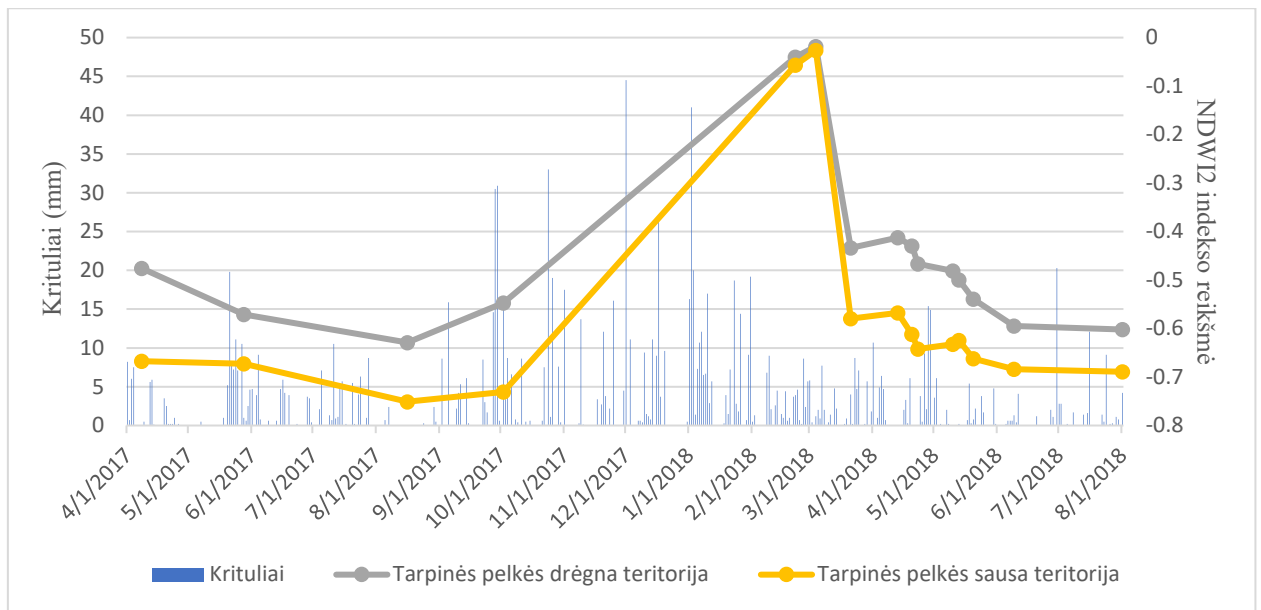
Norint išsiaiškinti ar tam tikros teritorijos būna užliejamos, buvo analizuota ne visa žemėnaudų teritorija, o tik tam tikri jų taškai, kurie gali būti užliejami. Buvo tiriamos 3 žemėnaudos, kuriose buvo galimai užliejamų teritorijų: aukštapelkės, žemapelkės ir tarpinės pelkės. Kiekviename žemėnaudos tipe buvo pasirinkti 5 pikseliai, kurie remiantis NDWI2 spalviniu žemėlapiu (4.4 pav.) galimai reprezentuoja užliejamas teritorijas, bei 5 pikseliai, kurie šioje žemėnaudoje įprastai būna pačių žemiausių reikšmių (sausiasi). Tuomet apskaičiuoti drėgnas ir sausas teritorijas žyminčių pikselių vidurkiai buvo lyginami tarpusavyje (4.8 pav.). Pagal indekso pokytį laike ir indekso reikšmių skirtumą tarp pikselių buvo siekiama nustatyti, ar analizuojamos teritorijos galėjo būti užliejamos.



