

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
INFORMATIKOS IR STATISTIKOS KATEDRA

**NUOTOLINIŲ METODŲ TAIKYMAS NEMUNO
ŽEMUPIO UŽLIEJAMŲ TERITORIJŲ
KARTOGRAFAVIMUI**

Geoinformatikos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Autorius

JMNGE17, II k. stud. Gytis Juknevičius

Vadovas

Prof. dr. Inga Dailidienė

Reg.nr.....

Klaipėda, 2019

BAKALAURO IR MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

Pildo bakalauro / magistro baigiamojo darbo autorius

.....Gytis Juknevičius.....
(bakalauro / magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

.....Nuotolinių metodų taikymas Nemuno žemupio užliejamų teritorijų kartografavimui.....
(bakalauro / magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro / magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro / magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

.....Gytis Juknevičius.....
(bakalauro / magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro / magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

.....Gytis Juknevičius.....
(bakalauro / magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo bakalauro / magistro baigiamojo darbo vadovas

Bakalauro / magistro baigiamąjį darbą ginti

..... (įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)
2019..... Prof. dr. Inga Dailidienė.....
(data) (bakalauro / magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje
2019.....
(data)

Laima Brazdeikienė.....
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

Bakalauro / magistro baigiamąjį darbą ginti

..... (įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)
2019..... Prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(data) (katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu (-ais) skiriu

.....
..... (įrašyti recenzento (-ų) vardą (-us), pavardę (-es))

2019..... Prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(data) (katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

SANTRAUKA

Gytis Juknevičius

NUOTOLINIŲ METODŲ TAIKYMAS NEMUNO ŽEMUPIO UŽLIEJAMŲ TERITORIJŲ KARTOGRAFAVIMUI

Geoinformatikos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovė: prof. dr. Inga Dailidienė

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Informatikos ir statistikos katedra

Klaipėda, 2019

Darbo apimtis: 62 p, 14 lent., 29 pav.

Pagrindiniai žodžiai: Sentinel-2, Landsat-8, nuotoliniai tyrimai, žemės dangos / žemėnaudos kartografavimas, prižiūrimasis ir neprižiūrimasis klasifikavimas.

Didžiausia pavojingų potvynių tikimybė susidaryti Lietuvoje yra Nemuno upės deltoje. Nemuno žemupyje per pavasario potvynį beveik kasmet užliejamas iki 30 tūkst. ha plotas. Užtvindomo ne tik pievos, bet ir keliai, dalis miestelių, gyvenviečių. Potvynių monitoringui, prognozei ir tyrimams būtinos operatyvios stebėsenos sistemos, pritaikymas geoinformacinių ir nuotolinių metodų. Tyrimo objektas – Nemuno žemupio ir deltos regionas. Darbo tikslas - palyginti su Sentinel-2 ir Landsat-8 duomenimis sukurtų Žemės dangos žemėlapių Nemuno žemupyje klasifikavimo tikslumą ir atrinkus tiksliausią algoritmą nustatyti užliejimų kaitą 2014-2018 metų laikotarpiu. Atliekamas prižiūrimasis (minimalaus atstumo, maksimalaus panašumo, spektrinio kampo algoritmai) ir neprižiūrimasis (ISODATA algoritmas) žemėnaudos klasifikavimas, sudaromos klaidų matricos, kartografuojami užlieti plotai. Debesimis nepadengtų nuotraukų kiekis 2018 ir 2017 metų sezonų užliejimų kaitai nustatyti santykinai pakankamas, kitais sezonais nuotraukų kiekis nepakankamas. Dėl dažno tyrimo teritorijos debesuotumo rekomenduoja naudoti Sentinel-1 palydovų vaizdus. Vandens telkinius geriausiai identifikuoja ISODATA algoritmas. Žemės dangos klases tiksliausiai klasifikuoja spektrinio kampo ir ISODATA algoritmai. Tačiau dėl per mažo referencinio taškų kiekio spektrinio kampo algoritmo tikslumas klaidingai išaugęs. Pirmosios užlietos teritorijos dėl gausių kritulių matyti 2017 metų rugsėjo gale, 2015 ir 2016 metais lapkričio mėnesį. Didžiausi užliejimų pikai 2014-2015 ir 2017-2018 metų sezonais fiksuoti sausio ir kovo mėnesio laikotarpiais. Minėtais metais užliejimai pasibaigė gegužės mėnesiais. Ilgiausiai užlieti lieka Sausgalvių II ir Šyšos polderiai. Sausgalvių II pirmasis gausiai užliejamas, ir paskutinis išdžiūvantis vasaros polderis.

SUMMARY

Gytis Juknevičius

USE OF REMOTE SENSING METHODS FOR FLOOD INUNDATION MAPPING OF LOWER NEMUNAS

Master's thesis of Geoinformatics studies

Supervisor: prof. dr. Inga Dailidienė

Klaipėda University

Faculty of Marine Technology and Natural Sciences

Department of Informatics and Statistics

Klaipėda, 2019

Work's size: 62 papers, 14 tables, 29 pictures.

Key words: Sentinel-2, Landsat-8, remote sensing, Land Cover/Use Mapping, supervised and unsupervised classification.

The largest dangerous flood likelihood in Lithuania is in Nemunas delta. During the spring flood every year in Lower Nemunas flooded area reach up to 30 thousand hectares. Study object – Lower Nemunas and Nemunas Delta. The aim of the thesis is to compare the accuracy of the classification of the land cover maps created by the Sentinel-2 and Landsat-8 data in the Lower Nemunas and to select the most accurate algorithm to determine the tendency of flooding in the period of 2014-2018. The work carries out supervised (minimum distance, maximum likelihood and spectral angle algorithms) and unsupervised (ISODATA algorithm) land use classification, creation of error matrices, mapping of flooded areas. When clouds are not covering pictures, it can be said that the number of satellite images is relatively sufficient to detect the tendency of the floods of the 2018 and 2017 seasons, but the number of photos in the following seasons is not sufficient. Due to frequent clouds of the study area, it is also recommended to use Sentinel-1 satellite images. The water bodies are best identified by the ISODATA algorithm. In general, the land cover classes are most accurately classified by spectral angle and ISODATA algorithms. However, due to the low number of reference points, the accuracy of the spectral angle algorithm has erroneously increased. The first flooded areas can be seen at the end of September 2017, November 2015 and 2016 due to heavy rainfall. The flood peaks in the 2014-2015 and 2017-2018 periods were recorded in January and March. In the aforementioned years, floods ended in May. The longest flooded areas remains in Sausgalvių II and Šyšos polders. Sausgalvių polder is the first to be flooded and the last to become dry summer polder.

Lentelių sąrašas

- 1 lentelė.* Landsat-8 OLI ir TIRS jutiklių spektrinių juostų charakteristikos. 16 psl.
- 2 lentelė.* Sentinel-2 palydovų spektrinių juostų charakteristikos. 17 psl.
- 3 lentelė.* 2014.10.29 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica. 29 psl.
- 4 lentelė.* 2014.10.29 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica. 30 psl.
- 5 lentelė.* 2014.10.29 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica. 31 psl.
- 6 lentelė.* 2014.10.29 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica. 33 psl.
- 7 lentelė.* 2018.05.01 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica. 35 psl.
- 8 lentelė.* 2018.05.01 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica. 37 psl.
- 9 lentelė.* 2018.05.01 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica. 38 psl.
- 10 lentelė.* 2018.05.01 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica. 39 psl.
- 11 lentelė.* 2014.04.27 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica. 42 psl.
- 12 lentelė.* 2014.04.27 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica. 43 psl.
- 13 lentelė.* 2014.04.27 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica. 45 psl.
- 14 lentelė.* 2014.04.27 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica. 46 psl.

Paveikslų sąrašas

- 1 pav. Potvynių rizikos žemėlapis Lietuvoje. 8 psl.
- 2 pav. Nemuno žemupio polderių schema. 10 psl.
- 3 pav. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys grėsmingų potvynių formavimąsi Nemuno žemupyje. 12 psl.
- 4 pav. Pagrindinių Žemės paviršiaus objektų elektromagnetinių bangų atspindėjimo charakteristikos įvairiose elektromagnetinio spektro zonose. 13 psl.
- 5 pav. Elektromagnetinės energijos spektrai. 14 psl.
- 6 pav. Landsat-7 Žemės skenavimas su įjungtu/išjungtu skenavimo linijos korektoriumi. 15 psl.
- 7 pav. Landsat-7 vaizdo fragmentas su trūkstamu duomenų kiekiu. 15 psl.
- 8 pav. Prižiūravimo klasifikavimo pagrindiniai žingsniai. 19 psl.
- 9 pav. Neprižiūravimo klasifikavimo pagrindiniai žingsniai. 19 psl.
- 10 pav. Vandens telkinių identifikavimas sugrupuojant panašius pikselius. 22 psl.
- 11 pav. Prižiūravimo klasifikavimo darbo eigos schema. 23 psl.
- 12 pav. Neprižiūravimo klasifikavimo darbo eigos schema. 24 psl.
- 13 pav. Tikslumo vertinimo darbo eigos schema. 25 psl.
- 14 pav. Užliejamų teritorijų ploto apskaičiavimo darbo eigos schema. 26 psl.
- 15 pav. 2014.10.29 (prieš potvynį) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija prižiūravimo ir neprižiūravimo klasifikavimo algoritmais. 34 psl.
- 16 pav. 2018.05.01 (potvynio metu) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija prižiūravimo ir neprižiūravimo klasifikavimo algoritmais. 40 psl.
- 17 pav. 2014.04.27 (potvyniui bepasibaigiant) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija prižiūravimo ir neprižiūravimo klasifikavimo algoritmais. 47 psl.
- 18 pav. Nemuno žemupio 2014 m. sezono užlietos teritorijos. 49 psl.
- 19 pav. Nemuno žemupio 2014 m. užliejamų plotų kaita. 50 psl.
- 20 pav. Nemuno žemupio 2015 m. sezono užlietos teritorijos. 51 psl.
- 21 pav. Nemuno žemupio 2015 m. užliejamų plotų kaita. 52 psl.
- 22 pav. Nemuno žemupio 2016 m. sezono užlietos teritorijos. 52 psl.
- 23 pav. Nemuno žemupio 2017 m. sezono užlietos teritorijos lapkričio-sausio mėnesiais. 53 psl.
- 24 pav. Nemuno žemupio 2017 m. sezono užlietos teritorijos sausio-gegužės mėnesiais. 54 psl.
- 25 pav. Nemuno žemupio 2016-2017 m. užliejamų plotų kaita. 56 psl.
- 26 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos rugsėjo-kovo mėnesiais. 57 psl.
- 27 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos kovo-gegužės mėnesiais. 58 psl.
- 28 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos gegužės 8 ir 13 dieną. 59 psl.
- 29 pav. Nemuno žemupio 2017-2018 m. užliejamų plotų kaita. 60 psl.

Terminų žodynas

Klasė - pikselių grupė vaizde, vaizduojanti tą patį objektą ant Žemės paviršiaus.

Klasteris - Pikselių grupė, išskiriama daugialypėje atributų erdvėje. Klasteris yra panašus į klasę, išskyrus tai, kad pamatinis objektas, kurį jis vaizduoja, nežinomas, kai atliekama klasterizacijos analizė.

Vaizdo klasifikavimas - nuotraukos pikselių rūšiavimo ar suskirstymo į klases ar grupes procesas.

Iso klasteris - ISODATA klasterizavimo algoritmas, kuris nustato natūralių pikselių grupių savybes daugiamatėje atributų erdvėje ir saugo rezultatus išvesties ASCII parašo faile.

Pikselis - mažiausias informacijos vienetas vaizde arba rastriniame žemėlapyje, paprastai kvadratinis arba stačiakampis. Terminas pikselis dažnai naudojamas sinonimiškai su ląstelėmis.

Parašo failas - jame įrašomi skirtingų klasių spektriniai parašai tarp grupių. Kiekvienai klasei paraše nurodomi vidurkiai ir kovariacijos, apskaičiuotos pagal jo mokymo pavyzdį.

Mokymo sluoksniai – pikselių imtis, kuri reprezentuoja tam tikrą klasę prižiūrimajame mokyme. Mokymo imtis pateikia pavyzdžius į kokias klases skirstyti nuotrauką.

Prižiūrimasis klasifikavimas - vaizdo klasifikavimo metodas, grindžiamas analitiko surinktais mokymo pavyzdžiais. Mokymo pavyzdžiai „moko“ programinę įrangą, kaip klasifikuoti likusius vaizdo taškus.

Neprižiūrimasis klasifikavimas - vaizdo klasifikavimo metodas, pagal kurį atvaizdo vaizdo elementai rūšiuojami į grupes be analitiko įsikišimo. Procesas grindžiamas tik pikselių reikšmių pasiskirstymu daugiamatėje atributo erdvėje.

Referenciniai duomenys - tai atsitiktinai išdėstytų požymių serija, išsklaidyta visame klasifikuotame rastre, kurie buvo įvertinti pagal atskaitos duomenų rinkinį, siekiant nustatyti, kurią klasę jie atstovauja. Yra daug atsitiktinių mėginių ėmimo procesų, tačiau du iš labiausiai paplitusių yra paprasti atsitiktiniai ir stratifikuoti atsitiktiniai.

Skaitmeninis Žemės paviršiaus modelis (DTM) - antžeminis rastrinis tinklas, susijęs su vertikaliu atskaitos tašku. Šiame rastre talpinama tik Žemės dangos informacija, atmetant ant jos esančią informaciją kaip pastatai, medžiai ir kt.

Skaitmeninis paviršiaus modelis (DSM) – rastrinis aukščio modelis, ne tik Žemės paviršiaus, bet ir apimantis pastatų, medžių, elektros linijų ir kitų objektų viršūnes.

TURINYS

IŠVADAS	3
I. LITERATŪROS APŽVALGA.....	5
1.1. Mokslinių tyrimų apžvalga	5
1.2. Teritorijų užliejimų priežastys Lietuvoje	6
1.3. Nemuno žemupio užliejimų charakteristika.....	8
1.4. Nuotolinių tyrimų metodai.....	12
1.4.1. Landsat-8 palydoviniai vaizdai	14
1.4.2. Sentinel-2 palydoviniai vaizdai.....	16
1.5. Žemės dangos klasifikavimo algoritmai	18
II. TYRIMO METODAI	22
2.1. Prižiūrimojo klasifikavimo metodika.....	22
2.2. Neprižiūrimojo klasifikavimo metodika	24
2.3. Tikslumo vertinimo metodika	25
2.4. Užliejamų plotų kaitos skaičiavimų metodika	26
III. TYRIMO REZULTATAI.....	27
3.1. Palydovų nuotraukų pritaikomumas	27
3.2. Klasifikavimo algoritmų tikslumo vertinimas	28
3.3. Nemuno žemupio užliejimai 2014-2018 m.....	48
IV. TYRIMO REZULTATŲ APTARIMAS	61
4.1. Palydovų nuotraukų pritaikomumo aptarimas	61
4.2. Klasifikavimo algoritmų tikslumo vertinimo aptarimas	61
4.3. Nemuno žemupio užliejimų kaitos aptarimas	62
IŠVADOS.....	64
LITERATŪROS SĄRAŠAS	65

IVADAS

Potvyniai yra labiausiai niokojantys, dažnai pasitaikantys gamtos reiškiniai pasaulyje, be to, užliejamos teritorijos pasaulyje tampa vis aktualesnė problema (Horton et al., 2013; Levermann et al., 2013). Dėl besikeičiančių klimato sąlygų ir su tuo susijusių reiškinių apseimiama vis daugiau sausumos teritorijų. Sausumos užliejamos dažniausiai dėl upių potvynių bei kylančio vandenyno lygio. Nenumatytas vandens lygio kilimas gali žmonėms atnešti ne tik nuostolių, bet ir sukelti pavojų gyvybei. Įvertinus klimato kaitos įtaką potvyniams Lietuvos Aplinkos apsaugos agentūra numatė, kad potvynių problemos Lietuvoje išliks aktualios ir ateityje. Tai reiškia, kad Nemuno žemupyje ir deltoje, kur potvynių susidarymo tikimybė yra didžiausia Lietuvoje, potvynių pavojus dėl vyraujančio lėkšto, žemo ir lygaus reljefo tik dar labiau padidės (Aplinkos..., 2013).

Distancinio zondavimo (nuotolinio skaitymo) metodai suteikia galimybę stebėti Žemės paviršiaus pokyčius, taip pat kartografuoti ir efektyviai tvarkyti kitą gamtos turtą. Didėjant eksploatuojamų kosminių palydovų kiekiui, padidėjo ir jų panaudojimo galimybės, laisvai prieinamų duomenų kiekis paprastam vartotojui, sumažėjo atliekamų mokslinių tyrimų sąnaudos. Palydovinės nuotraukos ypač tinka užliejimų kartografavimui dėl aukštos erdvinės rezoliucijos, geresnio jautrumo ryškumui ir spalvoms (Acharya et al., 2016). Palydovinių nuotraukų panaudojimas užliejimų kartografavimui prasidėjo atsiradus Landsat „Thematic Mapper“ ir multispektrinių skanerių jutikliams, pažangiems labai aukštos rezoliucijos radiometrams, pažangiems kosminės terminės emisijos ir atspindžio radiometrams (ASTER), MODIS ir Landsat-7 jutikliams (Khan et al., 2011).

Geografinės informacinės sistemos (GIS) yra plačiai naudojamos rinkti, valdyti, saugoti ir analizuoti erdvinę informaciją iš įvairių šaltinių: aerofotonuotraukų, palydovinių vaizdų ir skaitmeninių Žemės paviršiaus modelių (DTM) (Kundzewich, Schellnhuber, 2004). Taip pat GIS turi gausų aplinkos modeliavimo įrankių paketą („HEC-GeoRAS“, „ArcHydro“ ir kt.), kurių pagalba nustatomos vietovės kurios bus paveiktos potvynių (Uddin et al, 2013). Vienas didžiausių GIS privalumų potvynių valdyme ir planavime yra tai, kad ši sistema sugeneruoja potvynių rizikos plotų vizualizacijas, kurios sukuria potencialą tolesnei gauto produkto analizei, tokio kaip užliejimų sukeltos žalos įvertinimas ir kt. (Pacifi et al., 2009). Pagrindinis dėmesys šioje srityje sukasi aplink užliejamų zonų identifikavimą, potvynių kartografavimą ir rizikos vertinimą potvyniams jautriose vietovėse (Dronova et al., 2011). Užliejamų teritorijų kartografavimo tyrimai padeda organizuoti probleminių teritorijų vystymo galimybes ir tai yra pirmas žingsnis sukeltos žalos laipsniškam mažinimui (Iglseider et al., 1995).

Žemės dangos ir žemėnaudos žemėlapių sudarymas ir analizė yra itin svarbūs įvairių aplinkosaugos ir kartografavimo sričių tyrimuose. Žemės dangos kartografavimas ir monitoringas buvo plačiai pripažinti svarbiu moksliniu tikslu, nes sukurta informacija naudojama aplinkos ir

atmosferos modeliams, sprendimų priėmimo procedūroms paremti ir kt. (Wulder et al., 2008; Zhu, Woodcock, 2014). Kadangi galima gauti greitus, periodiškus ir tikslius duomenis iš nuotolinio stebėjimo sistemos, palydoviniai vaizdai yra svarbus šaltinis kuriant žemės dangos / naudojimo informaciją. Žemės dangos ir žemėnaudos tyrimai yra tarpdisciplininiai, apimantys specialistus iš įvairių sričių – nuo politikų iki privačių kompanijų ar nuo universitetų iki vietos gyventojų bendruomenių.

Šiame darbe nagrinėjamos Nemuno žemupio potvynių kartografavimo galimybės naudojant nuotolinius metodus, analizuojamas prižiūravimo ir neprižiūravimo žemės dangos klasifikavimo algoritmų tinkamumas ir tikslumas, galiausiai nustatoma žemupio užliejimų kaita 2014 – 2018 metų laikotarpiu. Šiuo darbu siekta užpildyti spragą Nemuno žemupio užliejimų kartografavimo tyrimų srityje, kadangi darbų, kuriuose potvyniai žemupyje būtų kartografuojami iš optinių palydovų nuotraukų, neaptikta. Labiau tyrimai (Aplinkos..., 2013; Dumbrauskas, 2010) sukonzentruoti atliekant Nemuno upės hidraulinių ir hidrologinių modeliavimą.

Darbo tikslas: palyginti su Sentinel-2 ir Landsat-8 duomenimis sukurtų žemės dangos žemėlapių Nemuno žemupyje klasifikavimo tikslumą ir atrinkus tiksliausią algoritmą nustatyti užliejimų teritorijų plotus 2014-2018 metų laikotarpiu.

Darbo uždaviniai:

1. Įvertinti Sentinel-2 ir Landsat-8 kosminio palydovo nuotraukų pritaikomumą Nemuno žemupio užliejimų kartografavimui.
2. Išanalizuoti prižiūravimo ir neprižiūravimo žemės dangos klasifikavimo algoritmų tikslumus.
3. Nustatyti užliejimų teritorijų kaitą Nemuno žemupyje 2014-2018 metų laikotarpiu, pritaikant pirmo lygio palydovinius duomenis ir kartografavimo metodus.

Padėka: Išreiškiama nuoširdi padėka prof. dr. Ingai Dailidienei padėjusiai šį darbą pristatyti KU Jūros tyrimų instituto (JTI) organizuotoje 12-ojoje nacionalinėje jūros mokslų ir technologijų konferencijoje „Jūros ir krantų tyrimai 2019“.

I. LITERATŪROS APŽVALGA

Pastaruosius kelis dešimtmečius auga mokslininkų susidomėjimas potvynių ir užliejamų teritorijų tyrimais. Dėl klimato kaitos pasaulyje išaugo vietų nukentėjusių nuo potvynio, įvyksta daugybė mirčių ir padaroma žala šalies ekonomikai. Tad kilo globalus susirūpinimas spręsti šią iškilusią problemą (Kuldeep, 2015; Ward et al., 2013). Pastaraisiais metais daugėjant nemokamai ir laisvai prieinamai palydovinei informacijai, sumažėjo potvynių žalos tyrimų atlikimo kaina ir laiko sąnaudos. Pakankamai aukštos rezoliucijos nuotraukos su dažna seka suteikia galimybę analizuoti potvynių kaitą, tendencijas, potvynio paveiktas teritorijas (Fayne et al., 2017; Schumann et al., 2018).

1.1. Mokslinių tyrimų apžvalga

Lietuvoje pastaruosius dešimtmečius potvynių ir užliejimų analizė sutelkta į hidraulinių ir hidrologinių modeliavimą, tyrimai nuotoliniais metodais dar tik pradedami plačiau įgyvendinti. Vieni pirmųjų potvynių grėsmės ir rizikos žemėlapių sudaryti vakarų Lietuvos regionui, kur didžiausia potvynio galimybė. 2003 metais atlikus Klaipėdos ir Tauragės apskričių modeliavimą, nustatytos teritorijos, kurias užlietu 1 procento tikimybės potvynis. Gauti rezultatai leido teikti rekomendacijas keičiant teisės ir normatyvinius aktus, siekiant optimalesnės žemėtvarkos rizikos teritorijose (Dumbrasukas, 2003). 2007 m. Europos Sąjungoje buvo priimta Potvynių direktyva, kurios tikslas buvo iki 2015 m. pabaigos sukurti potvynių rizikos įvertinimo ir valdymo sistemą, siekiant sumažinti neigiamas potvynių pasekmes žmonių sveikatai, aplinkai, kultūros paveldui ir ekonominei veiklai. 2009 m. Lietuvos Respublikos Vyriausybė, įgyvendindama Potvynių direktyvoje nurodytus reikalavimus, patvirtino Potvynių rizikos vertinimo ir valdymo tvarkos aprašą. Pirmajame etape parengta ir patvirtinta preliminari potvynių rizikos vertinimo ataskaita, antrajame - parengti potvynių grėsmės ir potvynių rizikos žemėlapiai, trečiajame - parengti ir patvirtinti potvynių rizikos valdymo planai. Šiuo metu vyksta pirmojo ir antrojo etapo metu sudarytos informacijos atnaujinimas, ateityje planuojama atnaujinti trečiojo etapo informaciją ir vykdyti teisinį, inžinerinį ir visuomenės informavimo priemonių įgyvendinimą (Aplinkos..., 2018).

Potvynių ir užliejimų analizei dažniausiai naudojami žemos-vidutinės rezoliucijos MODIS ir PROBA-V multispektriniai duomenys bei vidutinės-aukštos rezoliucijos Landsat ir Sentinel palydovų duomenys (Notti et al., 2018). Dažniausiai taikomi metodai potvynių informacijai išgauti – indeksų taikymas ir nuotraukos klasifikacija. Dažniausiai darbuose naudojami NDVI, NDWI, MNDVI ir MNDWI indeksai. Klasifikuoti nuotraukas dažniausiai taikomi prižiūravimo klasifikavimo algoritmai, taip pat neprižiūravimo klasifikavimo algoritmai (Kordelas et al, 2018).

Dėl temos aktualumo ir platumo, egzistuoja gausybė potvynių tyrimų kryptių. Tarp darbuose analizuojamų kryptių sutinkamas potvynių masto kartografavimas ir užlietu teritorijų plotų

skaičiavimas. Kartografuojami ne tik pavieniai sezoniniai potvyniai, bandoma nustatyti ir daugiametę potvynių tendenciją iš palydovinių nuotraukų (Olthof, 2017). Dažnu atveju gauti rezultatai perduodami vietos institucijoms siekiant padėti rengti optimalesnį žemėtvarkos planą (Cicala et al., 2016). Taip pat dažnai tarpusavyje lyginamos metodikos: analizuojami metodikų tikslumai pasitelkus klaidų matricas, laiko sąnaudos ir kt. (Topaloglu et al., 2016; Kordelas et al., 2018; Carrasco et al., 2019). Dažnai darbuose minima, kad indeksai nusileidžia savo tikslumu, tačiau jiems reikia mažiau laiko sąnaudų ir papildomų duomenų (Tadele et al., 2017; Kordelas et al., 2018; Zhang et al., 2019). Ne ką mažiau svarbi ir palydovų nuotraukų pakankamumo analizė. Notti et al. (2018) darbe analizuojamas laisvai prieinamų palydovinių nuotraukų pakankamumas Ebro upės Ispanijoje ir Po upės Italijoje užliejamų teritorijų analizei. Tyrimo rezultatai parodė, kad optiniams palydovams Ebro upės kartografavimui duomenų pakako dėl reto debesuotumo, tuo tarpu Po upės potvyniams optinių palydovų informacijos pritrūko dėl debesuotų dienų dažnumo.

Apibendrinant, šis darbas užpildys spragą Nemuno žemupio užliejimų kartografavime iš optinių palydovinių nuotraukų. Lietuvos Aplinkos apsaugos agentūrai toliau įgyvendinant Potvynių direktyvą, darbe gauti rezultatai pasitarnautų tolimesniems direktyvos vykdymo etapams.

1.2. Teritorijų užliejimų priežastys Lietuvoje

Upės potvynis yra vandens režimo fazė, kasmet pasikartojanti tuo pačiu sezonu. Jai būdingi dideli debitai, ilgai trunkantys aukšti vandens lygiai (Damulevičius, Vyčius, 2008). Upių potvyniai – tai labai dažnai pasitaikanti stichinė nelaimė, kurių metu yra užtvindomi miestai, gyvenvietės ir žemės ūkio objektai bei padaroma vienokia ar kitokia žala. Padarytų nuostolių dydis priklauso nuo to, ar aukštai ir koku greičiu vanduo kyla, kokį plotą užtvindo, ar laiku potvynis buvo numatytas, ar yra hidrotechninių statinių jam sumažinti (Poška, Punys, 1996).

Pagrindinės sąlygos, kurios Lietuvoje sukelia sausumų užliejimą yra: upėse sniego tirpsmo bei ledo sangrūdų sukeliama potvyniai bei gausių kritulių sukeliama poplūdžiai. Taip pat potvyniai susidaro dėl kylančio vandenyno lygio, hidrotechninių objektų avarių bei besikeičiančio klimato (Aplinkos..., 2011).

Pavojingiausi potvyniai skirstomi į stichinius (užliejamos teritorijos, gali būti užliejamos tik vieno procento arba mažesnės tikimybės potvynio metu) ir katastrofinius (užliejamos teritorijos, kurios gali būti užliejamos tik vienos dešimtosios procento arba mažesnės tikimybės potvynio metu) (Aplinkos..., 2011).

Lietuvos sąlygomis yra būdingi pavasario potvyniai, o Vakarų Lietuvoje – ir žiemos poplūdžiai. Didžiausia pavojingų potvynių tikimybė yra Nemuno deltoje. Pavasario potvyniai čia vidutiniškai tęsiasi maždaug apie 60 dienų (atskiris metais – net iki 95 dienų). Vidutiniškai kartą per dešimtmetį Nemuno deltoje užliejama apie 300 km² teritorija. Per vieną didžiausių stebėtų potvynių 1958 m.

Nemuno deltoje ir pamaryje buvo užlieta 1300 km² (iš jų Lietuvoje – daugiau kaip 570 km²) (Baltrėnas ir kt., 2008).

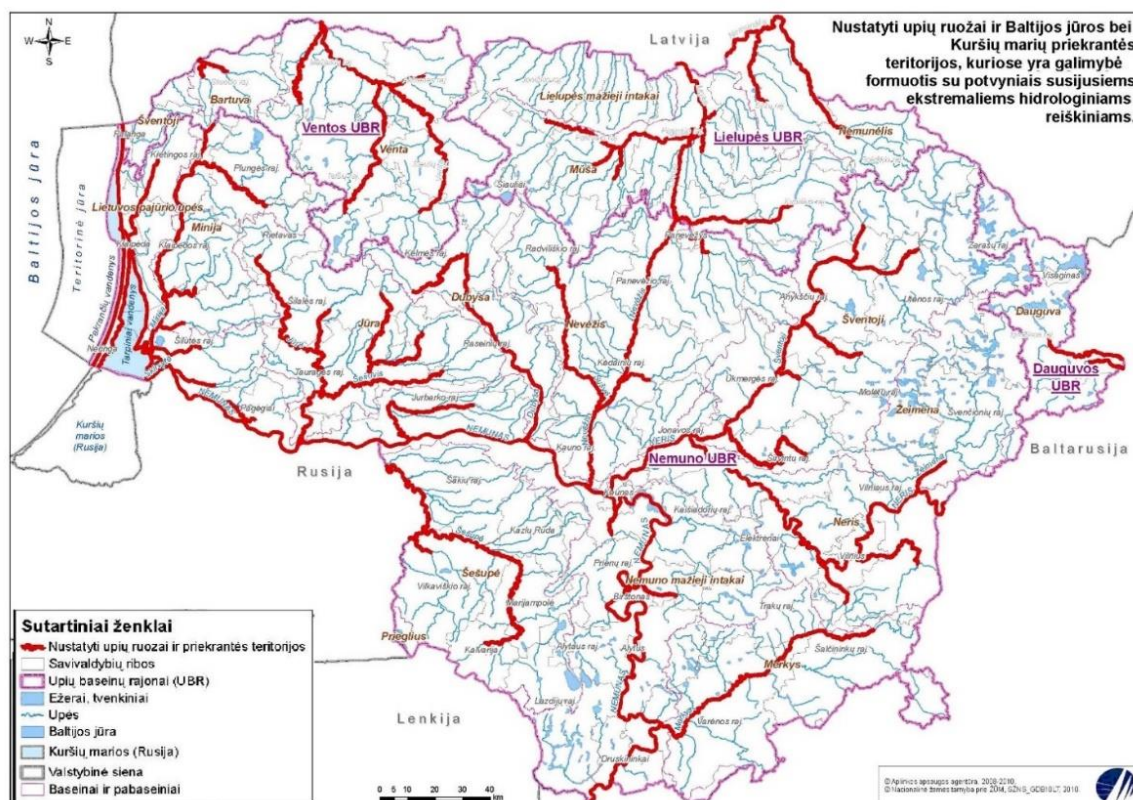
Lietuva vykdydama Europos Sąjungos įsipareigojimus 2011 metais atlikto išsamų preliminarų potvynių rizikos įvertinimą Lietuvos Respublikoje. Jo metu buvo išanalizuoti praeityje įvykę stichiniai, katastrofiniai ir kiti didelio masto potvyniai, apžvelgta klimato kaitos įtaka potvyniams, įvertinta tikimybė ateityje kilti panašioms potvyniams ir potvynių poveikis žmonių sveikatai, aplinkai, kultūros paveldui ir ekonominei veiklai. Analizuojant potvynius, įvertinti jų mastai, hidrologinės charakteristikos, hidrologinės ir meteorologinės sąlygos, dėl kurių formuojasi ekstremalūs potvyniai, klimato kaitos įtaka upių vandeningumui, audrų pasikartojimo dažnumui, vandens lygio Baltijos jūroje ir Kuršių mariose kaitai ir kiti faktoriai (Aplinkos ministerija, 2012).

Išsamesnės žinios apie potvynius sukauptos tik pradėdant XIX amžiumi, pradėjus stebėti vandens lygio režimą. Pirmosios hidrologijos stotys Lietuvoje įkurtos 1812–1820 metais Nemuno žemupyje: Rusnėje, Tilžėje ir Smalininkuose. Todėl daugiausiai žinoma apie potvynius kilusius Nemuno deltoje. Trečiame XX amžiaus dešimtmetyje Lietuvoje buvo sparčiai plečiamas hidrologijos stočių tinklas. Pradedant šiuo laikotarpiu atsiranda daugiau informacijos apie mažesnių upių potvynius (Barisas, 1977).

Atliekant preliminarų potvynių rizikos įvertinimo I etapą Aplinkos apsaugos agentūra (2018) nustatė, kad Lietuvoje nuo 1812 iki 2010 m. įvyko 154 stichiniai arba katastrofiniai potvyniai. Dažniausiai potvyniai kilo dėl sniego tirpsmo ir ledo kamščių (apie 70-75 proc. atvejų), intensyvių liūčių (apie 15 proc. atvejų). Kitos priežastys, tokios kaip vandens lygio Baltijos jūroje pakilimas, hidrotechnikos statinių avarijos ir pan. sudarė apie 15 proc. atvejų. Dažniausiai potvyniai Lietuvoje kilo pavasario (60 proc.) ir žiemos (35 proc.) metu. Labai retai potvyniai kilo vasaros (4 proc.) ir rudens (1 proc.) laikotarpiais.

Atlikus tyrimus buvo išskirtos upės ir Baltijos jūros bei Kuršių marių priekrantės teritorijos, kuriose praeityje buvo stichiniai, katastrofiniai ir kiti didelio masto potvyniai, arba numatoma, kad dėl klimato kaitos tokie potvyniai gali kilti ateityje. Taip pat buvo išskirtos upės ir priekrantės teritorijos, kuriose dėl reljefo ypatybių, vandentakių padėties ir jų bendrų hidrologinių ir geomorfologinių ypatybių ateityje gali kilti potvyniai, kurie dėl didelio vandeningumo potvynio metu gali sukelti reikšmingas neigiamas pasekmes (1 pav.) (Aplinkos ministerija, 2012).

Viso Lietuvoje buvo išskirtos 54 skirtingų upių atkarpos, kuriose yra galimybė formotis su potvyniais susijusiems ekstremaliems reiškiniams. Teritorijos, besiribojančios su Baltijos jūra bei Kuršių mariomis, taip pat išskiriamos kaip jautrios potvynių atžvilgiu. Bendras šių upių atkarpų ir pakrantės ilgis sudaro 3994 km. Remiantis preliminariu įvertinimu potvyniai kelia pavojų daugiau nei 5 proc. (351 tūkst. ha) Lietuvos Respublikos teritorijos (Aplinkos ministerija, 2012).



1 pav. Potvynių rizikos žemėlapis Lietuvoje (Aplinkos ministerija, 2012)

Įvertinus klimato kaitos įtaką potvyniams numatoma, kad potvynių problemos išliks aktualios ir ateityje. Prognozuojami pavasario potvynių scenarijai: 1) pavasario potvyniai formosis anksčiau; 2) pavasario potvynių maksimalūs debitai ir potvynių mastas bei intensyvumas turės mažėjimo tendenciją; 3) vakarinėje šalies dalyje XXI a. pabaigoje rudens ir pavasario potvyniai beveik susilies į ištisinį žiemos potvynį. Numatomi liūčių sukeltų potvynių scenarijai: 1) gausių kritulių pasikartojimas augs; 2) uraganinių audrų pasikartojimas išaugs; 3) lietaus sukeltų potvynių pasikartojimas dažnės; 4) didžiausia tikimybė kilti lietaus sukeltiems poplūdziams numatoma rudenį. Vandens lygio kilimas Baltijos jūroje ir Kuršių mariose: 1) Lietuvos pakrantėje žiemą vidutinis vandens lygis gali pakilti net iki 100 cm; 2) Kuršių mariose labiausiai tikėtinas vidutinio vandens lygio pakilimas 27–63 cm, dėl vėjo ir Nemuno potvynių poveikio lygis gali pakilti iki 217 cm (Aplinkos..., 2018).

1.3. Nemuno žemupio užliejimų charakteristika

Kaip ir visos upės, Nemunas skirstomas į aukštupį, vidurupį ir žemupį. Ties Kaunu Nemunas pasiekia Vidurio Lietuvos žemumą ir suka į vakarus. Tai žemupio, kuris tęsiasi apie 200 km, pradžia. Upė labai išplatėja, išilginis vagos nuolydis ir tėkmės greitis sumažėja. Dėl iškrentančių nešmenų, upės vaga čia dažnai pasislenka į vieną ar kitą pusę, susiformuoja laikinos salos. Nemunas išsiskiria į dvi atšakas 48-ame kilometre nuo žiočių: dešiniąją - Rusnę ir kairiąją - Matrosovką (Giliją). Vėliau Rusnė atsišakoja į Atmatą ir Skirvytę (13 km nuo žiočių). Pastaroji turi dar keletą smulkesnių atšakų.

Taip susiformavusi vėduoklės formos Nemuno delta. Atmata yra laikoma pagrindine atšaka, nors didesni debitai teka Skirvyte. Siena tarp Rusijos ir Lietuvos nuo Gilijos iki Skirvytės eina Rusnės vagos viduriu, o toliau Skirvytės (Dumbrasukas, 2003).

Potvynių susidarymo tikimybė Nemuno deltoje yra didžiausia visoje Lietuvoje. Didžiausia Nemuno deltos dalis priklauso Šilutės rajonui, taigi jam ir tenka beveik visa Lietuvoje potvynių padaromos žalos našta (Rainys, 1973).

Nemuno delta yra beveik benuolydinė žemuma, susiformavusi buvusioje Baltijos jūros įlankoje. Vandens svyravimai deltoje apsprendžiami Nemuno baseino nuotėkio kitimu, nes 92 % viso deltos vandens nuotakio sudaro Nemuno ir aukštutinių intakų nuotėkis, o jo žemutinių intakų kaip Minija, Šyša, Gėgė ir kiti tik 8 %. Todėl žemutinių intakų vandens nuotėkio svyravimai deltos vandens svyravimams yra mažai reikšmingi. Didelę įtaką deltos vandens aukščiui turi vandens aukštis Kuršių mariose. Pakilus vandens aukščiui Kuršių mariose, patvenkiamos Nemuno žiotys ir pakyla vanduo visuose deltos vandens šaltiniuose. Didžiausi vandens aukščio svyravimai stebimi potvynio metu. Vandens debitas tuo metu padidėja iki 5 - 7 tūkst. m³/s (Vaikasas, Rimkus, 1997).

Nemuno žemupyje per pavasario potvynį beveik kasmet užliejamas iki 30 tūkst. ha plotas. Žemutinės deltos upėse potvynius sukelia vakarų vėjai. Pagrindinė vandens masė atiteka Nemunu. Nemuno deltos intakų – Gėgės, Veržės, Leitės ir Šyšos – potvynių debitai yra nedideli ir nesiekia 2 % Nemuno debito. Nemuno dešiniojo intako – Minijos 1 % tikimybės debitas siekia 500 m³/s, tačiau jis įsilieja į delta tik 3 km aukščiau Atmatos žiočių, todėl jo poveikis vandens lygių svyravimams deltoje mažai pasireiškia. Svarbiausia potvynio priežastis: krituliai, sniego tirpimas ir ledonešis. Susigrūdus ledams, susidaro kamščiai upių vagose, dėl ko pakyla vanduo atskirose deltos vietose. Lemiamą poveikį deltos vandens režimui turi Nemuno nuotėkis ir Kuršių marių vandens lygio svyravimai (Dumbrasukas, 2010).

Potvynis turi 3 fazes: kilimo, stabilizavimosi ir slūgimo. Vandens lygių kilimo fazėje vasaros polderiai pradedami užlieti per Nemuno vagos bei intakų prievaginio volo ir pylimų žemiausias vietas. Liejantis vandeniui į sausą (neužlietą) polderį, momentiniai tėkmių greičiai ir vandens nuolydžiai būna didžiausi; tada daugiausia išplaunami pylimai ir ypač suarta dirva. Stabilizacijos fazėje susidaro vieninga slėnio tėkmė, tekanti lygiagrečiai su pagrindine Nemuno vaga ir susisiekianti su ja per įtekėjimo ir ištekėjimo barus. Šioje fazėje tėkmių plaunamoji galia yra mažesnė. Trečioje, slūgimo fazėje kai kurios slėnio tėkmės dar kartą keičia savo kryptį ir ima tekėti vagos link. Šios tėkmės yra silpnesnės nei pirmųjų fazių. Svarbiausias potvynio kriterijus yra vandens šaltinio kritinis aukštis, prie kurio prasideda deltos užliejimas. Užliejimo metu skirtinguose matavimo postuose būna įvairaus gilumo užlieto vandens sluoksnis (Dumbrasukas, 2010).

Šyšos polderio (2 pav.) paviršiaus altitudė yra 0,5 - 0,6 m. Smalkų ir Tulkiaragės polderiai užliejami beveik tuo pačiu metu, kai vandens aukštis atitinka 96 % aukščio tikimybei, per krantų

ruožus, kurių aukščiai yra atitinkamai 0,7 ir 0,8 m aukščio. Vidutinė Smalkų polderio paviršiaus altitudė yra 0,1 - 0,2 m. Uostadvario polderis yra užliejamas iš Atmatos upės esant 10 – 15 % aukščio tikimybei Uostadvario matavimo poste. Labiausiai tikėtinos užliejimo vietos yra pylimas, esantis 6 km nuo Atmatos žiočių, kur jo aukštis 1,45 - 1,5 m. Uostadvario polderio paviršiaus altitudė 0,15 - 0,20 m. Esant potvynio vandens paviršiaus nuolydžiui 0,1 - 0,12 %, Šyšos, Smalkų ir Uostadvario polderiai pradedami užlieti, esant vandens horizontui Rusnės matavimo poste atitinkamai 0,9; 1,0; 2,5 m (Vaikasas, Rimkus, 1997).



2 pav. Nemuno žemupio polderių schema (Dumbrasukas, 2010)

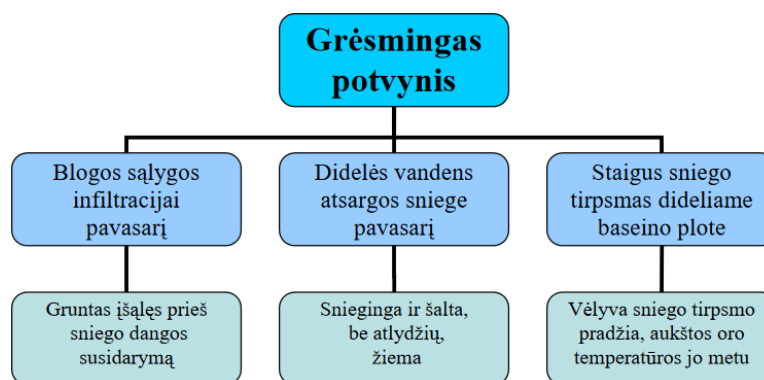
Potvynio tėkmių greitis priklauso nuo: ledų sangrūdų, reljefo nuolydžio ir paviršiaus hidraulinio šiurkštumo. Stipriausios srovės būna potvyniui išsiliejant prievaginiame pievų ruože. Centrinėje dalyje tėkmės išplatėja, vandens greitis sumažėja. Vanduo greičiau teka žemiausiomis slėnio vietomis. Priežemyninę zoną užlieja pritekantys vandenys. Čia jie sukuriuoja, susidaro stovinčio vandens plotai. Didžiausi vandens lygių kilimo greičiai ir išplovimai būna per pavasario potvynius, susidarius ledų sangrūdoms, ypač kai potvyniai neaukšti (50 - 70 % tikimybės), nes vandens srovės su ledais tada teka į tuščius, vandens neužlietus polderius (Juškauskas, 1999).