4.8 pav. NDWI2 indekso reikšmių kaita drėgnuose ir sausuose aukštapelkės taškuose



4.9 pav. NDWI2 indekso reikšmių kaita drėgnuose ir sausuose žemapelkės taškuose

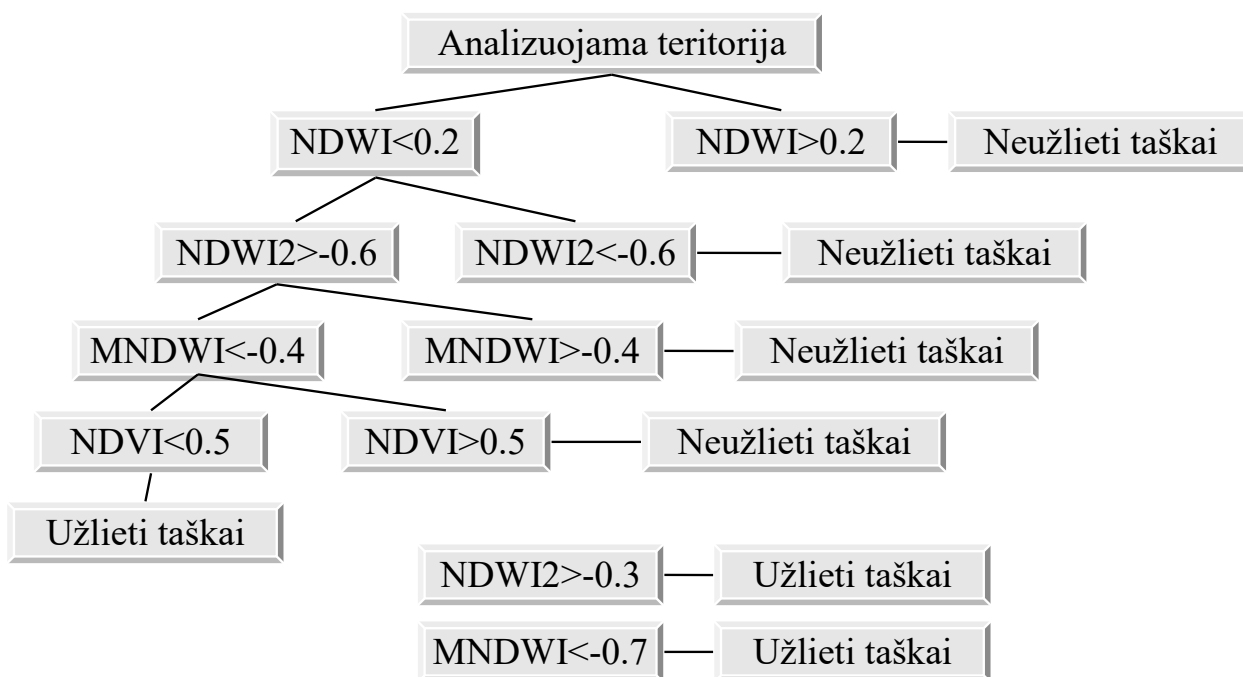


4.10 pav. NDWI2 indekso reikšmių kaita drėgnuose ir sausuose tarpinės pelkės taškuose