Ledo sangrūdos susidaro pradinėje potvynių kilimo fazėje. Ledų sangrūdų poveikis tėkmės slėnyje priklauso nuo: sangrūdos vietos, aukščio ir trukmės. Pavojingiausias pylimų pastovumui režimas būna pavasario potvynių metu, kai jų nukreiptos srovės su ledais liejasi į dar tuščią polderį.

Sangrūdų susidaro priklausomai nuo: 1) slėnio ir vagos formos; 2) konfigūracijos ir išsiliejimo į slėnį galimybių; 3) veikia ir dešiniojo Nemuno kranto intakai: Gėgė, Veržė ir Leitė, kuriais į Nemuną patenka nemažai ledų. Šie veiksniai keičia Nemuno srauto ledų transportavimo pajėgumą ir sangrūdų susidarymo tikimybę. Jos susidaro, kai iš aukščiau atneštos ledo lytys įsiremia į žemiau esantį atsparesnį negu kitur ledo lauką ir negali plaukti toliau. Ledų sangrūdų Nemuno žemupyje vandens lygius pakelia 0,5 - 4,5 m. Mažiau tvenkia ten, kur vandens tėkmė susidariusią sangrūdą gali aptekėti slėniu. Tokios vietos yra aukščiau ir žemiau Rusnės bei Lazdėnų (Dumbrasukas, 2010).

Pagal hidrometrinius duomenis nustatyta, kad Nemuno vasaros polderiai (2 pav.) pradedami užlieti, kai tėkmės debitas – 800 - 1300 m³/s (Vaikasas, Rimkus, 1997). Paprastai pirmiausia užliejamas Šyšos bei pradedami užlieti Sausgalvių ir Kūlynų bei Veržės vasaros polderiai. Per dieną ar dvi šie polderiai užliejami. Po to vanduo kildamas ima lieti į Šakūnėlių bei Plaškių polderius ir juos užtvindo iš apačios. Toliau kylant vandeniui per 1 - 2 paras užliejamas Plaškių polderis ir imamas lieti aukštutinėje deltos dalyje esantis Nausėdų-Plaušvarių vasaros polderis. Šis polderis užtvindomas taip pat per 1 - 2 dienas, o visoje užlietoje deltoje nusistovi pastovios krypties tranzitinių tėkmių keliai, kurių greitis kinta priklausomai nuo potvynio dydžio ir užliejimo fazės. Be tranzitinių, slėnyje taip pat išsiskiria sūkurinės ir stovinčios zonos. Šiose vietose tėkmė silpna, dažnai jos ir visai nėra. Tokios vietos yra intakų Leitės ir Veržės baseinuose, taip pat ties Nausėdais Gėgės baseine. Į užliejimo trukmę įeina ir žiema, kai neveikiant siurbliams, pakilę gruntiniai vandenys apsemia augalų šaknis. Potvynis ir užliejimas – tai du skirtingi veiksniai: potvynio metu tėkmės palieka dumblą ir biogenus, o ilgas užliejimas išsekina žoles (Katutis, 1999).

Nemuno žemupyje potvynio trukmė vidutiniškai siekia 33 paras, tačiau atskirais metais gali ir visai jo nebūti arba užsitęsti iki 50 - 70 parų (Gipiškis ir kt., 2007). Didžiausias vandens lygis būna kovo III dekadą (Vaikasas, Rimkus, 1997). Pavasarį potvynis dažniausiai prasideda kovo paskutinį dešimtadienį, o baigiasi balandžio paskutinį dešimtadienį (24 % atvejų) ar gegužės pirmąjį dešimtadienį (43 % atvejų). Tuo laikotarpiu vidutinė dešimtadienio oro temperatūra dažnai viršija 10 °C šilumos. Vasaros polderių užliejimo terminai ir trukmė šiek tiek skiriasi nuo potvynių režimo ir priklauso nuo užliejimo per apsauginius pylimus sąlygų ir siurblių veikimo. Nemuno žemupyje pavasario potvyniai priklausomai nuo žemės paviršiaus aukščio trunka vidutiniškai nuo 18 parų Pagėgių zonoje iki 30 parų deltoje. Tačiau dėl ledų sangrūdų arba vyraujančių vėjų sukeltos patvankos potvyniai dažnai prasideda anksčiau nei įprasta ir trunka net iki 90 - 110 parų. Vanduo užlieja pievas 1 - 4 m sluoksniu. Slėnesnėse pievose, nors jos dažniausiai yra siurblių aktyvaus veikimo zonoje, užliejimo ir drėgmės pertekliaus trukmė 5 - 20 parų ilgesnė negu vidutinio aukščio plotuose. Šaltuoju metų laikotarpiu slėnesnės už vidutinį žemės paviršiaus pievos būva užlietos 3 - 4 mėnesius. Reljefo altitutei žemėjant, užliejimo trukmė ilgėja (Gipiškis ir kt., 2007).



3 pav. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys grėsmingų potvynių formavimąsi Nemuno žemupyje (Aplinkos..., 2011)

Grėsmingiausiais Nemuno žemupio ir deltos regionams laikytini potvyniai, besivystantys pagal tokią schemą (3 pav.): 1) prieš sniego tirpsmą baseine susidaro nemenkos vandens atsargos sniege (baseino vidurkis turėtų būti daugiau negu 50 mm); 2) gruntas prieš potvynio pradžią išlieka giliai išalęs ir nesudaro palankios sąlygos tirpsmo vandens infiltracijai į gilesnius dirvožemio sluoksnius; 3) sniego tirpsmas prasideda staiga ir vyksta greitai (ypač pavojingi potvyniai, kai tirpsmas prasideda visame baseine iš karto arba anksčiau įvyksta baseino aukštupyje nei žemupyje: tuomet žemupį pasiekia itin aukšta potvynio banga). Potvynių grėsmę papildomai gali padidinti ir dažnai Nemuno deltoje susidaranti ledos sangrūdos. Dėl jų potvyniai dažnai itin ilgai užsitęsia (sumažėja slūgio bangos intensyvumas) (Aplinkos..., 2011).

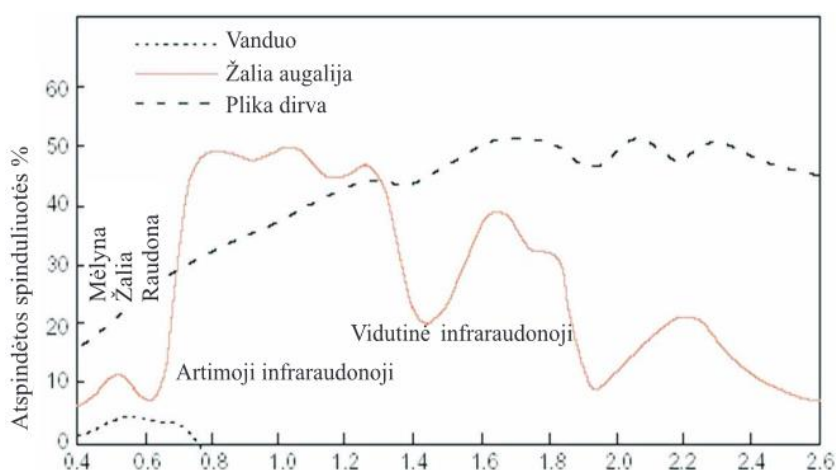
1.4. Nuotolinių tyrimų metodai

Nuotoliniais tyrimais (distanciniu zondavimu) paprastai yra laikomas informacijos apie objektų fizines, chemines ir biologines savybes gavimas be tiesioginio fizinio kontakto. Informacija yra surenkama matuojant objektų atspindėtą, išspinduliuotą ar išsklaidytą elektromagnetinę spinduliuotę, tam panaudojant įvairiausios konstrukcijos jutiklius, veikiančius spektro zonose nuo matomųjų spindulių iki mikrobangų. Distancinio zondavimo sistemos yra grindžiamos: 1) pasyviais jutikliais, fiksuojančiais atspindėtą ar išspinduliuotą elektromagnetinę spinduliuotę (tradicinė bei skaitmeninė aerofotonuotrauka, pagrindinės kosminio distancinio zondavimo sistemos – Landsat, Spot, Ikonos ir kt.) bei 2) aktyviais jutikliais, kurie patys generuoja elektromagnetines bangas, siunčia jas į Žemės paviršių bei fiksuoja atspindėjimo ypatumus (RaDAR – Radio Detection And Ranging, LiDAR – Light Detection And Ranging). Jutiklių nešikliais paprastai būna dirbtiniai Žemės palydovai bei lėktuvai, tačiau taip naudojami ir kiti skraidymo aparatai – sraigtasparniai, lengvi skraidymo aparatai, įskaitant ir bepiločius (Mozeris, Dumbrauskas, 2008).

Distancinio zondavimo pagrindinė fizinė charakteristika yra skiriamoji geba, ji nagrinėjama trimis aspektais: erdvinio, spektrinio ir laiko. Erdvinė skiriamoji geba nusakoma objektų, kurie gali būti išskiriami distancinio zondavimo vaizduose, minimaliu dydžiu. Dauguma vaizdų užrašomi

naudojant rastrinį duomenų modelį, todėl erdvinei skiriamajai gebai nusakyti patogiu naudoti vaizdo elemento – gardelės – dydį. Aerovaizdai yra žymiai didesnio tikslumo nei kosminių sistemų (Gudritienė, Aleknavičius, 2007).

Skirtinga erdvinio spektrinio atsako variacija nuo įvairių Žemės paviršiaus medžiagų (dirvos, augalijos, vandens) leidžia atskirti ir identifikuoti kraštovaizdžio savybes priklausomai nuo erdvinės ir spektrinės jutiklio gebos. Nustatydami atspindėjusios spinduliuotės kiekį ir bangų ilgį galima charakterizuoti Žemės paviršiaus būseną (4 pav.). Pavyzdžiui, žalios augalijos spektrinis profilis turi vingiuotą formą, kuri drastiškai pakyla 0,75 μm - 0,90 μm diapazone. Vanduo taip pat turi savo spektrinį unikalumą, kuris pasižymi labai mažu atspindėjimu (mažiau negu 10 proc.) ir jis nėra identifikuojamas bangų ilgiams esant didesniems kaip 0,80 μm . Dirva gali būti visada identifikuojama kylančiu nuožulnumu, kuris prasideda labai mažu išspinduliuoimu esant trumpoms bangoms, ir išspinduliuavimas didėja bangoms ilgėjant (Mozgeris, Dumbrasukas, 2008).

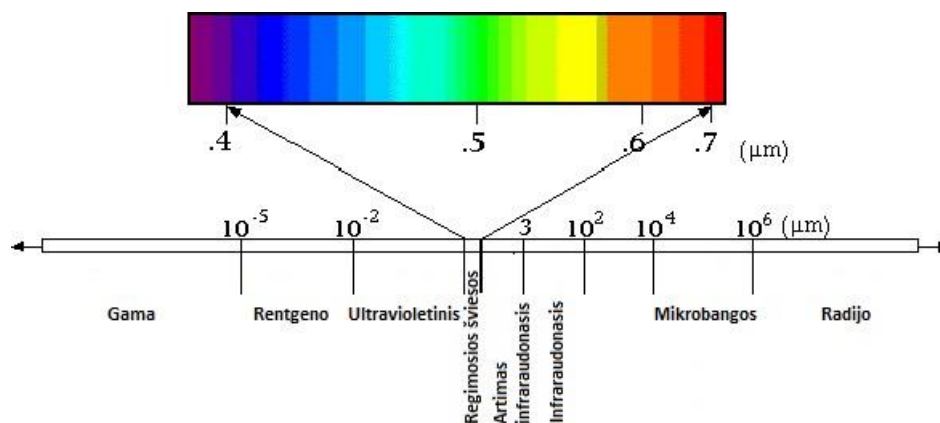


4 pav. Pagrindinių Žemės paviršiaus objektų elektromagnetinių bangų atspindėjimo charakteristikos įvairiose elektromagnetinio spektro zonose (Mozgeris, Dumbrasukas, 2008)

Distancinio zondavimo sistemos gali fiksuoti elektromagnetinę spinduliuotę vienoje ar keliose ribotose spektro zonose – šių zonų ypatumai nulemia radiometrinę skiriamąją gebą. Pavyzdžiui, identifikuojant miškus naudojamos žaliųjų ir raudonųjų matomųjų bei artimųjų infraraudonųjų spindulių spektrinės-zoninės fotojuostos (Mozgeris, Dumbrasukas, 2008). Labai trumpos bangos distanciniame zondavime nėra aktualios. Ultravioletinės bangos (5 pav.), kurių ilgis yra iki 0,4 μm , pasižymi didoka sklaida atmosferoje ir jų panaudojimas kosminių nuotraukų sudarymo srityje yra ribotas. Regimosios šviesos bangos, kurių ilgis yra nuo 0,4 iki 0,7 μm , yra plačiai pritaikomos, kadangi jas fiksuoja įprastiniai aerofotoaparatai. Jautrios fotomedžiagos užfiksuoja ir neregimojo diapazono - artimo infraraudonojo spektro (0,7-1,0 μm) bangas. Mikrobangų spektras, arba radaro siunčiamos bangos, vertingos tuo, kad prasiskverbia pro debesis (Gudritienė, Aleknavičius, 2007).

Laiko charakteristika distancinio zondavimo sistemose yra labiausiai kintanti. Kai kurios sistemos užtikrina informacijos gavimą praktiškai nenutrūkstamu režimu, kitos, paprastai kosminės

distancinio zondavimo sistemos, tos pačios Žemės paviršiaus vietovės vaizdus pateikia periodiškai, kas kelias valandas, dienas ar savaites (Mozgeris, Dumbrasukas, 2008). Dirbtinių žemės palydovų rūšys yra kelios: keičiantys skriejimo orbitą ir geostacionarūs. Pirmieji besisukdami orbita cikliškai (nustatytu laiko intervalu) fiksuoja Žemės paviršių. Tokie palydovai skrieja vienodu greičiu ir dažniausiai kerta šiaurės ir pietų ašigalius. Geostacionarieji palydovai fiksuoja tą pačią teritoriją visą laiką. Aero-technologijomis grindžiamų sistemų gaunamos informacijos periodiškumas iš dalies priklauso nuo vykdytojų valios. (Gudritienė, Aleknavičius, 2007).



5 pav. Elektromagnetinės energijos spektrai (modifikuojant pagal USGS, 2017)

Daugiamečiai meteorologiniai duomenys rodo, kad debesuotumas ir rūkai gali labai trukdyti pasirinkti palydovinį vaizdą. Daugiausia giedrų dienų Lietuvoje būna gegužę (5,3 dienos, tikimybė tesiekia 17 proc.). Dėl spektrinio atspindžio ypatumų vandens telkinius galima atskirti nuo kitų žemėnaudos tipų visus metus, išskyrus laiką, kai jie užšalę ir padengti sniegu (Gudritienė, Aleknavičius, 2007).

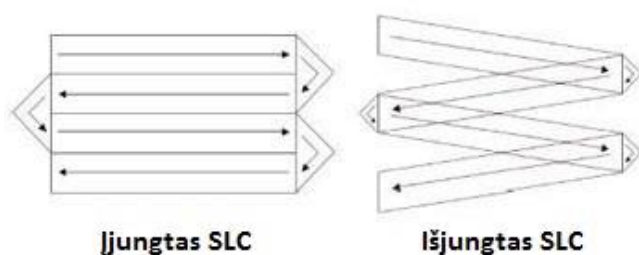
1.4.1. Landsat-8 palydoviniai vaizdai

Landsat – JAV žinybų valdoma palydovų grupė, pirmasis palydovas pasiekė orbitą 1972 m. ir vadinosi ERTS-1, jis veikė iki 1978 metų. Vėliau sekusios misijos: Landsat-2 (1975-1982), Landsat-3 (1978-1983), Landsat-4 (1982-1993), Landsat-5 (1984-2013), Landsat-6 (1993 patyrė nesėkmę paleidimo metu), Landsat-7 (1998-iki dabar) ir Landsat-8 (2013-iki dabar) (National..., 2013). Jungtinių Amerikos Valstijų Geologijos tarnybos duomenimis, planuojamas Landsat-9 paleidimas 2020 metais (USGS).

Landsat nuotraukos yra pasiekiamos internetiniuose archyvuose, pasiekiami vaizdai datuojami nuo pirmos misijos pradžios, ko pasekoje tai yra ilgiausiai be perstojo besipildantis palydovinių nuotraukų archyvas (Serbina, Miller, 2014). Nuo 2008 visa ši kolekcija prieinama internetu visiems vartotojams USGS internetiniame puslapyje. Jungtinių Amerikos Valstijų Geologijos tarnyba (USGS) 2016 metais pradėjo pertvarkyti Landsat duomenų archyvą į formalią pakopinę duomenų rinkinio struktūrą. Ši struktūra užtikrins, kad Landsat pirmo lygio duomenų produktai suteiks

pakankamai duomenų įvairiems tyrimams, taip pat vykdoma pertvarka padės kontroliuoti nuolatinį archyvo tobulėjimą ir prieinamumą naujai surinktiems duomenims.

2003 metais įvyko Landsat-7 gedimas, nustojo veikti skenavimo linijos korektorius (SLC) esantis palydovo ETM+ instrumente. Be šio korektoriaus instrumentas Žemę skenuoja vingiuodamas (6 pav.), ko pasekoje vienos vietovės nuskaitytos dukart, o kitos išvis nenuskaitytos. Apytikslis trūkstamas duomenų kiekis siekia 22 proc. Gautose Landsat-7 nuotraukose matyti trūkstamų duomenų režiai (7 pav.).



6 pav. Landsat-7 Žemės skenavimas su įjungtu/išjungtu skenavimo linijos korektoriumi (SLC) (modifikuojant pagal USGS)



7 pav. Landsat-7 vaizdo fragmentas su trūkstamu duomenų kiekiu (nuotrauka autoriaus)

Nepaisant to, duomenų produktai yra prieinami su trūkstamais duomenimis, tačiau jie turi būti užpildyti papildomais duomenimis surinktais vartotojo. Pašalinti duomenų trūkumus kuriami ir tobulinami įvairiausi algoritmai, šiuo metu tiksliausias metodas – panašių kaimyninių pikselių interpoliavimas (Mohammdy et al., 2013; Zhu et al., 2013).

Jungtinių Amerikos Valstijų Geologijos tarnyba informuoja, kad Landsat-8 palydovas tą pačią teritoriją peržvelgia kas 16 parų su 8 dienų atsilikimu nuo Landsat-7 palydovo. Per dieną Landsat-8 palydovas suteikia apie 725 Žemės paviršiaus nuotraukas kurių vienos apimtis siekia 185 km.

Landsat-8 palydovas susideda iš dviejų jutiklių - Operatyvinio Žemės vaizduoklio (OLI) ir šiluminio infraraudonojo jutiklio (TIRS). Kartu šie du instrumentai renka duomenis 9 trumpabangėmis ir 2 ilgabangėmis juostomis. Jutikliai fiksuoja atsispindėjusias elektromagnetines bangas nuo tam tikro paviršiaus. Atsispindėjusi radiacija pateka į jutiklių apertūras ir pasiekia židinio plokštumas, kurios saugo įvairius detektoriaus elementus. Šie detektoriai nustato gautos radiacijos intensyvumą. Juose esantys filtrai išskirsto sukauptą energiją į atskirų diapazonų spektrines juostas pagal elektromagnetinių bangų ilgį. Landsat-8 esantis OLI jutiklis fiksuoja 1-9 juostas, o TIRS jutiklis – 10 ir 11. Landsat-8 matuoja skirtingus dažnių diapazonus kartu su elektromagnetiniu spektru - spalva, kuri nebūtinai matoma žmogaus akims. Kiekvienas diapazonas vadinamas juosta, šiame palydove jų yra vienuolika (1 lentelė). Landsat spalvas numeruoja, o kai jas sudedame, gauname tam tikros spalvos vaizdą. (USGS, 2016).

1 lentelė. Landsat-8 OLI ir TIRS jutiklių spektrinių juostų charakteristikos (USGS, 2016)

Spektrinė juosta	Bangos ilgis	Rezoliucija
1 juosta – pakrantės/ aerozolinė	0,433 – 0,453 μm	30 m
2 juosta – mėlyna	0,450 – 0,515 μm	30 m
3 juosta – žalia	0,525 – 0,600 μm	30 m
4 juosta – raudona	0,630 – 0,680 μm	30 m
5 juosta – artima infraraudonoji (NIR)	0,845 – 0,885 μm	30 m
6 juosta – trumpabangė infraraudonoji (SWIR) 1	1,560 – 1,660 μm	30 m
7 juosta - trumpabangė infraraudonoji (SWIR) 2	2,100 – 2,300 μm	30 m
8 juosta - panchromatinė	0,500 – 0,680 μm	15 m
9 juosta - cirrus	1,360 – 1,390 μm	30 m
10 juosta – ilgabangė infraraudonoji (TIRS) 1	10,30 – 11,30 μm	100 m
11 juosta – ilgabangė infraraudonoji (TIRS) 2	11,50 – 12,50 μm	100 m

Visų išvardintų juostų rezoliucija siekia 30 metrų, išskyrus panchromatinę juostą – 15 metrų rezoliucija, ir ilgabangių juostų – jų rezoliucija siekia 100 metrų, tačiau pertvarkomos į 30 metrų rezoliuciją kad atitiktų multispektrinių juostų vertes. Landsat-8 gauti vaizdai tinka ir topografiniam kartografavimui 1:40000 mastelyje panchromatizuotam vaizdai, bei 1:80000 ir smulkesniam masteliui iš OLI jutiklio gautų produktų (USGS, 2017).

1.4.2. Sentinel-2 palydoviniai vaizdai

Sentinel-2 yra „EU Copernicus“ programos, kurią vykdo Europos kosmoso agentūra, Žemės stebėjimo misija, kuri sistemingai įgyja optinius didelėje erdvinės skiriamosios gebos vaizdus. Misija sudaryta iš dvynių palydovų (Sentinel-2A ir Sentinel-2B), išdėstytų toje pačioje saulės sinchroninėje orbitoje, fazės 180° kampu vienas nuo kito. Sentinel-2A paleistas 2015 metų birželio 23 dieną, o Sentinel-2B 2017 metų kovo 7 dieną. Paviršiaus stebimo ploto apimtis siekia 290 km, o tą pačią teritoriją palydovas apskrenda per 10 dienų, kartu palydovai – per 5 dienas (ESA, 2018).

Abu palydovai sudaryti iš vieno instrumento – multispektrinio instrumento (angl. Multi-Spectral Instrument (MSI)) kuris matuoja 13 spektrinių juostų (2 lentelė). MSI veikia pasyviai, surenkant nuo saulės atspindėtą saulės šviesą. Duomenys į prietaisą pateka kai palydovas juda palei orbitos kelią. Įeinantis šviesos spindulys yra padalintas į filtrą ir orientuojamas į du atskirus židinio plokštumos įrenginius; viena – regimosios šviesos ir artimųjų infraraudonųjų spindulių (VNIR) juostoms ir viena trumpųjų bangų infraraudonųjų spindulių (SWIR) juostoms. Kiekvienos juostos spektrinis atskyrimas į atskirus bangos ilgius atliekamas juostų filtrais, sumontuotais ant detektorių (ESA, 2018).

Trylikos Sentinel-2 spektrinių juostų diapazonas vyrauja nuo regimosios šviesos (VNIR) ir artimų infraraudonųjų (NIR) iki trumpabangių infraraudonųjų spindulių (SWIR) (ESA, 2018):

- 4 x 10 metrų juostos: trys klasikinės RGB juostos ((mėlyna (~ 497 nm), žalia (560 nm) ir raudona (~ 665 nm)) ir artimoji infraraudonųjų spindulių (835 nm) juosta;

- 6 x 20 metrų juostos: 4 siauros juostos VNIR augmenijos raudonojo krašto spektriniame domene (~ 704 nm, ~ 740 nm, ~ 783 nm ir ~ 865 nm) ir 2 platesnės SWIR juostos (1610 nm ir 2190 nm) panaudojamos sniego, ledo, debesų aptikimui arba vegetacijos drėgmės įtempio vertinimui;
- 3 x 60 metrų juostos daugiausia orientuotos į debesų tikrinimą ir atmosferos korekciją (~ 443 nm aerozoliams ir 945 nm vandens garams) ir cirrus aptikimą (~ 1374 nm).

2 lentelė. Sentinel-2 palydovų spektrinių juostų charakteristikos (ESA, 2018)

Sentinel-2 juostos	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Erdvinė rezoliucija (m)
	Bangos ilgis (nm)	Pralaidumas (nm)	Bangos ilgis (nm)	Pralaidumas (nm)	
1 juosta – pakrantės/aerolinė	442,7	21	442,2	21	60
2 juosta – mėlyna	492,4	66	492,1	66	10
3 juosta – žalia	559,8	36	559,0	36	10
4 juosta – raudona	664,6	31	664,9	31	10
5 juosta – augmenijos red edge	704,1	15	703,8	16	20
6 juosta – augmenijos red edge	740,5	15	739,1	15	20
7 juosta – augmenijos red edge	782,8	20	779,7	20	20
8 juosta – artima infraraudonoji (NIR)	832,8	106	832,9	106	10
8A juosta – siauroji artima infraraudonoji (NIR)	864,7	21	864,0	22	20
9 juosta – vandens garavimo	945,1	20	943,2	21	60
10 juosta – trumpabangė infraraudonoji (SWIR) - Cirrus	1373,5	31	1376,9	30	60
11 juosta – trumpabangė infraraudonoji (SWIR)	1613,7	91	1610,4	94	20
12 juosta – trumpabangė infraraudonoji (SWIR)	2202,4	175	2185,7	185	20

Sentinel-2 palydovo vaizdai laisvai prieinami Europos kosmoso agentūros „Copernicus“ atviros prieigos centro puslapyje. Prieinami 2 lygių duomenys: 1C lygis - kartografinės geometrijos atspindžiai nuo atmosferos; ir 2A lygis - kartografinės geometrijos paviršiaus atspindžiai. Šis produktas laikomas analizės parengties duomenimis (ARD), kurie gali būti naudojami tiesiogiai nereikalaujant tolesnio apdorojimo (ESA, 2018).

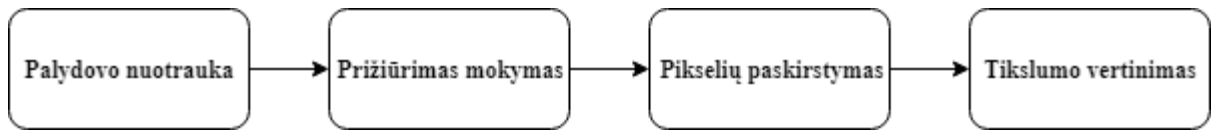
1.5. Žemės dangos klasifikavimo algoritmai

Prieinama naujausia ir tiksli žemės dangos informacija yra itin svarbi vykdant resursų valdymo, planavimo ir stebėjimo programas. Pavyzdžiui, žemės dangos kartografinė informacija ypač reikalinga taikant agrikultūrinį, hidrologinį ar ekologinį modeliavimą. Tradiciniai metodai taikyti žemės dangos kartografavimui tapo nepraktiški dėl didelių laiko ir ekonominių sąnaudų, didelių laiko intervalų tarp duomenų rinkinių. Taikyti tradicinius metodus žemės dangos tyrimams atlikti yra ypač nepraktiška kai reikia globalios ar regioninės informacijos realiu laiku (Defries, Townshend, 1994).

Palydovinių jutiklių nuotolinio stebėjimo vaizdai dėl jų sintetinio matymo, žemėlapių formato ir pasikartojančio aprėpties yra perspektyvus efektyvios žemės dangos informacijos rinkimo šaltinis. Paprastai nuotolinio stebėjimo vaizdo pikseliai yra suskirstyti į prasmingas ir vienuklas žemės dangų klases, naudojant skaitmeninio vaizdo klasifikaciją. Nors nuotoliniai stebėjimai jau seniai pirmą kartą teikiant faktinę žemės dangos informaciją, yra daugybė veiksnių, ribojančių nuotolinio stebėjimo galimybę tiksliai išgauti informaciją įvairiose skalėse (Arora, Foody, 1997). Nesugebėjimas suprasti šių veiksnių gali privesti prie netinkamos žemės dangos klasifikacijos.

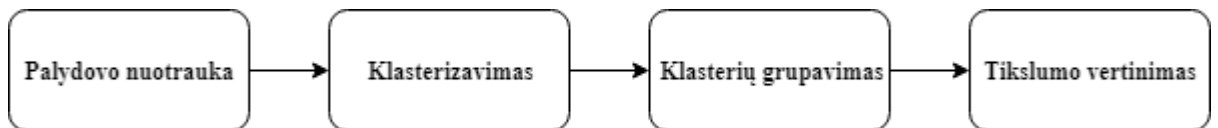
Skaitmeninis vaizdo klasifikavimas yra procesas, kuriuo metu vyksta nuotolinio stebėjimo vaizdo pikselio (arba pikselių grupių) priskyrimo žemės dangų klasei. Tikslas yra klasifikuoti kiekvieną pikselį tik į vieną klasę arba susieti pikselį su daugeliu klasių. Klasifikavimo metodai gali būti suskirstyti pagal mokymo procesą (prižiūrimas ir neprižiūrimas) arba remiantis teoriniu modeliu (parametriniu ir nparametriniu). Pagal šias kategorijas buvo sukurti keletas klasifikavimo algoritmų (klasifikatorių). Pavyzdžiui, maksimalaus panašumo klasifikatorius (Maximum Likelihood Classifier) yra prižiūrimasis parametrinis algoritmas, tuo tarpu ISODATA klasterizacija yra neprižiūrimasis parametrinis algoritmas (Arora et al., 2010).

Prižiūrimasis klasifikavimas susideda iš 3 pagrindinių žingsnių: mokymo, pikselių paskirstymo ir tikslumo vertinimo (8 pav.). Mokymas – pasirinktų pikselių paskyrimas tam tikrai klasei iš surinktų referencinių duomenų, pvz., in situ duomenų, esamų žemėlapių, aerofotonuotraukų ar palydovinių nuotraukų. Šie mokymo taškai naudojami įvairiems statistiniams duomenims (pvz., vidurkiui ir standartiniam nuokrypiui) nustatant kiekvienos žemės dangos klasę ir yra įvedami į antrąjį klasifikavimo etapą. Antrame etape vaizdo pikseliai priskiriami klasei, su kuria jie rodo didžiausią statistinį panašumą. Galiausiai vertinamas klasifikacijos tikslumas. Pasirenkamas bandymo pikselių pavyzdys arba grupė ir jų klasių tapatumai lyginami tiek su suklasifikuotu vaizdu, tiek su referenciniais duomenimis. Sutampantys ir nesutampantys pikseliai kiekvienam bandomam mėginiui pateikiami kaip klaidos matrica, kuri gali būti naudojama klasifikavimo tikslumui įvertinti (Arora et al., 2010).



8 pav. Prižiūrimojo klasifikavimo pagrindiniai žingsniai (sudaryta autoriaus)

Neprižiūrimasis klasifikavimas tai metodas, kuriuo algoritmas suskirsto didelį kiekį pikselių į klasterius ar klases atsižvelgdamas į atspindžio reikšmes be analitiko įsikišimo. Šio tipo klasifikavimas dažniausiai pasirenkamas kai neturima daug žinių apie tiriamą teritoriją. Be to, net turint žinių apie tiriamą teritoriją, dažniausiai rekomenduojama iš pradžių atlikti būtent neprižiūrimąjį klasifikavimą, kad būtų palengvinti tyrimai atliekant kitas klasifikacijas. Kaip ir prižiūrimajame klasifikavime, šis taip pat susideda iš 3 pagrindinių etapų (9 pav.). Pirmajame etape vyksta klasterizavimas, algoritmui nurodant norima klasterių skaičių, maksimalių iteracijų skaičių, konvergencines ribas ir kitus parametrus. Kitu etapu vyksta suklasifikuotų panašių klasterių apjungimas į klases, pasitelkiant referencinius duomenis. Kai tenkina grupavimo rezultatas, kaip ir prižiūrimojo klasifikavimo atveju vykdomas tikslumo nustatymas (Al-doski et al, 2013).



9 pav. Neprižiūrimojo klasifikavimo pagrindiniai žingsniai (sudaryta autoriaus)

Egzistuoja dvi tarptautinės žemės dangos klasifikavimo sistemos: 1) Jungtinių Tautų maisto ir agro kultūros organizacijos (FAO), Jungtinių Tautų aplinkos programos (UNEP) ir Globalaus Žemės dangos tinklo (GLCN) vadinamoji Žemės dangos klasifikavimo sistema (angl. Land Cover Classification System (LCCS)); 2) Europos Sąjungos CORINE žemės dangos klasifikavimo sistema (CLC) (Weber, 2009). CORINE programa yra didžiausias Europos žemės dangos ir žemėnaudos monitoringo projektas kuriuo siekiama sukurti periodinę ir standartinę geografinę informaciją apie žemės dangą ir žemėnaudą kuri būtų prieinama šalims narėms. Ši informacija reikalinga palaikyti tvarką aplinkosaugos politikos srityje, pvz., žemės ūkyje. CORINE žemės dangos nomenklatūra yra 3 lygių hierarchinė klasifikavimo sistema, sudaryta iš 5 klasių 1 lygyje, 15 klasių 2 lygyje ir 44 klasių 3 lygyje (pačiame detaliausiame) (Alp et al., 2015). CORINE žemės dangos nomenklatūra sudaro konceptualų pagrindą, skirtą suprasti skirtingus žemės dangos tipus. Lietuvos Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, paskutiniai CORINE žemės dangos sluoksniai Lietuvoje suklasifikuoti 2006 metais.

Šiame darbe naudoti 3 prižiūrimojo klasifikavimo algoritmai (minimalaus atstumo, maksimalaus panašumo ir spektrinio kampo) ir 1 neprižiūrimojo klasifikavimo algoritmas – ISODATA.

Minimalaus atstumo algoritmas apskaičiuoja Euklido atstumą $d(x, y)$ tarp vaizdo pikselių spektro parašų ir mokymo spektrinių parašų pagal šią lygtį (1):

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (1)$$

kur: x - vaizdo pikselio spektrinio parašo vektorius;

y - mokymo srities spektrinio parašo vektorius;

n – spektrinių juostų skaičius.

Todėl atstumas apskaičiuojamas kiekvienam pikseliui, priskiriant artimesnę spektrinio parašo klasę pagal šią diskriminacinę funkciją (2) (Richards, Jia, 2006):

$$x \in C_k \leftrightarrow d(x, y_k) < d(x, y_j) \forall k \neq j, \quad (2)$$

kur: C_k - Žemės dangos klasė k ;

y_k – klasės spektrinis parašas k ;

y_j - klasės spektrinis parašas j .

Minimalaus atstumo algoritmas pasižymi greitesniu klasifikavimo laiku lyginant su kitais algoritmais (Congedo, 2017).

Maksimalaus panašumo algoritmas apskaičiuoja tikimybių pasiskirstymą klasėms, susijusioms su Bayes teorema, įvertindamas, ar pikselis priklauso Žemės dangos klasei. Tikimybės pasiskirstymas klasėms priskiriamas daugiamatinių normalių modelių forma (Richards, Jia, 2006). Norint naudoti šį algoritmą, kiekvienai mokymo vietai reikalingas pakankamas taškų skaičius, leidžiantis apskaičiuoti kovariacijos matricą. Diskriminantų funkcija (3), apskaičiuojama kiekvienam pikseliui (Richards, Jia, 2006):

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k), \quad (3)$$

kur: C_k – Žemės dangos klasė k ;

x - vaizdo pikselio spektrinio parašo vektorius;

$p(C_k)$ – tikimybė, kad tinkama klasė yra C_k ;

$|\Sigma_k|$ - klasės kovariacijos matricos determinantas C_k ;

Σ_k^{-1} - atvirkščiai kovariacijos matricai;

y_k - klasės spektrinio parašo vektorius k .

Maksimalaus panašumo algoritmas yra vienas dažniausiai naudojamų, tačiau gerokai lėtesnis už minimalaus atstumo algoritmą (Congedo, 2017).

Spektrinio kampo algoritmas apskaičiuoja spektrinį kampą tarp vaizdo pikselių spektrinių parašų ir mokymo spektro parašų. Spektro kampas θ yra apibrėžiamas kaip (4) (Kruse et al., 1993):

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i^2)}} \right), \quad (4)$$

kur: x = vaizdo pikselio spektrinio parašo vektorius;

y = mokymo srities spektrinio parašo vektorius;

n = spektrinių juostų skaičius.

Todėl pikselis priklauso mažiausio kampo klasei, tai yra (5):

$$x \in C_k \leftrightarrow \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \forall k \neq j, (5)$$

kur: C_k – Žemės dangos klasė k ;

y_k – klasės spektrinis parašas k ;

y_j - klasės spektrinis parašas j .

Spektrinis kampas algoritmas naudojamas itin dažnai, ypač su hiperspektriniais duomenimis (Congedo, 2017).

ISODATA (angl. Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) algoritmas – tai vienas iš dažniausiai naudojamų neprižiūrimojo Žemės dangos klasifikavimo algoritmų (Al-doski et al., 2013). Tai itin sudėtingas matematinis algoritmas, kurio eiga: 1) preliminarių klasterio taškų ir iteracijų ribų atranka; 2) klasterizuoti grupėje elementus, esančius šalia klasterio taško; 3) klasterių pasiskirstymas, kurių vidinė dispersija yra didesnė už pasirinktą ribą; 4) naujas klasterizavimas; 5) klasterių sujungimas, kurių atstumas yra mažesnis už pasirinktą ribą; 6) naujo iteracijos pradžia nuo 2-ojo etapo arba algoritmo sustabdymas, jei pasiekiamas atkūrimo taškas (Mussio et al., 1996).

Šiame darbe siekiama įvertinti Sentinel-2 ir Landsat-8 kosminių palydovų nuotraukų pritaikomumą Nemuno žemupio užliejimų kartografavimui bei nustatyti tinkamiausią Žemės dangos klasifikavimo algoritmą užliejimų kartografavimo pritaikymui. Darbo tyrimo objektas pasirinktas Nemuno žemupio ir deltos regionas.

II. TYRIMO METODAI

Žemės dangos klasifikavimams atlikti naudotos GIS programinės įrangos paketai „ArcGIS 10.6.1“, „QGIS 3.6“ ir „SNAP 6.0“. Palydovinės Sentinel-2 ir Landsat-8 nuotraukos laisvai prieinamos kiekvienam vartotojui <https://earthexplorer.usgs.gov/> ir <https://scihub.copernicus.eu/> internetiniuose puslapiuose. Taip pat klasifikavimui kaip pagalbinė priemonė pasitelktos Lietuvos Corine Žemės dangos GIS duomenys, Lietuvos Respublikos georeferencinio pagrindo duomenų bazė GDB10LT bei 2012-2013 ir 2015-2017 Lietuvos ortofoto duomenys. Šiame darbe naudota metodika paremta Topaloglu et al. (2016), Congedo (2017), Adrian (2017) Al-Ahmedi ir Hames (2007), Rimba ir Miura (2017) darbais.

2.1. Prižiūravimo klasifikavimo metodika

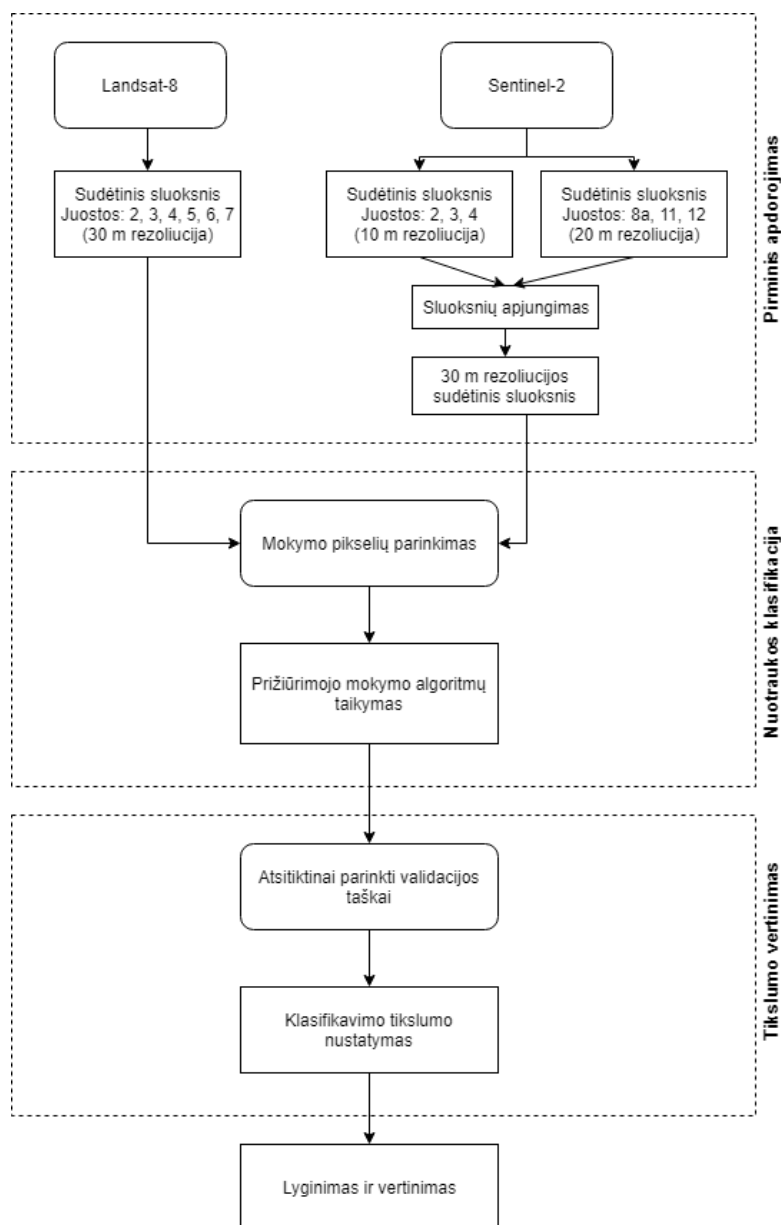
Prižiūravimo klasifikavimo darbo eiga susideda iš 3 esminių etapų: pirminio apdorojimo, nuotraukos klasifikacijos ir tikslumo vertinimo (11 pav.). Pirmuoju etapu išrenkamos reikiamos palydovinių nuotraukų spektrinės juostos. Landsat-8 palydovo reikalingos juostos yra: 2, 3, 4, 5, 6, 7. Kadangi visos juostos yra 30 m rezoliucijos, jos paprasčiausiai apjungiamos į sudėtinį sluoksnį. Tačiau Sentinel-2 palydovo nuotraukų reikiamų (2, 3, 4, 8a, 11, 12) spektrinių juostų rezoliucijos skiriasi, todėl vyksta juostų apjungimas suvienodinant 10 ir 20 m rezoliucijas į vienodą 30 m rezoliucijos sudėtinį sluoksnį, kuris sutaptų su Landsat-8 palydovo rezoliucija.