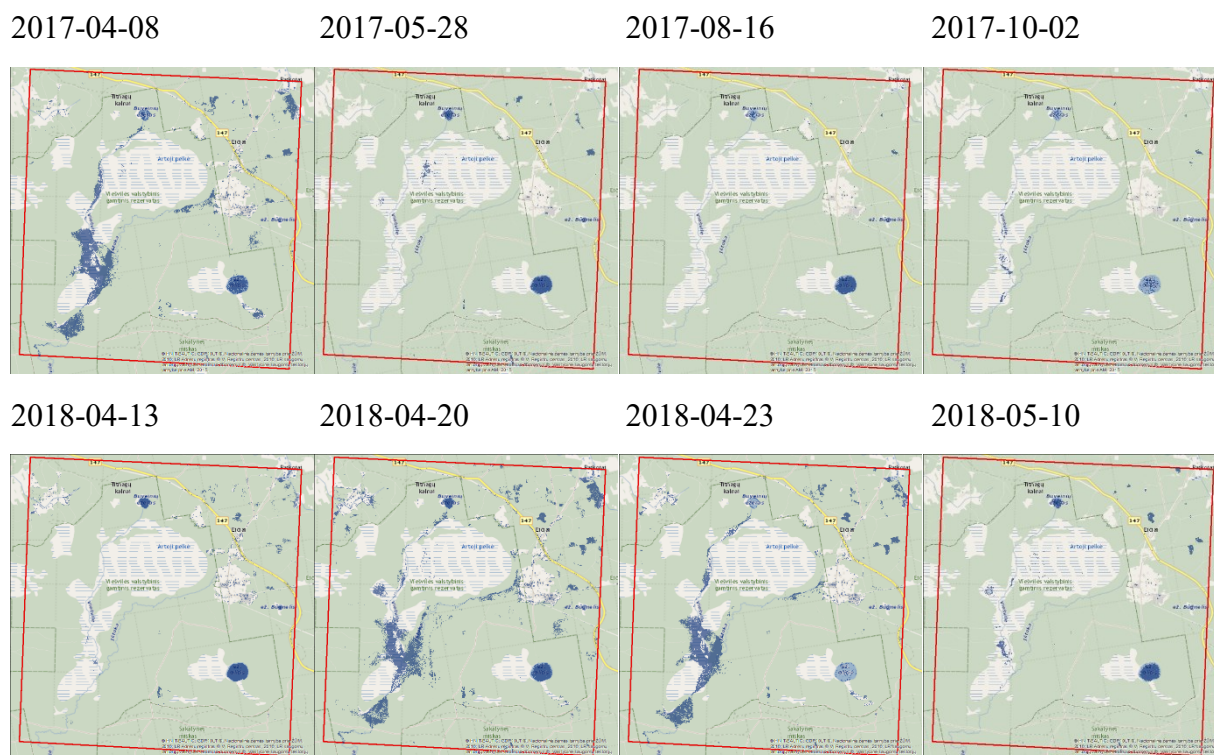
Didžiausios NDWI2 indekso reikšmės pavasario pradžioje buvo žemapelkėje ir siekė -0.38 (4.9 pav.). Tarpinėje pelkėje indekso reikšmės buvo kiek mažesnės ir siekė -0.41 (4.10 pav.). Tuo tarpu aukštapelkėje indekso reikšmės pakildavo mažiausiai ir siekė -0.51 (4.8 pav.). Kad pasirinkti taškai gali būti užliejami vandeniu rodo ir tai, kad esant didesnėms NDWI2 indekso reikšmėms, skirtumas tarp taškų reprezentuojančių drėgnas ir sausas teritorijas išauga. Tai reiškia, kad po laikotarpio su krituliais, daugiau drėgmės atsiranda taškuose, kurie galimai būna užliejami.

Tiksliai nustatyti ribines NDWI2 indekso reikšmes, kurios reprezentuoja vandens buvimą, labai sudėtinga. Kaip jau minėta anksčiau, užlietose teritorijose vanduo yra tarp augalų (2.3 pav.). Priklausomai nuo augalijos rūšių ir vegetacijos tankumo, net ir panašaus užliejimo masto teritorijos gali pasižymėti skirtingu atspindžiu. Bazinė vandens paviršiaus indekso reikšmė galima pasirinkti vandens telkinių, esančių tiriamojoje teritorijoje (1.1 pav.), atspindžius. Vandens telkinių vidutinė NDWI2 indekso reikšmė visose nuotraukose, išskyrus balandžio pabaigos – gegužės pradžios laikotarpį, siekė -0.5 arba didesnes reikšmes (4.7 pav.). Galima daryti išvadą, kad teritorijose, kuriose NDWI2 indekso reikšmės siekia -0.5, yra vanduo. Tačiau žinant, kad tai buvo tik vidutinės ežerų teritorijoje esančių pikselių reikšmės, galima teigti, kad dalies ežerų pikselių reikšmės yra net mažesnės už šią ribą, tačiau tose teritorijose vis tiek yra vandens paviršius. Siekiant tiksliau išskirti konkrečias užlietas teritorijas, buvo nagrinėjamos ne vieno indekso reikšmės, o visų tyrime analizuotų indeksų junginys, išreikštas skaičiavimo veiksmų seka, kuri remiasi vandens telkinių žemėnaudų bei vizualiai drėgnesnių teritorijų