10 pav. Vandens telkinių identifikavimas sugrupuojant panašius pikselius

Antruoju etapu renkami mokymo sluoksnių pikseliai (10 pav.), kurie reikalui esant apjungiami į vieną klasę. Kad būtų tinkamai parinkti mokymo sluoksniai, pasitelkiami Lietuvos Corine žemės dangos GIS duomenys ir ortofotonuotraukos, kad būtų gaunama vietos informacija apie žemėnaudą, kuri palengvina mokymo sluoksnių vietos pasirinkimą. Taip pat sudėtinio sluoksnio atvaizdavimas keičiamas iš standartinio RGB (raudona, žalia, mėlyna) į kitus spalvų derinius, kai norima geriau identifikuoti specifinę žemėnaudos grupę. Pavyzdžiui, norint geriau išžvelgti augalijos pasiskirstymą, nustatomas artima infraraudonoji – raudona – žalia sluoksnio atvaizdavimas, taip augaliją

atvaizduojant raudonu atspalviu. Sukurti mokymo sluoksniai išsaugomi – jie naudojami paleisti analizuojamiems algoritmams.

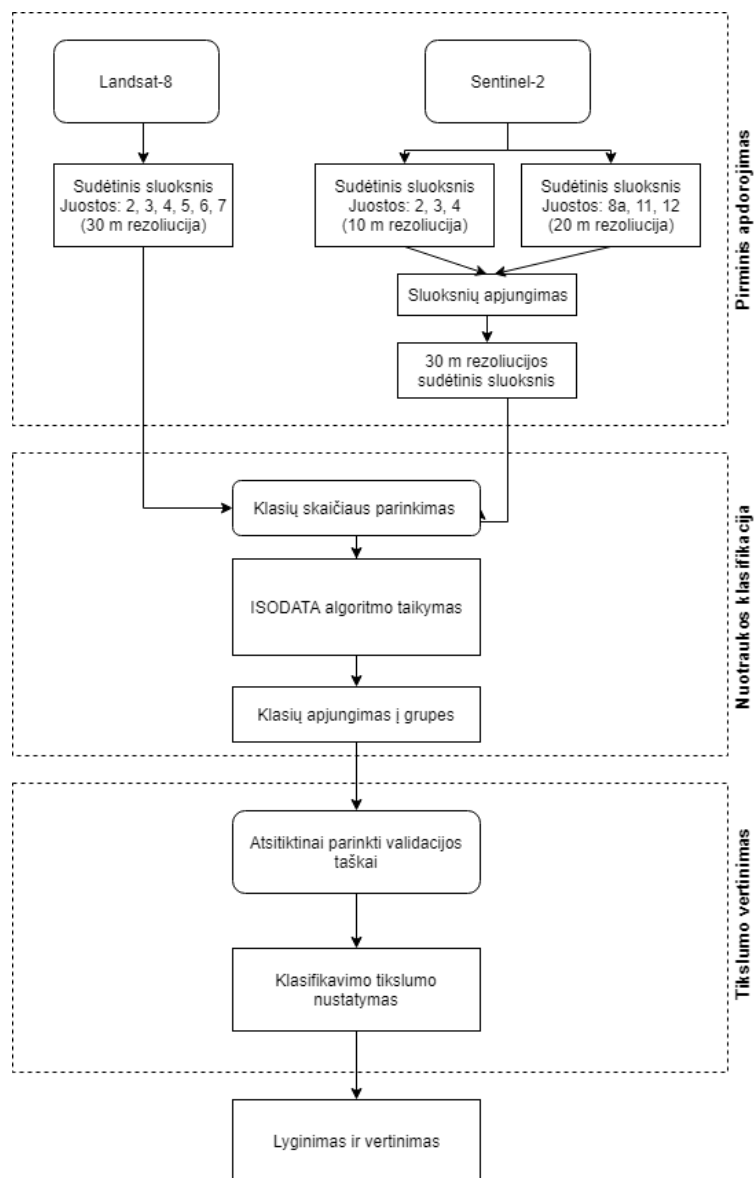


11 pav. Prižiūrimojo klasifikavimo darbo eigos schema

Kai sugeneruotas algoritmo rezultatas tenkina, atliekamas paskutinis klasifikavimo etapas – tikslumo vertinimas. Gautas klasifikavimo rezultatas lyginamas su atsitiktinai, bet tolygiai kiekvienai žemėnaudai parinktais taškais, kur kiekvienam taškui priskirta tik viena žemėnaudos grupė. Šie taškiniai sluoksniai paverčiami rastrais ir GIS programų paketuose esamomis funkcijomis sulyginama, ar validacijos taško žemėnaudos klasė sutampa su suklasifikuota klase. Tada skaičiuojamas tikslumo procentas ir išrenkamas geriausias algoritmas. Algoritmai testuojami esant skirtingoms Žemės dangos sąlygomis – prieš potvynį, potvynio metu, potvyniui bepasibaigiant.

2.2. Neprižiūrimojo klasifikavimo metodika

Neprižiūrimojo klasifikavimo metodika ganėtinai panaši į prižiūrimojo, sutampa 1 ir 3 etapas, tačiau kiek kitokia 2 – nuotraukos klasifikavimo metodika (12 pav.). Vietoje treniravimo pikselių parinkimo (lyginant su prižiūrimuoju klasifikavimu), vartotojui tereikia nurodyti norima klasių kiekį, minimalų klasės dydį ir intervalą. Keičiant pastaruosius du parametrus galimi pokyčiai rezultatuose.



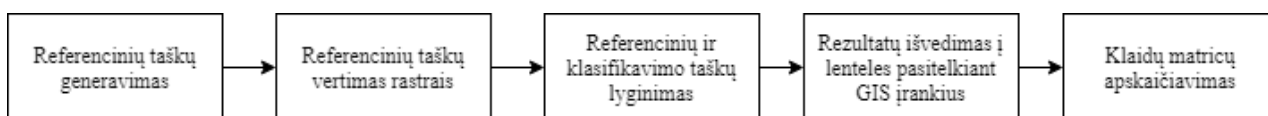
12 pav. Neprižiūrimojo klasifikavimo darbo eigos schema

Pradedant klasifikuoti ISODATA algoritmu, reikia nuspręsti kiek žemėnaudos grupių norime analizuoti. Jeigu tenkina 4-6 grupės, pasirenkame apie 25 klases, kurias po to apjungiamas į kelias grupes ir eksportuojamas kaip atskiras GIS sluoksnis. Jeigu norima analizuoti tik kelias grupes – pvz. sudarant užliejimo žemėlapius, svarbiausia nustatyti kur yra vanduo, tad didelis pradinių klasių skaičius nėra būtinas, nes tai prailgintų klasifikavimo trukmę, kas daro neigiamą įtaką taikant šią metodiką. Taip pat pradinis klasių skaičius gali priklausyti nuo skirtingų pikselio reikšmių skaičiaus. Pvz., jeigu egzistuoja 256 skirtingos pikselių reikšmės, pasirenkamos 25 klasės.

2.3. Tikslumo vertinimo metodika

Ne visais atvejais klasifikavimo tikslumą optimalu vertinti *in situ* metodais sukauptais duomenimis. Kai tyrimo teritorijos plotas yra didžiulis, o laiko intervalas per kuri keičiasi duomenys yra itin trumpas, gauti *in situ* duomenis validacijai tampa brangu, užima daug laiko ir kartais neįmanoma. Todėl egzistuoja tikslumo vertinimas paremtas vartotojo nuožiūra, kurio tikslumas nėra pranašesnis už *in situ* metodu surinktus duomenis, tačiau leidžia ganėtinai tiksliai įvertinti algoritmų sugeneruotų rezultatų tikslumą.

Tikslumo vertinimo metodika paremta tuo, kad vartotojas pats sugeneruoja atsitiktinius taškus tyrimų teritorijoje, kuriuos reprezentatyviai paskirsto įvairiose žemėnaudose vietose (13 pav.). Atstumas tarp taškų turi būti optimalus, kad apimtų visą teritoriją ir nebūtų sukonzentruoti vienoje vietoje. Kaip taisyklė, vienai žemėnaudose grupei reikalingi bent 30 taškų, kad būtų statistiškai reikšminga analizė. Taigi, jeigu yra 5 žemėnaudose grupės, iš viso egzistuoja 150 referencinių taškų. Tokie taškai turėtų atsidurti reikšmingose vietose, pvz. vandens telkinių grupei priskiriami taškai turėtų būti išdėlioti palei vandens telkinio krantą, telkinio viduryje, didesniuose ir mažesniuose vandens telkiniuose, taip užkertant kelia neobjektyviam įvertinimui. Sudėtus validacijos taškus vartotojas pats priskiria tiksliai žemėnaudai remdamasis turimomis žiniomis apie tiriamą teritoriją, pasitelkdamas ortofotonuotraukas, žemėnaudose sluoksnius ir kt.



13 pav. Tikslumo vertinimo darbo eigos schema

Kaip jau minėta, suklasifikuoti taškai paversti rastrais lyginami su klasifikavimo algoritmais gautais GIS sluoksniais. Gauti duomenys GIS įrankių pagalbą perteikiami lentelėse. Iš gautų sutampančių ir nesutampančių klasių duomenų skaičiuojami bendras, gamintojo (angl. producer's) ir vartotojo (angl. user's) tikslumas bei Kappa koeficientas – apskaičiuojama klaidų matricos lentelė.

Bendras tikslumas apskaičiuojamas visų teisingai atitikusių taškų kiekį padalinus iš visų validuotų taškų kiekio ir padauginus iš šimto. Virš 80 procentų siekianti reikšmė reiškia gerą klasifikavimo tikslumą, mažiau nei 40 procentų – labai žemą tikslumą. Ši vertė parodo vidurkį, tačiau neparodo ar klaidos buvo vienodai pasiskirsčiusios visose klasėse, ar vieno buvo suklasifikuotas itin gerai, o kitos – itin blogai. Tam įtraukiami gamintojo ir vartotojo tikslumo skaičiavimai.

Gamintojo tikslumas apskaičiuojamas kiekvienoje kategorijoje teisingai atitikusių pikselių padalinus iš validacijos taškų skaičiaus ir padauginus iš šimto. Ši reikšmė parodo, kaip žemėnaudose validacijos taškas yra tinkamai suklasifikuojamas lyginant su referenciniais duomenimis.

Vartotojo tikslumas apskaičiuojamas kiekvienoje kategorijoje teisingai atitikusių pikselių padalinus iš viso pikselių kiekio klasifikuoto toje kategorijoje. Ši reikšmė parodo ar žemėnaudos klasės pikseliai buvo dažnai priskiriami kitoms žemėnaudos klasėms.

Kappa koeficientas (5) atspindi skirtumą tarp faktinio sutapimo ir tikėtino sutapimo. Reikšmės intervalas nuo -1 iki 1. Reikšmė arti nulio parodo atsitiktinį sutapimą, arti vieneto – tobulą sutapimą. Reikšmė siekianti virš 0,8 reiškia gerą rezultato tikslumą, žemiau 0,4 – prastą.

Kappa koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\hat{K} = \frac{Nd-q}{N^2-q}, (5)$$

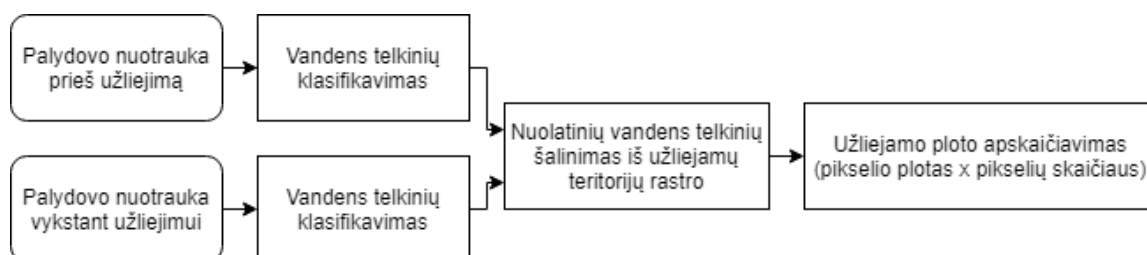
kur: N – visas taškų kiekis;

d- suma teisingai klasifikuotų pikselių;

q- sandaugų suma tarp kiekvienos klasės klasifikuotų ir referencinių taškų.

2.4. Užliejamų plotų kaitos skaičiavimų metodika

Užliejamų plotų kaitai nustatyti ir apskaičiuoti reikalingos palydovo nuotraukos prieš potvynį ir potvynio metu (14 pav.). Atlikus abiejų vaizdų klasifikaciją, iš potvynio metu gauto klasifikavimo GIS įrankių pagalba atimami pikseliai esantys nuotraukoje prieš potvynį. Tokiu būdu iš sluoksnio išnaikinami pastovūs esami vandens telkiniai ir lieka dinamiškai kintantis išsiliejęs vandens sluoksnis. Atributų lentelėje esantį pikselių kiekį padauginus iš pikselio erdvinės rezoliucijos, gausime užlietos teritorijos dydį.



14 pav. Užliejamų teritorijų ploto apskaičiavimo darbo eigos schema

III. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Palydovų nuotraukų pritaikomumas

Atlikus vizualų ir analitinį Landsat-8 palydovo nuotraukų vertinimą nustatyta, kad nuo 2014 metų sausio 21 dienos iki 2018 metų gegužės 24 dienos, tinkamų nuotraukų Nemuno žemupio ir deltos tyrimams yra 42 iš 198 (apie 21,21 % arba kas 5 nuotrauka). Iš tinkamų (debesimis ir rūko nepadengtų) nuotraukų užliejimų tyrimams naudotos buvo 21, likusios 21 nuotraukų pasiskirsčiusios laikotarpiams, kai teritorijų užliejimų neaptinkama. Daugiausiai palydovinių nuotraukų neuždengtų atmosferos elementais užliejimams analizuoti rudens, žiemos ir pavasario mėnesiais buvo 2014 metais, naudotos 6 nuotraukos. Mažiausiai debesų ir rūko neuždengtų nuotraukų užliejimų kartografavimui nustatyta 2016 metais, buvo tinkama tik 1 nuotrauka. 2014 metais sausio – gegužės mėnesiais debesimis ir rūko nepadengtų nuotraukų užliejimams kartografuoti buvo 6 iš 16. 2015 metų užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 4 iš 34, kur 26 (76,47 %) iš jų buvo padengtos debesimis. 2016 metais užliejimams nustatyti buvo 1 nuotrauka iš 34, kur 30 (88,24 %) iš jų buvo padengtos debesimis. 2017 metų užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 4 iš 34, kur 28 (82,35 %) iš jų buvo padengtos debesimis. 2018 metų užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 7 iš 34, kur 24 (70,59 %) iš jų buvo padengtos debesimis.

Atlikus Sentinel-2 palydovų nuotraukų vertinimą nustatyta, kad nuo 2015 metų spalio 6 dienos iki 2018 metų gegužės 20 dienos, tinkamų nuotraukų Nemuno žemupio ir deltos tyrimams yra 40 iš 199 (20,1 % arba kas 5 nuotrauka). Iš tinkamų nuotraukų užliejimų tyrimams naudotos buvo 15, likusios 25 nuotraukos pasiskirsčiusios laikotarpiams, kai teritorijų užliejimų neaptinkama. 2016 metais užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 1 iš 27, kur 22 (81,48 %) iš jų buvo padengtos debesimis ir 2 nuotraukos nėra tinkamos dėl trūkstamos teritorinės informacijos (nuotraukos riba perkerta Sakūčių mišką, Krokų Lankos ežerą ir Nemuno deltos salas). 2017 metais užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 5 iš 52, kur 41 (78,85 %) iš jų buvo padengta debesimis ir 4 nuotraukos nėra tinkamos dėl trūkstamos teritorinės informacijos. 2018 metais užliejimams nustatyti iš rudens, žiemos ir pavasario mėnesių nuotraukų buvo 9 iš 87, kur 65 (74,71 %) iš jų buvo padengtos debesimis ir 9 nuotraukos nėra tinkamos dėl trūkstamos teritorinės informacijos. Taigi mažiausiai užliejimų kartografavimui Sentinel-2 palydovų nuotraukų nustatyta 2016 metais, o daugiausiai – 2018 metais. 11 nuotraukų gautų iš S2A palydovo, o likusios 4 (visos nuotraukos 2018 metų) – iš S2B palydovo.

Kartu pasitelkiant Landsat-8 ir Sentinel-2 palydovų nuotraukas, 2014 metų užliejimams nustatyti naudotos 6 nuotraukos, 2015 metų – 4 nuotraukos, 2016 metų – 2 nuotraukos, 2017 metų – 9 nuotraukos ir 2018 metų – 14 nuotraukų (2018.05.01 dienos nuotrauka fiksuota abejomis palydovų

sistemomis). Viso – 35 nuotraukos. Taigi užliejimų kaita prasčiausiai įžvelgiama 2016 ir 2015 metais, kai yra tik kelios nuotraukos. Geriausiai kaita matoma 2018, 2017 ir 2014 metais. 2017-2018 metų nuotraukų gausai įtakos turėjo Sentinel-2 antrojo palydovo atsiradimas.

3.2. Klasifikavimo algoritmų tikslumo vertinimas

Šiame darbe analizuojami 4 klasifikavimo algoritmai: 1 neprižiūravimo klasifikavimo – ISODATA algoritmas ir 3 prižiūravimo klasifikavimo – minimalaus atstumo, maksimalaus panašumo ir spektrinio kampo algoritmai. Klasifikavimo tikslumui įvertinti pasirinktos 3 scenarijai – teritorija prieš prasidedant potvyniui, potvynio metu ir potvyniui bepasibaigiant (kai lieka įmirkusi teritorija).

Prieš potvynį klasifikavimui pasirinkta 2014 metų spalio 29 dienos nuotrauka. Iš ISODATA algoritmo sugeneruotos nuotraukos (15 pav.) klaidų matricos lentelės (3 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti itin tiksliai. Nė vienas iš 30 pikselių nebuvo priskirtas kitai klasei, tad šios klasės tikslumas siekia 100 procentų. Taip pat šios klasės pikseliai nebuvo maišomi kitose klasėse, tad vartotojo tikslumas taip pat siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota pakankamai tiksliai, 26 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 iš jų netinkamai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, po 1 žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasėms. Klasės tikslumas siekia 86,67 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, po 1 miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų klasėms, bei 7 pikseliai dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 74,29 procentus, tai parodo, kad ši klasė buvo dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę, kompensuojant kitos klasės (šiuo atveju dirbtinės dangos) ploto santykiu. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasifikacija atlikta pakankamai tiksliai, 26 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, po 1 pikselį klaidingai priskirta kitoms klasei išskyrus vandens telkinius. Klasės tikslumas siekia 90 procentų. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, daugiausiai klaidinančiai priskirta buvo žemdirbystės teritorijoms – 3 taškai, pelkėms ir durpynams – 2 ir dirbtinėms dangoms – 1. Tai atspindi vartotojo tikslumas, kuris siekia 81,82 procentą. Abi tikslumo reikšmės parodo, kad ši klasė suklasifikuota gana dideliu tikslumu. Žemdirbystės teritorijų klasifikavimo tikslumas taikant ISODATA algoritmą yra vienas iš žemiausių, 22 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau 1 priskirtas pelkių ir durpynų klasei, 3 miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms bei 4 dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas sieki 73,33 procentus. Ši žemėnaudos klasė klaidingai po 1 kartą priskirta pelkių ir durpynų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, o 4 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 78,57 procentus. Abi reikšmės parodo vidutinę klasės klasifikavimo tikslumą. Prasčiausiai suklasifikuota klasė – tai dirbtinės dangos klasė. Tik 18 iš 30 pikselių suklasifikuoti tiksliai. Net 7 pikseliai klaidingai priskirti pelkių ir durpynų klasei, 1 miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 4 žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas tesiekia 60

procentų. Ši klasė klaidingai priskirta po 1 kartą pelkių ir durpynų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėms, 4 kartus – žemdirbystės teritorijų klasei. Vartotojo tikslumas siekia 75 procentus, tai rodo, kad ši klasė dažnai klaidingai priskiriama kitoms klasėms. Iš viso tiksliai suklasifikuoti 123 taškai iš 150, tad bendras algoritmo klasifikacijos tikslumas siekia 82 procentus, o kappa koeficientas siekia 0,78. Klasifikacija atlikta gana tiksliai, tačiau vertėtų pagerinti žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasių klasifikacijos rezultatus.

3 lentelė. 2014.10.29 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys					Klasifikuotų taškų kiekis	Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos		
Vandens telkiniai	30	0	0	0	0	30	100
Pelkės ir durpynai	0	26	1	1	7	35	74,29
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	0	2	27	3	1	33	81,82
Žemdirbystės teritorija	0	1	1	22	4	28	78,57
Dirbtinės dangos	0	1	1	4	18	24	75
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 82 %	
Gamintojo tikslumas (%)	100	86,67	90	73,33	60	Kappa = 0,78	

Iš minimalaus atstumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (15 pav.) klaidų matricos lentelės (4 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti aukštu tikslumu. 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 3 taškai klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 90 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 25 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 iš jų netinkamai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 2 žemdirbystės teritorijų ir 1 dirbtinės dangos klasei. Klasės tikslumas siekia 83,33 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms. Net 16 pikselių priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, po 3 žemdirbystės teritorijų klasėms bei dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas tesiekia 53,19 procentus, tai parodo, kad ši klasė buvo itin dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai – miškai ir kitos gamtinės teritorijos priskiriamos pelkių ir durpynų klasei. Nors gamintojo tikslumas rodo, kad klasifikacija gana tiksli, vartotojo tikslumas parodo, kad ši klasė yra viena iš prasčiausiai suklasifikuotų šiuo

algoritmu. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasifikacija atlikta itin netiksliai, tik 12 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, net 16 pikselių klaidingai priskirta pelkių ir durpynų klasei, 2 žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas tesiekia 40 procentų. Šios klasės tikslumas yra pats mažiausias kadangi ši klasė taip pat dažnai klaidingai priskiriama kitoms – 3 vandens telkiniams, 2 pelkėms ir durpynams ir 1 dirbtinėms dangoms. Vartotojo tikslumas - 66,67 procentai. Tai parodo, kad ši klasė klasifikuojama dažnai priskiriama kitoms klasėms, tačiau ir pačios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės.

4 lentelė. 2014.10.29 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Miškai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	27	0	0	0	0	27	100
Pelkės ir durpynai	0	25	16	3	3	47	53,19
Miškai ir kt. gamtinės teritorijos	3	2	12	0	1	18	66,67
Žemdirbystės teritorija	0	2	2	22	9	35	62,68
Dirbtinės dangos	0	1	0	5	17	23	73,91
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 68,67 %	
Gamintojo tikslumas (%)	90	83,33	40	73,33	56,66	Kappa = 0,61	

Žemdirbystės teritorijų klasifikavimo tikslumas nėra didelis, 22 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau 3 priskirtas pelkių ir durpynų klasei bei 5 dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas sieki 73,33 procentus. Ši žemėnaudos klasė klaidingai po 2 kartus priskirta pelkių ir durpynų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, o net 9 kartus dirbtinės dangos klasei. Vartotojo tikslumas siekia 62,68 procentus. Abi tikslumo reikšmės parodo, kad ši klasė suklasifikuota vidutinišku tikslumu. Dirbtinės dangos klasė yra viena iš prasčiausiai klasifikuotų. 17 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos: 9 pikseliai – žemdirbystės teritorijų klasė, 3 – pelkių ir durpynų ir 1- miškų ir kt. gamtinių teritorijų klasė. Klasės tikslumas tesiekia 56,66 procentus. Dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta 5 kartus žemdirbystės teritorijai ir 1 kartą pelkių ir durpių klasei. Matyti, kad tarpusavyje maišomi žemdirbystės teritorijos ir dirbtinės dangos pikseliai. Dirbtinės dangos vartotojo tikslumas 73,91 procentai. Iš viso minimalaus atstumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 103 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 68,67 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,61, tai parodo,

kad klasifikacijos tikslumas yra vidutiniškas. Itin netiksliai suklasifikuotos pelkių ir durpynų ir miškų bei gamtinių teritorijų klasės.

Iš maksimalaus panašumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (15 pav.) klaidų matricos lentelės (5 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti pakankamai tiksliai. 28 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 2 taškai klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 93,33 procentai. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasėje 20 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 iš jų netinkamai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 8 dirbtinės dangos klasei. Klasės tikslumas siekia 66,67 procentus. Nors gamintojo tikslumas mažas, tačiau ši klasė buvo retai priskirta kitoms klasėms, po 1 pikselį miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei bei žemdirbystės teritorijų klasei. Vartotojo tikslumas 90,91 procentų.

5 lentelė. 2014.10.29 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys					Klasifikuotų taškų kiekis	Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos		
Vandens telkiniai	28	0	0	0	0	28	100
Pelkės ir durpynai	0	20	1	1	0	22	90,91
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	2	2	25	1	1	31	80,65
Žemdirbystės teritorija	0	0	4	16	2	22	72,73
Dirbtinės dangos	0	8	0	12	27	47	57,45
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 77,33 %	
Gamintojo tikslumas (%)	93,33	66,67	83,33	53,33	90	Kappa = 0,72	

Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 25 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 1 pikselis klaidingai priskirtas pelkėms ir durpynams ir 4 – žemdirbystės teritorijoms. Klasės tikslumas siekia 83,33 procentus. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, klaidinančiai priskirta buvo po 2 pikselius vandens telkinių ir pelkių bei durpynų klasėms, po 1 likusioms kitoms klasėms. Vartotojo tikslumas siekia 80,65 procentų. Tad ši klasė suklasifikuota ganėtinai aukštu tikslumu. Žemdirbystės teritorijos klasifikacija nepasižymi dideliu tikslumu, tik 16 iš 30 klasės pikselių priskirti tiksliai, net 12 priskiriant dirbtinės dangos klasei ir po 1 kitoms klasėms išskyrus

vandens telkinių klasę. Gamintojo tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Ši klasė 4 kartus buvo priskirta miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 2 kartus dirbtinių dangų klasei. Vartotojo tikslumas siekia 72,73 procentus. Abi tikslumų reikšmės parodo ganėtinai mažo tikslumo klasifikaciją. Dirbtinių dangų klasėje 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 1 priskirtas miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, kiti 2 žemdirbystės teritorijoms. Gamintojo tikslumas siekia 90 procentų. Nors klasės tikslumas aukštas, tačiau ši klasė dažnai priskirta kitoms klasėms. 8 pikseliai priskirti pelkėms ir durpynams, 12 pikselių žemdirbystės teritorijoms. Vartotojo tikslumas siekia tik 57,45 procentus. Tai matyti žemėlapyje (priedai, 3 pav.), kad dirbtinių dangų klasė buvo dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę, kompensuojant kitų klasių ploto santykiu. Iš viso maksimalaus panašumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 116 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 77,33 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,72. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai, tačiau vertėtų pagerinti žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasių klasifikacijos rezultatus.

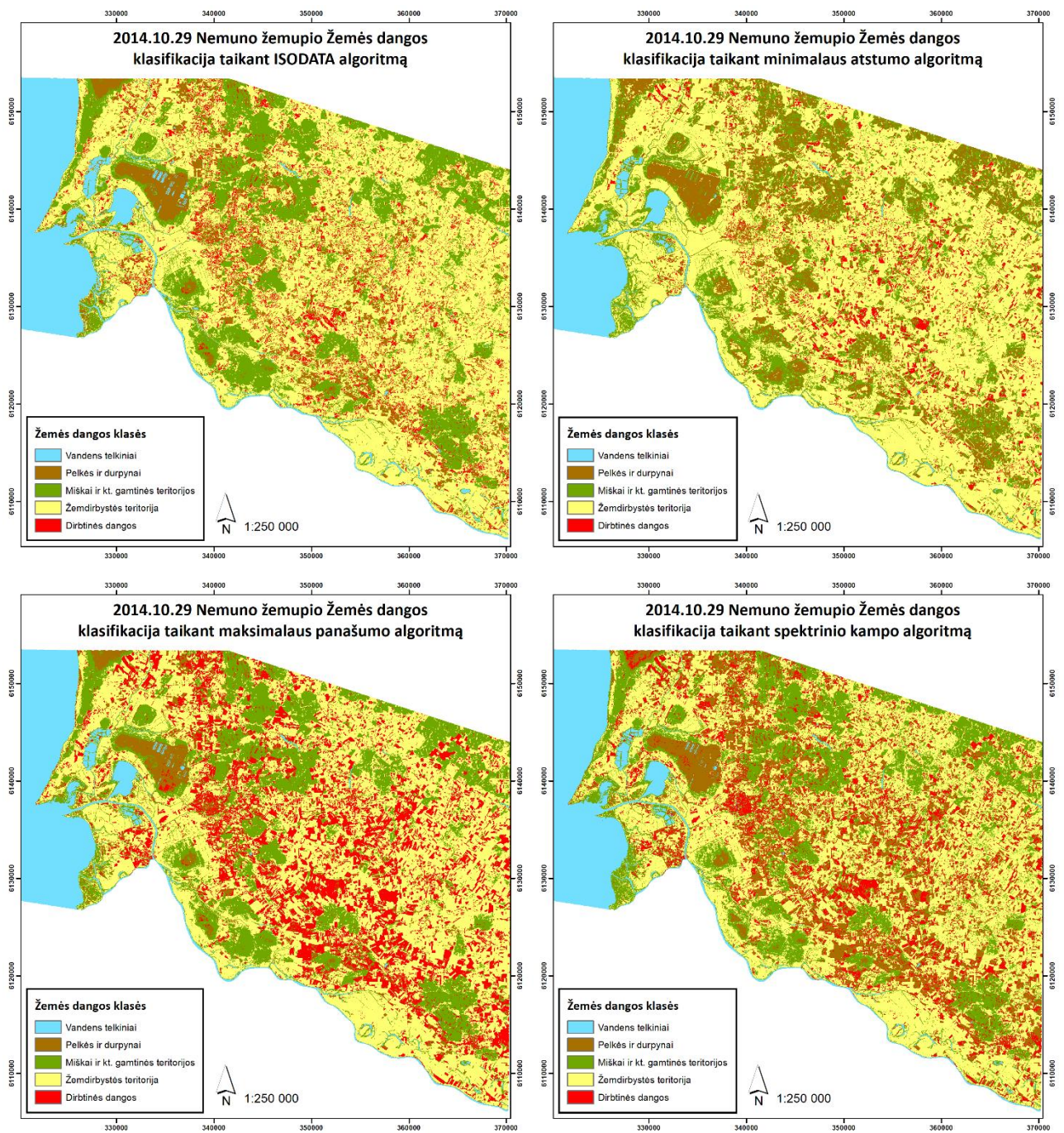
Iš spektrinio kampo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (15 pav.) klaidų matricos lentelės (6 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti pakankamai tiksliai. 28 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 2 taškai klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 93,33 procentai. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasėje 22 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 iš jų netinkamai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 6 dirbtinės dangos klasei. Klasės tikslumas siekia 73,33 procentus. Ši klasė 1 pikseliulyje priskirta miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, po 6 žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasei. Vartotojo tikslumas 62,68 procentus. Abi tikslumo reikšmės parodo, kad šios klasės klasifikavimas atliktas vidutinišku tikslumu, klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 25 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 1 pikselis klaidingai priskirtas pelkėms ir durpynams ir 4 – žemdirbystės teritorijoms. Klasės tikslumas siekia 83,33 procentus. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, klaidinančiai priskirta buvo po 2 pikselius vandens telkinių ir pelkių bei durpynų klasėms, 1 žemdirbystės teritorijų klasėms. Vartotojo tikslumas taip pat siekia 83,33 procentų. Tikslumų reikšmės įrodo, jog ši klasė suklasifikuota pakankamai tiksliai. Žemdirbystės teritorijos klasifikacija nepasižymi dideliu tikslumu, tik 16 iš 30 klasės pikselių priskirti tiksliai, 7 priskiriant dirbtinės dangos klasei, 6 pelkėms ir durpynams, 1 miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms. Gamintojo tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Ši klasė 4 kartus buvo priskirta miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 1 kartą dirbtinių dangų klasei. Vartotojo tikslumas siekia 76,19 procentus. Šios klasės klasifikacijos tikslumas santykinai žemas. Dirbtinės dangos klasėje 23 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 6 pikseliai klaidingai priskirtas pelkėms ir durpynams ir 1 – žemdirbystės teritorijoms. Gamintojo tikslumas

76,67 procentai. Ši klasė 6 kartus priskirta pelkių ir durpynų, o 7 kartus žemdirbystės teritorijų klasei. Vartotojo tikslumas siekia 63,89 procentus. Tikslumų reikšmės parodo vidutinį klasės klasifikavimo tikslumą. Žemėlapyje (15 pav.) matyti, kaip dirbtinės dangos teritorijos klaidingai priskirtos santykinai didelio ploto teritorijai. Iš viso spektrinio kampo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 114 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 76 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,7. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai, tačiau vertėtų pagerinti pelkių ir durpynų bei dirbtinės dangos klasių klasifikacijos rezultatus.

6 lentelė. 2014.10.29 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	28	0	0	0	0	28	100
Pelkės ir durpynai	0	22	1	6	6	35	62,68
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	2	2	25	1	0	30	83,33
Žemdirbystės teritorija	0	0	4	16	1	21	76,19
Dirbtinės dangos	0	6	0	7	23	36	63,89
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas =	
Gamintojo tikslumas (%)	93,33	73,33	83,33	53,33	76,67	76 % Kappa = 0,7	

Apibendrinant, tiksliausia 2014.10.29 dienos nuotraukos klasifikacija atlikta ISODATA algoritmu. Šis algoritmas šimtaprocentiniu tikslumu identifikavo vandens telkinius. Antras pagal tikslumą – maksimalaus panašumo algoritmas, vandens telkinius identifikavęs 93,33 procentų tikslumu. Trečias pagal tikslumą – spektrinio kampo algoritmas, taip pat vandens telkinius identifikavęs 93,33 procentų tikslumu. Mažiausiai tikslus – minimalaus atstumo algoritmas, vandens telkinius nustatęs 90 procentų tikslumu.



15 pav. 2014.10.29 (prieš potvynį) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija prižiūrimojo ir neprižiūrimojo klasifikavimo algoritmais

Potvynio metu klasifikavimui pasirinkta 2018 metų gegužės 1 dienos nuotrauka. Iš ISODATA algoritmo sugeneruotos nuotraukos (16 pav.) klaidų matricos lentelės (7 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti itin tiksliai. Nė vienas iš 30 pikselių nebuvo priskirtas kitai klasei, tad šios klasės tikslumas siekia 100 procentų. Taip pat šios klasės pikseliai nebuvo maišomi kitose klasėse, tad vartotojo tikslumas taip pat siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 28 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 netinkamai žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 93,33 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų

klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, 11 miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei po 1 žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 68,29 procentus, tai parodo, kad ši klasė buvo dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę, kompensuojant kitos klasės (šiuo atveju miškų ir kitų gamtinių teritorijų) ploto santykiu.

7 lentelė. 2018.05.01 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	30	0	0	0	0	30	100
Pelkės ir durpynai	0	28	11	1	1	41	68,29
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	0	0	17	1	3	21	80,95
Žemdirbystės teritorija	0	2	2	25	12	41	60,98
Dirbtinės dangos	0	0	0	3	14	17	82,35
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 76 % Kappa = 0,7	
Gamintojo tikslumas (%)	100	93,33	56,67	83,33	46,47		

Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 17 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 11 pikselių klaidingai priskirta pelkių ir durpynų klasei, 2 žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas tesiekia 56,67 procentus. Nors gamintojo tikslumas gana žemas, ši klasė retai priskiriama kitoms klasėms – 3 pikseliai priskirti dirbtinėms dangoms ir 1 žemdirbystės teritorijoms. Vartotojo tikslumas - 80,95 procentai. Žemdirbystės teritorijų klasėje 25 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau po 1 pikselį priskirtas pelkių ir durpynų klasei bei miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms, 3 dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas sieki 83,33 procentus. Ši žemėnaudos klasė klaidingai po 2 kartus priskirta pelkių ir durpynų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, o 12 kartų dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 60,98 procentus. Ši reikšmė parodo, kad ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai. Dirbtinės dangos klasė yra viena iš prasčiausiai klasifikuotų. 14 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos: 12 pikselių – žemdirbystės teritorijų klasė, 3 miškų ir kt. gamtinių teritorijų klasė, 1- pelkių ir durpynų. Klasės tikslumas tesiekia 46,47 procentus. Dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta 3 kartus žemdirbystės teritorijai, vartojimo tikslumas gana aukštas – 82,35 procentai. Tai parodo, kad ši klasė klasifikuojama gana

tiksliai, bet jos plotas priskiriamas kitoms klasėms. Iš viso ISODATA algoritmu tiksliai suklasifikuoti 114 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 76 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,7. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai, tačiau vertėtų pagerinti pelkių ir durpynų bei žemdirbystės teritorijų klasių klasifikacijos rezultatus.

Iš minimalaus atstumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (16 pav.) klaidų matricos lentelės (8 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti gana tiksliai. 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 3 taškai klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 90 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 24 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 6 netinkamai priskirti žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 80 procentų. Ši klasė klaidingai priskirta 6 kartus miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 1 kartą žemdirbystės teritorijų klasei bei 2 kartus dirbtinės dangos klasei. Vartotojo tikslumas siekia 72,73 procentus. Abi tikslumų reikšmės parodo, kad šios klasės klasifikacijos tikslumas ganėtinai aukštas. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasifikacija atlikta nepakankamai tiksliai, tik 16 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 6 pikseliai klaidingai priskirta pelkių ir durpynų klasei, 1 žemdirbystės teritorijų klasei, 7 dirbtinės dangos klasei. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasės tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Ši klasė santykinai mažai priskiriama klaidingoms klasėms – 3 kartus priskirta vandens telkiniams. Vartotojo tikslumas - 84,21 procentai. Žemdirbystės teritorijų klasėje 25 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau 1 pikselis priskirtas pelkių ir durpynų klasei, 4 dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas siekia 83,33 procentus. Ši žemėnaudos klasė dažnai klaidingai priskiriama kitoms klasėms - 6 kartus priskirta pelkių ir durpynų, 1 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, o 12 kartų dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 56,82 procentus. Ši reikšmė parodo, kad ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai, tuo kompensuodama didesni gamintojo tikslumą. Dirbtinės dangos klasė yra prasčiausiai klasifikuota minimalaus atstumo algoritmu. 16 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 12 pikselių – žemdirbystės teritorijų klasė, 2 - pelkių ir durpynų. Klasės tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta 4 kartus žemdirbystės teritorijai, bei 7 kartus miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Vartojimo tikslumas taip pat žemas – 59,26 procentai. Tai parodo, kad ši klasė klasifikuojama dažnai priskiriama kitoms klasėms, tačiau ir pačios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės. Iš viso minimalaus atstumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 108 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 72 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,65. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta vidutiniu tikslumu. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos bei žemdirbystės teritorijų klasių klasifikacijos rezultatus.

8 lentelė. 2018.05.01 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	27	0	0	0	0	27	100
Pelkės ir durpynai	0	24	6	1	2	33	72,73
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	3	0	16	0	0	19	84,21
Žemdirbystės teritorija	0	6	1	25	12	44	56,82
Dirbtinės dangos	0	0	7	4	16	27	59,26
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 72 %	
Gamintojo tikslumas (%)	90	80	53,33	83,33	53,33	Kappa = 0,65	

Iš maksimalaus panašumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (16 pav.) klaidų matricos lentelės (9 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti gana tiksliai. 29 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 1 taškas klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 96,67 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė prasčiausiai suklasifikuota klasė šiuo algoritmu. 15 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 13 netinkamai priskirti žemdirbystės teritorijų klasei, 2 dirbtinių dangų klasei. Klasės tikslumas siekia 50 procentų. Ši klasė klaidingai priskirta 9 kartus miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 4 kartus žemdirbystės teritorijų klasei bei 1 kartą dirbtinės dangos klasei. Vartotojo tikslumas taip pat žemas - siekia 51,72 procentus. Abi tikslumų reikšmės parodo, kad šios klasės klasifikacijos tikslumas žemas. Dideli durpyno plotai priskiriami žemdirbystės klasei, tačiau pati klasė klaidingai priskiriama kitoms – pagrinde miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasifikacija atlikta ne itin tiksliai, tik 16 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 9 pikseliai klaidingai priskirta pelkių ir durpynų klasei, 1 žemdirbystės teritorijų klasei, 4 dirbtinės dangos klasei. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasės tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Ši klasė priskirta klaidingai klasei tik kartą – vandens telkiniams. Tad vartotojo tikslumas ypač aukštas - 94,11 procentai. Tai parodo, kad nors klasė gerai identifikuojama, bet jai priskiriama daugybė klaidingų klasių.

9 lentelė. 2018.05.01 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	29	0	0	0	0	29	100
Pelkės ir durpynai	0	15	9	4	1	29	51,72
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	1	0	16	0	0	17	94,11
Žemdirbystės teritorija	0	13	1	24	13	51	47,06
Dirbtinės dangos	0	2	4	2	16	24	66,67
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 66,67 %	
Gamintojo tikslumas (%)	96,67	50	53,33	80	53,33	Kappa = 0,58	

Žemdirbystės teritorijų klasėje 24 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau 4 pikseliai priskirtas pelkių ir durpynų klasei, 2 dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas sieki 80 procentų. Ši žemėnaudos klasė itin dažnai klaidingai priskiriama kitoms klasėms - 13 kartų priskirta pelkių ir durpynų, 1 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 13 kartų dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 47,06 procentus. Ši reikšmė parodo, kad ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai, tuo kompensuodama didesni gamintojo tikslumą. Dirbtinės dangos klasė yra viena prasčiausiai klasifikuotų maksimalaus panašumo algoritmu. 16 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 13 pikselių – žemdirbystės teritorijų klasė, 1 - pelkių ir durpynų. Klasės tikslumas tesiekia 53,33 procentus. Dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta 2 kartus žemdirbystės teritorijai, 4 kartus miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 2 – pelkių ir durpynų. Vartojimo tikslumas taip pat žemas – 66,67 procentai. Tai parodo, kad ši klasė klasifikuojama dažnai priskiriama kitoms klasėms, tačiau ir pačios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės. Iš viso maksimalaus panašumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 100 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 66,67 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,58. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta vidutiniu tikslumu. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos, miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų klasių klasifikacijos rezultatus.

Iš spektrinio kampo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (16 pav.) klaidų matricos lentelės (10 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti pakankamai tiksliai. 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 3 taškai klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei.