pikselių reikšmėmis (4.11 pav.). Kadangi užlietų teritorijų pikseliai išskirti skaičiavimo seka turėjo atitikti kelių indeksų ribines reikšmes, pasirinktos NDWI, MNDWI ir NDVI ribinės indeksų reikšmės šioje skaičiavimo sekoje buvo aukštesnės, o NDWI2 žemesnės, nei realios šių indeksų reikšmės vandens paviršiuose. Pritaikius formulę ir nustatius užlietas teritorijas, šios buvo pavaizduotos ant tiriamosios teritorijos žemėlapiu (4.12 pav.)



4.11 pav. Užlietų teritorijų aptikimui skirtas sprendimų medis

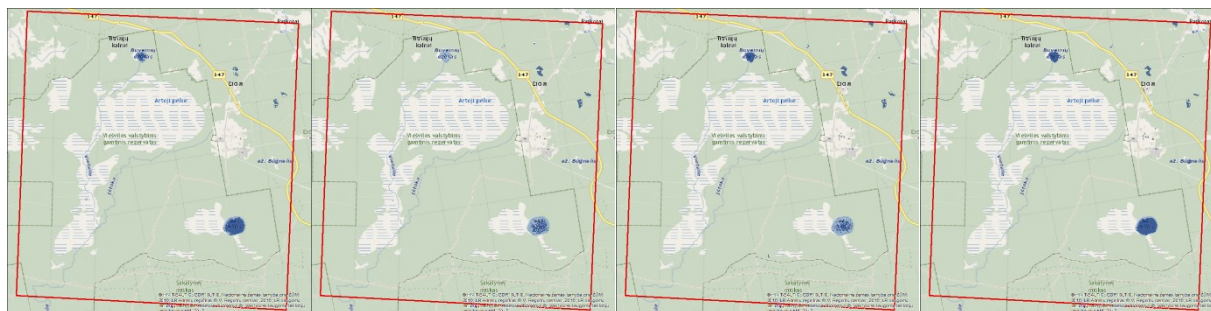


2018-05-13

2018-05-20

2018-06-09

2018-08-01



4.12 pav. Užlietų paviršiaus plotų kaita tiriamojoje teritorijoje

Didžiausi užliejami plotai tiriamojoje teritorijoje būna balandžio mėnesį (4.12 pav.). Didelį užliejamos teritorijos plotą lemia po žiemos ištirpusio sniego vandens kiekis bei dar nespėjusi suvešėti augmenija. Skurdi augmenija vandens užliejamose teritorijose pavasario metu nedaro didelės įtakos vandens atspindžio reikšmėms, todėl paskaičiavus indeksų reikšmes, nustatomi didesni užliejamos teritorijos plotai. Vasaros metu padidėjus augalijos kiekiui ir paspartėjus garavimui, prieš tai užlietose teritorijose vandens greičiausiai lieka mažiau, o augalų įtaka atspindžio reikšmėms tampa didesnė. Dėl šių priežasčių vasaros laikotarpiu užlietų teritorijų išskirti nepavyko. Rudenį augalijos kiekis bei garavimo intensyvumas ima mažėti ir vėl išryškėja užliejamos teritorijos. Dalis žemėlapyje pažymėtų užliejamų teritorijų yra pastatai arba gatvės. Šie objektai dėl panašaus atspindžio į vandenį visuose indeksuose, net ir bandant juos pašalinti skaičiavimo metu (4.11 pav.), vis tiek išliko. Pavasario metu žemėlapyje išskiriamos užliejamos teritorijos dydis galimai yra šiek tiek didesnis nei realus, nes drėgni paviršiai pasižymi panašiomis atspindžio reikšmėmis kaip ir užlieti.