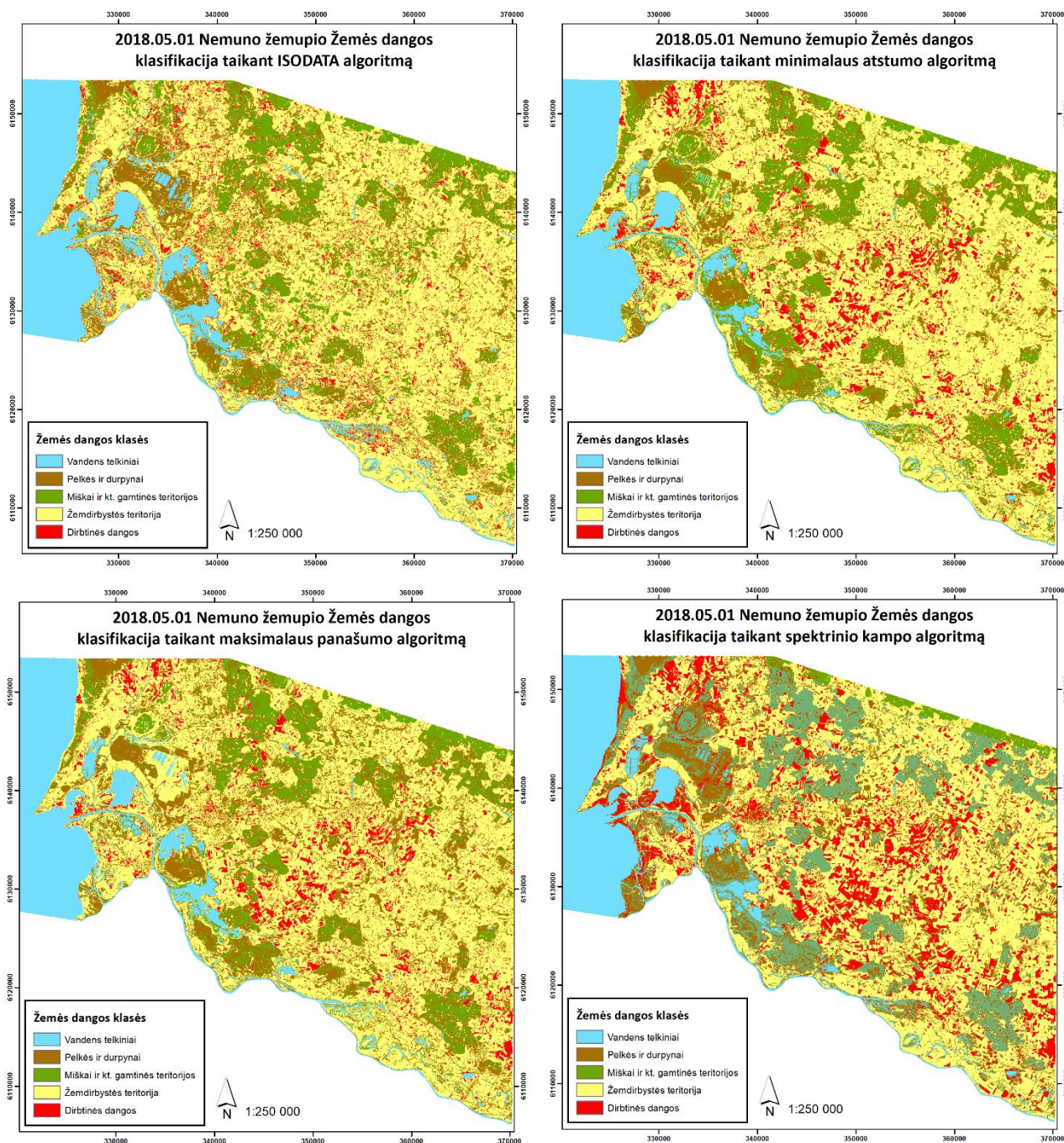
Klasės tikslumas yra 90 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 28 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 2 netinkamai žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 93,33 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, 3 miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei po 4 žemdirbystės teritorijų ir 1 dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 77,78 procentus. Abiejų tikslumų reikšmės parodo, kad ši klasė suklasifikuota gana dideliu tikslumu. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei 20 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 3 pikseliai klaidingai priskirta pelkių ir durpynų klasei, 3 žemdirbystės teritorijų klasei, 4 dirbtinės dangos klasei. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasės tikslumas tesiekia 66,67 procentus. Ši klasė 3 kartus klaidingai priskirta vandens telkiniams. Tad vartotojo tikslumas ypač aukštas - 86,96 procentai. Tai parodo, kad nors klasė gerai identifikuojama, bet jai priskiriama daugybė klaidingų klasių.

10 lentelė. 2018.05.01 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	27	0	0	0	0	27	100
Pelkės ir durpynai	0	28	3	4	1	36	77,78
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	3	0	20	0	0	23	86,96
Žemdirbystės teritorija	0	2	3	22	2	29	75,86
Dirbtinės dangos	0	0	4	4	27	35	77,14
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 82,66 %	
Gamintojo tikslumas (%)	90	93,33	66,67	73,33	90	Kappa = 0,78	

Žemdirbystės teritorijų klasėje 22 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau po 4 pikselius priskirta pelkių ir durpynų klasei bei dirbtinėms dangoms. Klasės tikslumas sieki 73,33 procentus. Ši žemėnaudos klasė priskiriama kitoms klasėms - 2 kartus priskirta pelkių ir durpynų, 3 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 2 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 75,86 procentus. Dvi tikslumų reikšmės parodo, kad klasės klasifikavimas pasižymi vidutiniu tikslumu. Dirbtinių dangų klasėje 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 1 priskirtas pelkių ir durpynų klasei, kiti 2 - žemdirbystės teritorijoms. Gamintojo tikslumas siekia 90 procentų. Nors klasės tikslumas aukštas,

tačiau ši klasė dažnai priskirta kitoms klasėms. Po 4 pikselius priskiriama miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų klasėms. Vartotojo tikslumas siekia 77,14 procentus. Nors tikslumų reikšmės aukštos, tačiau žemėlapyje (16 pav.), kad dirbtinių dangų klasė buvo labai dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę. Iš viso spektrinio kampo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 124 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 82,66 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,78. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai, tačiau vertėtų pagerinti pelkių ir durpynų, žemdirbystės teritorijų ir dirbtinės dangos klasių klasifikacijos rezultatus.



16 pav. 2018.05.01 (potvynio metu) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija
prižiūravimo ir neprižiūravimo klasifikavimo algoritmais

Apibendrinant, tiksliausia 2018.05.01 dienos nuotraukos klasifikacija atlikta spektrinio kampo algoritmu. Šis algoritmas vandens telkinius identifiko 90 procentų tikslumu. Antras pagal tikslumą – ISODATA algoritmas šimtaprocentiniu tikslumu identifiko vandens telkinius. Trečias pagal tikslumą – minimalaus atstumo algoritmas, vandens telkinius identifiko 90 procentų tikslumu. Mažiausiai tikslus – maksimalaus panašumo algoritmas, vandens telkinius nustatęs 96,67 procentų tikslumu.

Potvyniui bepasibaigiant (kai lieka įmirkusi teritorija) klasifikavimui pasirinkta 2014 metų balandžio 27 dienos nuotrauka. Iš ISODATA algoritmo sugeneruotos nuotraukos (17 pav.) klaidų matricos lentelės (11 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti itin tiksliai. Nė vienas iš 30 pikselių nebuvo priskirtas kitai klasei, tad šios klasės tikslumas siekia 100 procentų. Taip pat šios klasės pikseliai nebuvo maišomi kitose klasėse, tad vartotojo tikslumas taip pat siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 26 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 4 netinkamai žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 86,67 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, po 1 miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų ir 10 dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 68,42 procentus. Ši reikšmė parodo, kad nors gamintojo tikslumas itin didelis, tačiau ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 28 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, po 1 pikselį klaidingai priskiriama pelkėms ir durpynams bei žemdirbystės teritorijoms. Klasės tikslumas siekia 93,33 procentus. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, klaidinančiai priskirta buvo po 2 pikselius žemdirbystės teritorijoms ir dirbtinėms dangoms klasėms. Vartotojo tikslumas siekia 87,5 procentus. Tikslumų reikšmės įrodo, jog ši klasė suklasifikuota dideliu tikslumu. Žemdirbystės teritorijų klasėje 26 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau po 1 pikselį priskirta pelkių ir durpynų klasei bei dirbtinėms dangoms, 2 – miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms. Klasės tikslumas sieki 86,67 procentus. Ši žemėnaudos klasė priskiriama kitoms klasėms - 4 kartus priskirta pelkių ir durpynų, 1 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 6 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 70,27 procentus. Dvi tikslumų reikšmės parodo, kad klasės klasifikavimas pasižymi santykinai aukštu tikslumu. Dirbtinės dangos klasė yra viena prasčiausiai klasifikuotų ISODATA algoritmu. Tik 12 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 10 pikselių – pelkių ir durpynų klasė, 2 – miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasė, 6 – žemdirbystės teritorijų klasė. Klasės tikslumas tesiekia 40 procentus. Tačiau dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta tik kartą – žemdirbystės teritorijai, tad vartojimo tikslumas itin aukštas – 92,31 procentai. Tai parodo, kad šios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės, todėl žemėlapyje (17 pav.) vaizduojamas mažas dirbtinės dangos plotas.

11 lentelė. 2014.04.27 klasifikacijos ISODATA algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	30	0	0	0	0	30	100
Pelkės ir durpynai	0	26	1	1	10	38	68,42
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	0	0	28	2	2	32	87,5
Žemdirbystės teritorija	0	4	1	26	6	37	70,27
Dirbtinės dangos	0	0	0	1	12	13	92,31
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 81,33 %	
Gamintojo tikslumas (%)	100	86,67	93,33	86,67	40	Kappa = 0,77	

Iš viso ISODATA algoritmu tiksliai suklasifikuoti 122 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 81,33 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,77. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos bei pelkių ir durpynų klasių klasifikacijos rezultatus.

Iš minimalaus atstumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (17 pav.) klaidų matricos lentelės (12 lentelė) matyti, kad gauti rezultatai yra praktiškai identiški, skiriasi vos kelių vietų klasifikacija. Vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti labai tiksliai. 29 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 1 taškas klaidingai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 96,67 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 26 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 4 netinkamai žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 86,67 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, po 1 miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų ir 10 dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 68,42 procentus. Ši reikšmė parodo, kad nors gamintojo tikslumas itin didelis, tačiau ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 28 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, po 1 pikselį klaidingai priskiriama pelkėms ir durpynams bei žemdirbystės teritorijoms. Klasės tikslumas siekia 93,33 procentus. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, klaidinančiai priskirta buvo po 2 pikselius žemdirbystės teritorijoms ir dirbtinėms dangoms klasėms, 1 – vandens telkiniams. Vartotojo tikslumas siekia 84,85 procentus.

Tikslumų reikšmės įrodo, jog ši klasė suklasifikuota dideliu tikslumu. Žemdirbystės teritorijų klasėje 26 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau po 1 pikselį priskirta pelkių ir durpynų klasei bei dirbtinėms dangoms, 2 – miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms. Klasės tikslumas sieki 86,67 procentus. Ši žemėnaudos klasė priskiriama kitoms klasėms - 4 kartus priskirta pelkių ir durpynų, 1 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 6 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 70,27 procentus. Dvi tikslumų reikšmės parodo, kad klasės klasifikavimas pasižymi santykinai aukštu tikslumu.

12 lentelė. 2014.04.27 klasifikacijos minimalaus atstumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	29	0	0	0	0	29	100
Pelkės ir durpynai	0	26	1	1	10	38	68,42
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	1	0	28	2	2	33	84,85
Žemdirbystės teritorija	0	4	1	26	6	37	70,27
Dirbtinės dangos	0	0	0	1	12	13	92,31
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas = 80,66 %	
Gamintojo tikslumas (%)	96,67	86,67	93,33	86,67	40	Kappa = 0,76	

Dirbtinės dangos klasė yra viena prasčiausiai klasifikuotų minimalaus atstumo algoritmu. Tik 12 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 10 pikselių – pelkių ir durpynų klasė, 2 – miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasė, 6 – žemdirbystės teritorijų klasė. Klasės tikslumas tesiekia 40 procentus. Tačiau dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta tik kartą – žemdirbystės teritorijai, tad vartojimo tikslumas itin aukštas – 92,31 procentai. Tai parodo, kad šios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės, todėl žemėlapyje (17 pav.) vaizduojamas mažas dirbtinės dangos plotas. Iš viso minimalaus atstumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 121 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 80,66 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,76. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta ganėtinai tiksliai. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos bei pelkių ir durpynų klasių klasifikacijos rezultatus.

Iš maksimalaus panašumo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (17 pav.) klaidų matricos lentelės (13 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti itin tiksliai. Nė vienas iš 30 pikselių nebuvo priskirtas kitai klasei, tad šios klasės tikslumas siekia 100 procentų. Tačiau tai

vienintelis atvejis, kai vandens telkinių klasė priskiriama kitoms klasėms. Šiuo atveju 10 miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei buvo priskirtos vandens telkinių klasės. Tad vartotojo tikslumas siekia 75 procentus. Žemėlapyje (17 pav.) matyti, kad dideli miškingų vietovių plotai priskiriami vandens telkinių klasei. Pelkių ir durpynų klasėje 22 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 5 iš jų netinkamai priskirti miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei ir 3 žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 73,33 procentus. Ši klasė 10 pikselių klaidingai priskirta dirbtinės dangos klasei. Vartotojo tikslumas 68,75 procentus. Abi tikslumo reikšmės parodo, kad šios klasės klasifikavimas atliktas vidutinišku tikslumu, vietoje dirbtinės dangos klasės, pikseliams klaidingai priskiriama pelkių ir durpynų klasė. Tačiau dideli durpynų plotai klaidingai priskiriami žemdirbystės teritorijų klasei. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 17 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 10 pikselių klaidingai priskirta vandens telkinių klasei, 3 žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas tesiekia 56,67 procentus. Ši klasė dažnai priskiriama kitoms klasėms – 5 pikseliai pelkių ir durpynų klasei, 2 pikseliai priskirti dirbtinėms dangoms ir 2 žemdirbystės teritorijoms. Vartotojo tikslumas - 65,39 procentai. Abi reikšmės parodo, kad ši klasė klasifikuojama dažnai priskiriama kitoms klasėms, tačiau ir pačios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės. Žemdirbystės teritorijų klasėje 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 1 pikselis priskirtas pelkių ir durpynų klasei, 2 – miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms. Klasės tikslumas sieki 90 procentų. Ši žemėnaudos klasė priskiriama kitoms klasėms - 3 kartus priskirta pelkių ir durpynų, 3 - miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasei, 6 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 69,23 procentus. Dvi tikslumų reikšmės parodo, kad klasės klasifikavimas pasižymi santykinai aukštu tikslumu, tačiau ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę. Dirbtinės dangos klasė yra viena prasčiausiai klasifikuotų minimalaus atstumo algoritmu. Tik 12 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 10 pikselių – pelkių ir durpynų klasė, 2 – miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasė, 6 – žemdirbystės teritorijų klasė. Klasės tikslumas tesiekia 40 procentus. Tačiau dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta tik kartą – žemdirbystės teritorijai, tad vartojimo tikslumas itin aukštas – 92,31 procentai. Tai parodo, kad šios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės, todėl žemėlapyje (17 pav.) vaizduojamas mažas dirbtinės dangos plotas.

Iš viso maksimalaus panašumo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 108 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 72 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,65. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta vidutiniu tikslumu. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos, pelkių ir durpynų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasių klasifikacijos rezultatus.

13 lentelė. 2014.04.27 klasifikacijos maksimalaus panašumo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	30	0	10	0	0	40	75
Pelkės ir durpynai	0	22	0	0	10	32	68,75
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	0	5	17	2	2	26	65,39
Žemdirbystės teritorija	0	3	3	27	6	39	69,23
Dirbtinės dangos	0	0	0	1	12	13	92,31
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas =	
Gamintojo tikslumas (%)	100	73,33	56,67	90	40	72 % Kappa = 0,65	

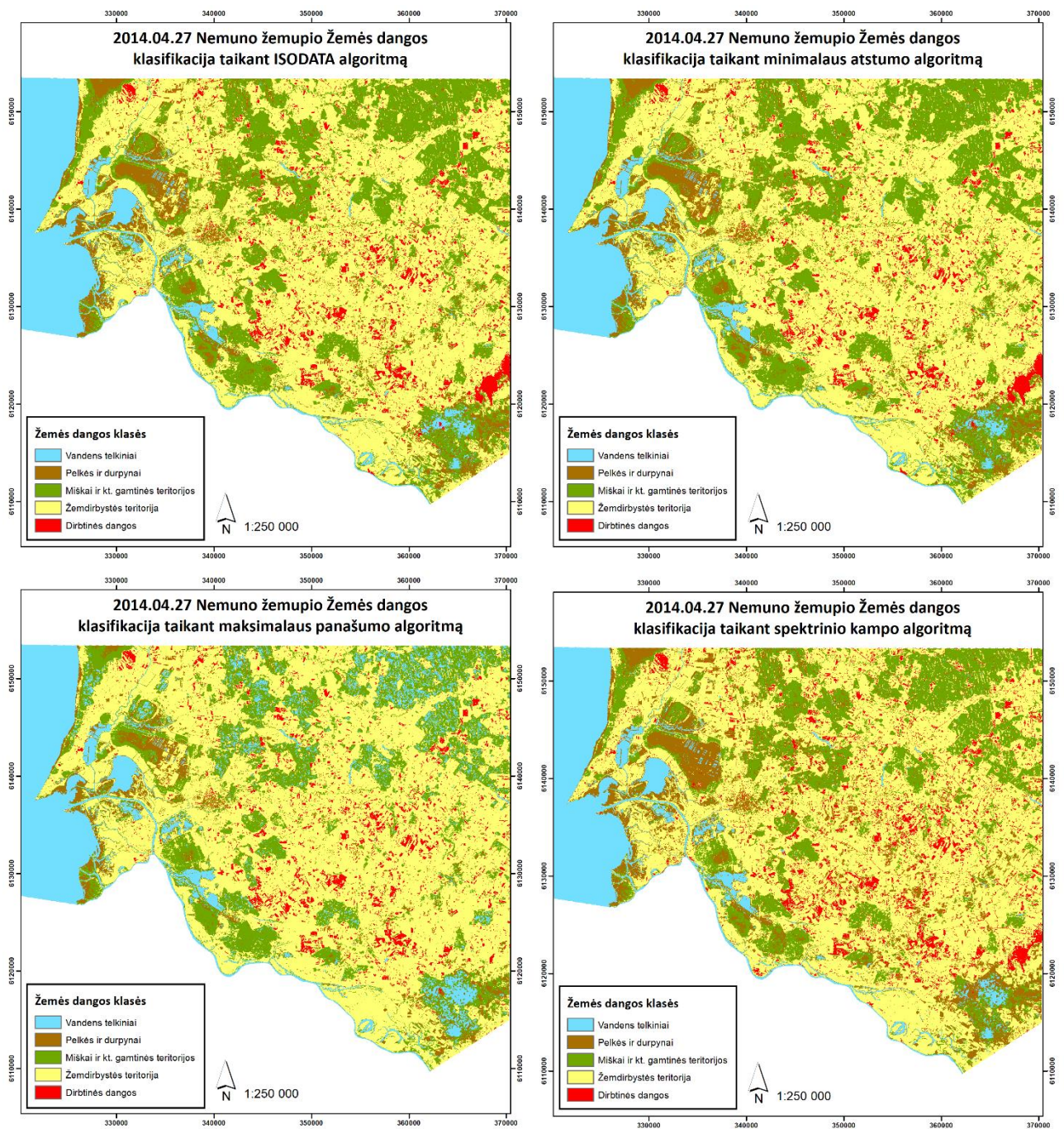
Iš spektrinio kampo algoritmo sugeneruotos nuotraukos (17 pav.) klaidų matricos lentelės (14 lentelė) matyti, kad vandens telkiniai šiuo algoritmu suklasifikuoti labai tiksliai. 29 iš 30 pikselių priskirti tiksliai, tačiau 1 taškas klaidingai priskirti pelkių ir durpynų teritorijų klasei. Klasės tikslumas yra 96,67 procentų. Nepaisant kelių klaidingai klasifikuotų pikselių, ši klasė nebuvo klaidingai priskirta kitoms klasėms, todėl vartotojo tikslumas siekia 100 procentų. Pelkių ir durpynų klasė suklasifikuota gana tiksliai, 29 iš 30 pikselių buvo priskirti tinkamai klasei, 1 netinkamai priskirtas žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 96,67 procentus. Tačiau pelkių ir durpynų klases pikseliai priskiriami klaidingai kitoms klasėms, po 1 vandens telkiniu, miškų ir kitų gamtinių teritorijų bei žemdirbystės teritorijų ir 9 dirbtinės dangos klasei. Dėl to vartotojo tikslumas siekia 70,73 procentus. Ši reikšmė parodo, kad nors gamintojo tikslumas itin didelis, tačiau ši klasė dažnai priskirta klaidingai didesnei teritorijai ir jos gausa padidina tikslumo tikimybę. Miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasėje 27 iš 30 pikselių priskirti tiksliai klasei, 1 pikselį klaidingai priskiriama pelkių ir durpynų klasei, 2 - žemdirbystės teritorijų klasei. Klasės tikslumas siekia 90 procentų. Santykinai mažai ši klasė priskirta kitoms žemėnaudos klasėms, klaidinančiai priskirta buvo po 2 pikselius žemdirbystės teritorijoms ir dirbtinėms dangoms klasėms. Vartotojo tikslumas siekia 87,1 procentus. Tikslumų reikšmės įrodo, jog ši klasė suklasifikuota dideliu tikslumu. Žemdirbystės teritorijų klasėje 26 iš 30 pikselių priskirti teisingai, tačiau po 1 pikselį priskirta pelkių ir durpynų klasei bei dirbtinėms dangoms, 2 – miškams ir kitoms gamtinėms teritorijoms. Klasės tikslumas sieki 86,67 procentus. Ši žemėnaudos klasė priskiriama kitoms klasėms - 1 kartą priskirta pelkių ir durpynų, 2 - miškų ir kitų

gamtinių teritorijų klasei, 6 kartus dirbtinės dangos klasei, vartotojo tikslumas siekia 74,29 procentus. Dvi tikslumų reikšmės parodo, kad klasės klasifikavimas pasižymi santykinai aukštu tikslumu. Dirbtinės dangos klasė yra viena prasčiausiai klasifikuotų spektrinio kampo algoritmu. Tik 13 iš 30 pikselių priskirta tinkamai klasei, daugiausiai klaidingai priskirtos 9 pikselių – pelkių ir durpynų klasė, 2 – miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasė, 6 – žemdirbystės teritorijų klasė. Klasės tikslumas tesiekia 43,33 procentus. Tačiau dirbtinės dangos klasė klaidingai priskirta tik kartą – žemdirbystės teritorijai, tad vartojimo tikslumas itin aukštas – 92,86 procentai. Tai parodo, kad šios klasės pikseliams dažnai priskiriamos klaidingos klasės, todėl žemėlapyje (17 pav.) vaizduojamas mažas dirbtinės dangos plotas. Iš viso spektrinio kampo algoritmu tiksliai suklasifikuoti 124 iš 150 pikselių, bendras tikslumas – 82,66 procentai. Kappa koeficiento reikšmė lygi 0,78. Tai rodo, kad klasifikacija atlikta santykinai dideliu tikslumu. Vertėtų pagerinti dirbtinės dangos, pelkių ir durpynų bei žemdirbystės teritorijų klasių klasifikacijos rezultatus.