Išvados

- 1) Sentinel 1 palydovo duomenų naudojimas vertinant užlietas teritorijas ir pelkėje sukaupto vandens tūrio dinamiką yra apribotas augalinės dangos atspindžio sukeliama neapibrėžtumu. Sentinel 1 duomenis būtų tikslinga taikyti tik pelkėse kuriose susiformuoja didesni nei duomenų erdvinė raiška atviro vandens plotai.
- 2) Vertinant užlietus pelkių, padengtų augaline danga, plotus pagal Sentinel 2 duomenis tikslinga naudoti kelis vandens kiekį identifikuojančius radiometrinius indeksus. Kiekvienas iš naudotų radiometrinių indeksų vandenį identifikuoja pagal skirtingus bangų ilgio atspindžius. Visi indeksai jautrūs sezoniniams augalijos dangos pokyčiams, tačiau naudojant kompleksinį užliejamų teritorijų vertinimą pagal visus tirtus indeksus, vandens kaita net ir augalija padengtuose pelkės paviršiuose gali būti įvertinta su mažesniu neapibrėžtumu.
- 3) Naudojantis Sentinel 2 palydovo duomenimis pavyko identifikuoti sezoninius užliejamų plotų pokyčius, tačiau trumpalaikiai pokyčiai, nulemti kritulių kiekio kaitos, identifikuojami su dideliu neapibrėžtumu, kuris gali būti sietinas su lėta vandens dinamika aukštapelkėse bei augalijos signalo pokyčiais nulemtais sezoninės kaitos ir meteorologinių sąlygų.

Literatūra

Bioresita F., Puissant A., Stumpf A., Malet J.P. 2018. A Method for Automatic and Rapid Mapping of Water Surfaces from Sentinel-1 Imagery. *Remote Sensing* 2018, 10, 217. doi:10.3390

Ceccato P., Flasse S., Tarantola S., Jacquemond S., Gregoire, J.M. 2001. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment* 77 P. 22–33.

Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X. 2016. Water Bodies Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote sensing* 8, 354; doi:10.3390

Yang X., Zhao S., Qin X., Zhao N., Liang L. 2017. Mapping of Urban Surface Water Bodies from Sentinel-2 MSI Imagery at 10 m Resolution via NDWI-Based Image Sharpening. *Remote Sensing*. 9. 596.

Kaplan G., Avdan U. 2017. Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite imagery. 2017 4th International Geo Advanced Workshop. Volume IV-4/W4. P. 271-277.

Liu C. 2016. Analysis of Sentinel-1 data for mapping standing water in the Twente region. Thesis submitted for the degree of master of science in geo-information science and earth observation.

Xing L., Tang X., Wang H., Fan W., Wang G. 2018. Monitoring monthly surface water dynamics of Dongting Lake using Sentinel-1 data at 10 m. *PeerJ* 6:e4992; doi: 10.7717/peerj.4992

Xu H., 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open Water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*. Vol. 27, No. 14, P. 3025-3033.

Zhang T., Su J., Liu C., Chen W. 2017. and Selection in Sentinel-2 Satellite for Agriculture Applications. *Proceedings of the 23rd international conference on automation and computing*, university of Huddersfield, Huddersfield, UK, 7-8. doi: 10.23919/IConAC.2017.8081990

Zhou Y., Dong J., Xiao X., Xiao T., Yang Z., Zhao G., Zou Z., Qin Y. 2017. Open Surface Water Mapping Algorithms: A Comparison of Water-Related Spectral Indices and Sensors. *Water* 2017, 9, 256; doi:10.3390.