14 lentelė. 2014.04.27 klasifikacijos spektrinio kampo algoritmu klaidų matrica

Klasifikacija	Referenciniai duomenys						Vartotojo tikslumas (%)
	Vandens telkiniai	Pelkės ir durpynai	Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	Žemdirbystės teritorija	Dirbtinės dangos	Klasifikuotų taškų kiekis	
Vandens telkiniai	29	0	0	0	0	29	100
Pelkės ir durpynai	1	29	1	1	9	41	70,73
Mišakai ir kt. gamtinės teritorijos	0	0	27	2	2	31	87,1
Žemdirbystės teritorija	0	1	2	26	6	35	74,29
Dirbtinės dangos	0	0	0	1	13	14	92,86
Referencinių taškų kiekis	30	30	30	30	30	Viso taškų = 150 Bendras tikslumas =	
Gamintojo tikslumas (%)	96,67	96,67	90	86,67	43,33	82,66 % Kappa = 0,78	

Apibendrinant, tiksliausia 2014.04.27 dienos nuotraukos klasifikacija atlikta spektrinio kampo algoritmu. Šis algoritmas vandens telkinius identifikavo 96,67 procentų tikslumu. Antras pagal tikslumą – ISODATA algoritmas šimtaprocentiniu tikslumu identifikavo vandens telkinius. Trečias pagal tikslumą – minimalaus atstumo algoritmas, vandens telkinius identifikavęs 96,67 procentų tikslumu. Mažiausiai tikslus – maksimalaus panašumo algoritmas, vandens telkinius nustatęs šimtaprocentiniu tikslumu, tačiau pasižymėjo šios klasės žemiausia vartotojo tikslumo verte.



17 pav. 2014.04.27 (potvyniui bepasibaigiant) Nemuno žemupio Žemės dangos klasifikacija prižiūrimojo ir neprižiūrimojo klasifikavimo algoritmais

Lyginant visus nagrinėtus scenarijus, du kartus tiksliausiu algoritmu nustatytas spektrinio kampo algoritmas, 1 kartą – ISODATA algoritmas, kuris 2 kartus buvo antras pagal tikslumą. Kadangi neprikaištingu tikslumu vandens telkiniai identifikuojami tik ISODATA algoritmo pagalba, tolimesniems Nemuno žemupio teritorijos užliejimams buvo naudojamas būtent šis algoritmas.

3.3. Nemuno žemupio užliejimai 2014-2018 m.

2014 metais analizuoti 6 užliejimai. 2014 m. Sausio 21 dieną (18 pav.) užliejamos teritorijos plotas siekia 11610,63 ha. Iš palydovinės nuotraukos matyti, kad tiriamoje teritorijoje vyrauja sniego danga, vandens telkiniai ir užlietos teritorijos padengtos ledu. Milžiniška užlietos teritorijos dalis vyrauja aplink Žalgirių mišką esančiuose Smalkų, Šyšos, Sausgalvių antrajame ir trečiajame polderiuose – beveik visas jų plotas užlietas. Taip pat pilnai užlieti Tulkiaragės, Plaškių ir Šilgalių polderiai. Didele dalimi užlieta teritorija aplink Sakučių mišką esantis Alkos polderis. Nemuno deltos Uostadvario, Pakalnės ir Vorusnės polderiuose taip pat fiksuojami dideli užlietos teritorijos plotai. Užlietų plotų randasi į vakarus nuo Krokų lankos ežero esančiuose polderiuose, palei Leities upę ir link Veržės polderio esančiuose teritorijose.

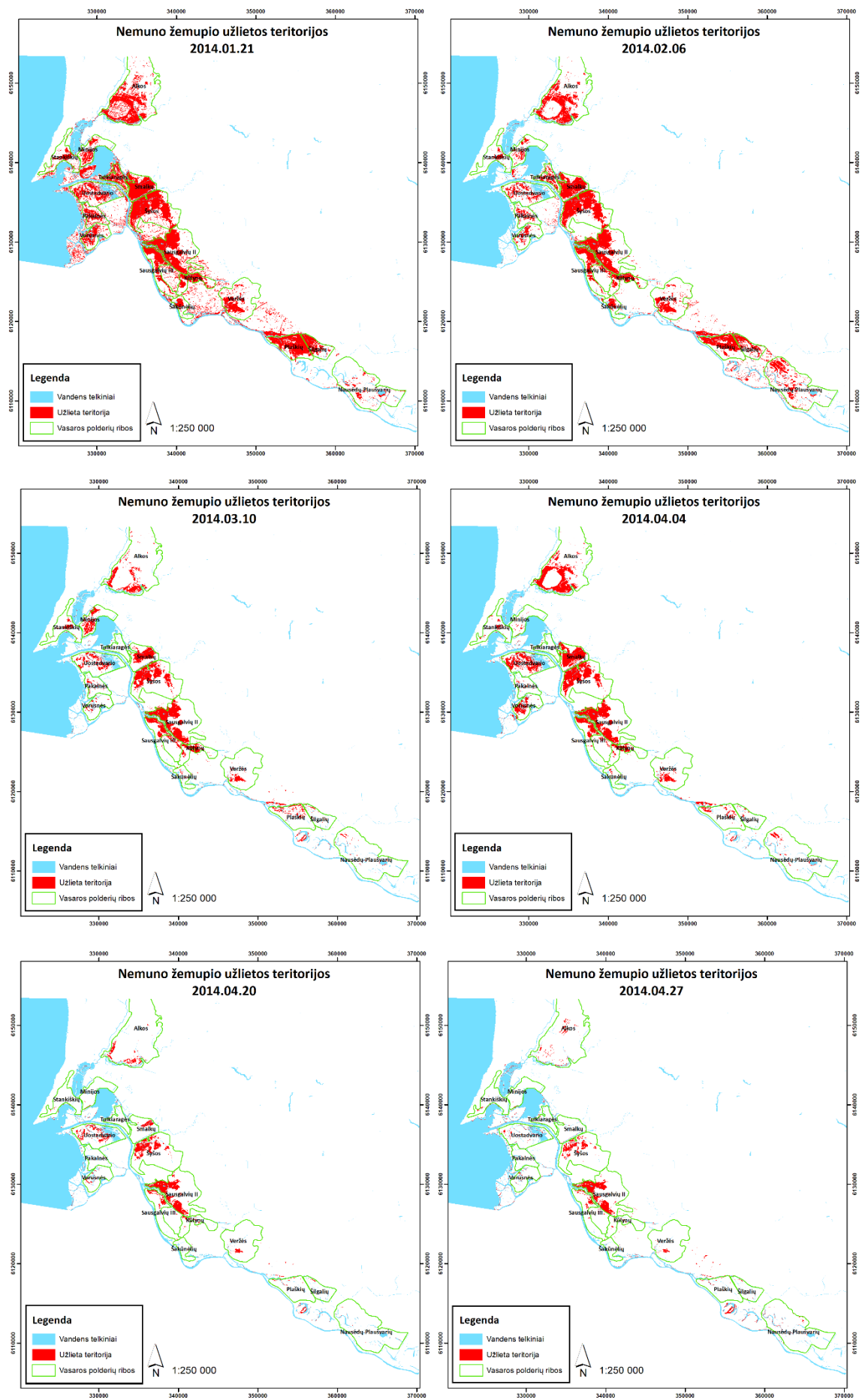
2014 m. Vasario 6 dieną (18 pav.), praėjus kiek daugiau nei dviem savaitėms, užliejamos teritorijos kiekis siekia 7881,84 ha. Iš palydovinės nuotraukos matyti, kad tiriamoje teritorijoje vyrauja užšalę ir apsnigę vandens telkiniai, todėl algoritmas aptinka mažesnę užlietą teritoriją negu prieš tai. Panašus užlietos teritorijos plotas išsilaikęs aplink Žalgirių mišką esančiuose polderiuose, taip pat Smalkų polderyje, Kūlynų, Šakūnėlių ir Veržės polderiuose. Kiek mažesnis plotas fiksuojamas Alkos, Plaškių, Šilgalių, Nemuno deltos polderiuose, taip pat aplink Krokų Lankos ežerą. Kiek didesnis užliejimų plotas dėl tirpstančios sniego matyti Nausėdų-Plaušvarių polderyje.

Praėjus kiek daugiau nei mėnesiui, 2014 m. kovo 10 dieną (18 pav.) užlietų teritorijų plotas siekia 4198,28 ha. Vis dar vyrauja užšalę ir apsnigę vandens telkiniai. Didžiausi užlieti plotai likę Smalkų, Šyšos, Sausgalvių II ir III, Kūlynų ir Minijos polderiuose. Kituose polderiuose fiksuojami maži užliejamų plotų dydžiai. Tam įtakos turi ledo ir sniego reiškinyms.

2014 m. Balandžio 4 dieną (18 pav.) užliejimų plotas siekė 4998,99 ha. Nuotraukoje nebematyti ledu padengtų užlietų vandens telkinių. Lyginant su kovo 10 diena, dėl tirpstančio sniego išplito vanduo įmirkusiuose Smalkų ir Šyšos vasaros polderiuose, deltos salos Uostadvario ir Vorusnės vasaros polderiuose, labiau užlieta įmirkusi teritorija Alkos vasaros polderyje. Menki įmirkimai išlieka Veržės, Plaškių ir Šilgalių polderiuose, Minijos polderyje užliejimas beveik išnykęs.

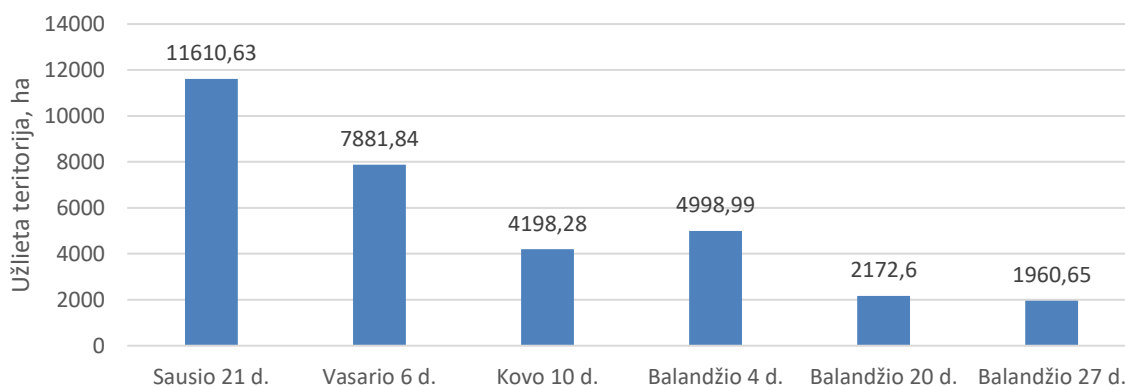
Po dviejų savaičių, 2014 m. balandžio 20 dieną (18 pav.) užlietos teritorijos plotas sumažėjo dvigubai – iki 2172,6 ha. Didžiausios įmirkusios teritorijos išliko ties Šyšos ir Sausgalvių vasaros polderiais. Kiek mažesnės įmirkusios teritorijos išliko deltos salos Uostadvario vasaros polderyje, Alkos vasaros polderyje aplink Sakučių mišką. Menki įmirkimai tebevyrauja Smalkų ir Veržės polderiuose. Kūlinų, Plaškių ir Šilgalių teritorijose įmirkimas beveik išnykęs.

Praėjus savaitei, 2014 m. balandžio 27 dieną (18 pav.) įmirkusios teritorijos vis mažėja, jos plotas siekia 1960,65 ha. Išlieka įmirkusi teritorija Šyšos ir Sausgalvių vasaros polderiuose, taip pat Veržės ir Alkos polderiuose. Iš šios dienos palydovinės nuotraukos paskutinį kartą matomos užlietos ir įmirkusios teritorijos šiais metais.



18 pav. Nemuno žemupio 2014 m. sezono užlietos teritorijos

Apibendrinant 2014 metų užliejamų plotų kaitą (19 pav.), sausio 21 dieną fiksuojamas didžiausias užliejamų teritorijų plotas. Vasario 6 dieną bei kovo 10 dieną fiksuojama plotų mažėjimo tendencija, kuriai įtakos turėjo ledu ir sniegu padengti vandens telkiniai. Balandžio 4 dieną matomas užlietos teritorijos ploto padidėjimas, tačiau ši nuotrauka nuo paskutiniosios skiria kiek apie 3 savaitių laikotarpis, per kurį prarasta vertinga informacija apie užlietus plotus prasidėjus ledo ir sniego tirpimui. Vėlesnėmis dienomis fiksuojamas užliejamų teritorijų mažėjimas, kur galutinis užliejimas išlieka Šyšos ir Sausgalvių vasaros polderiuose.



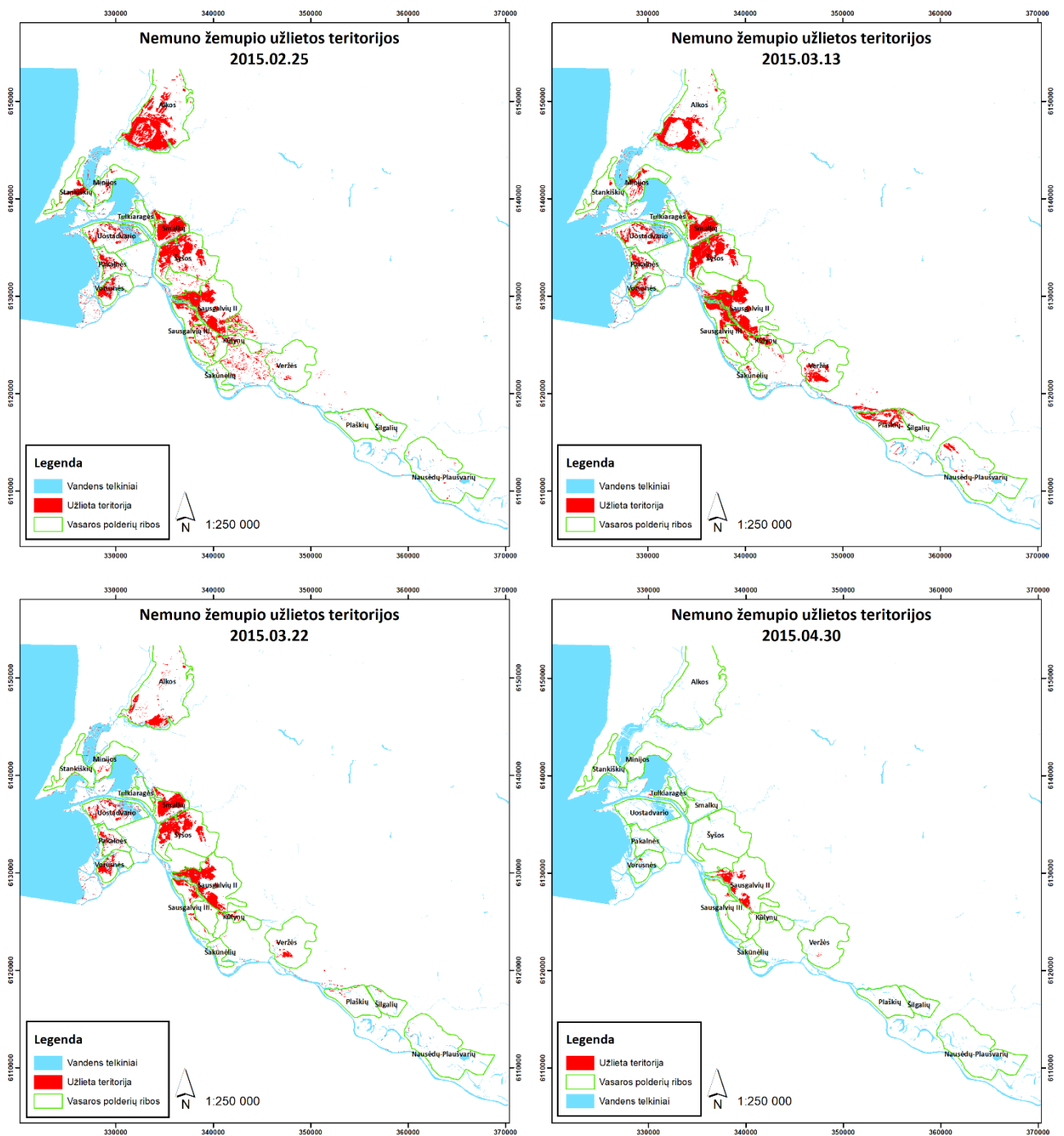
19 pav. Nemuno žemupio 2014 m. užliejamų plotų kaita

2015 metais analizuojami 4 užliejimai. Vasario 25 dieną (20 pav.) užliejama teritorija siekia 5746,59 ha. Vyksta ledo ir sniego tirpimas. Didžiausios užlietos teritorijos vyrauja aplink Žalgirių mišką ir Leitės upę – Smalkų, Šyšos ir Sausgalvių vasaros polderiuose. Taip pat gausiai užlieta teritorija aplink Sakūčių mišką (Alkos polderis). Menkesni užliejimai fiksuojami Stankiškių vasaros polderyje, Nemuno deltos saloje esančiuose Uostadvario, Pakalnės ir Vorusnės vasaros polderiuose.

Praėjus beveik 3 savaitėms, 2015 m. kovo 13 dieną (20 pav.) užliejimų plotas išlieka panašus ir siekia 5754,87 ha. Užliejamų teritorijų plotai plečiasi ties jau įmirkusiais Žalgirių mišku ir Leitės upe esančiais polderiais, taip pat deltos saloje – Uostadvario, Pakalnės ir Vorusnės polderiuose. Susidaro užlieta teritorija Veržės vasaros polderyje, aplink Gėgės upę esančiame Plaškių polderyje. Išlieka gausiai įmirkęs Alkos polderis.

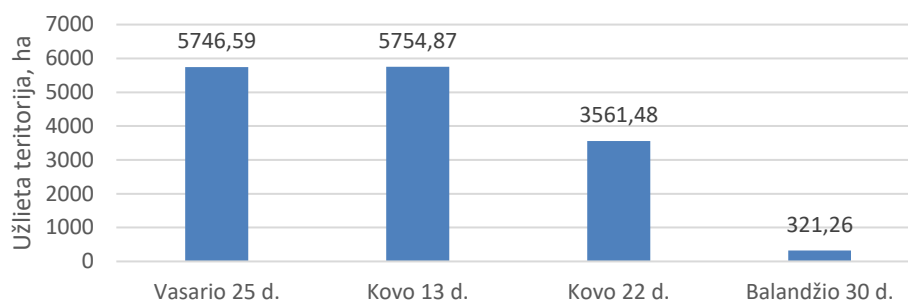
2015 m. Kovo 22 dieną (20 pav.) įmirkusios teritorijos plotas mažėja ir užima 3561,48 ha. Didžiausi įmirkusios teritorijos plotai išlieka Smalkų, Šyšos ir Sausgalvių polderiai. Mažesnės įmirkusios teritorijos užfiksuojamos deltos saloje esančiuose polderiuose ir Alkos polderyje. Minijos, Plaškių, Šilgalių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiuose užliejami plotai praktiškai išnykę.

Praėjus daugiau nei mėnesiui nuo paskutinės nuotraukos, 2015 m. balandžio 30 dieną (20 pav.) užliejimas matyti tik Sausgalvių II polderyje, užlietas plotas - 321,26 ha. Gegužės 9 dienos Landsat-8 nuotraukoje užliejamų plotų nebeaptinkama.



20 pav. Nemuno žemupio 2015 m. sezono užlietos teritorijos

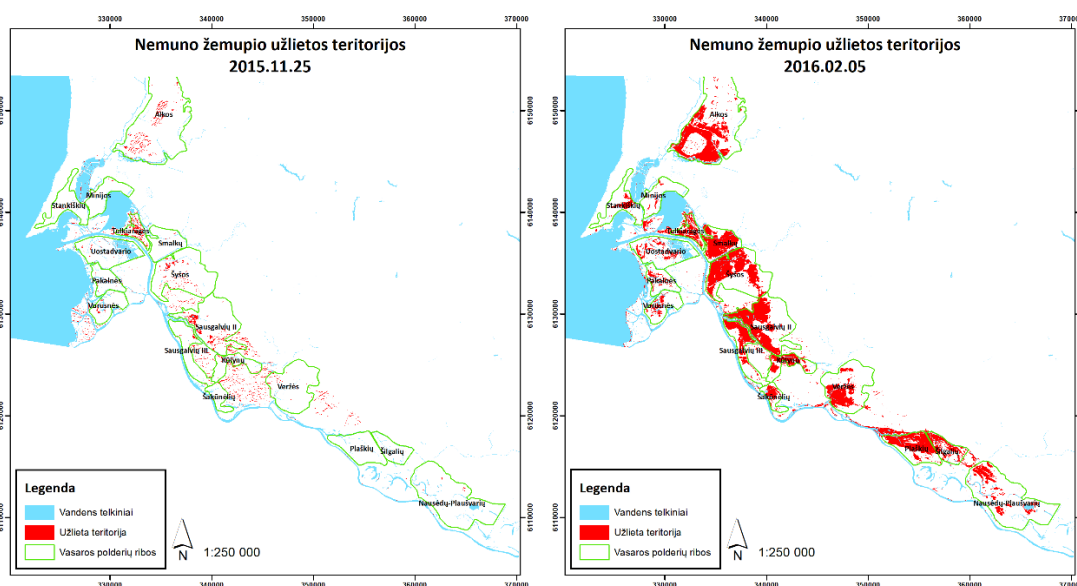
Apibendrinant 2015 metų užliejamų plotų kaitą (21 pav.), debesimis ir rūko nepadengtų nuotraukų užfiksuota tik besibaigiant vasario mėnesiui. Tad fiksuojama kaita kai ledo ir sniego tirpimas jau prasidėjęs. Tarp vasario 25 ir kovo 13 dienos išsilaiko panašus užlietos teritorijos kiekis, kinta tik užliejamų geografija – užliejami polderiai. Nuo kovo 22 dienos jau matomas užliejamų plotų mažėjimas, kuris dar aptinkamas balandžio gale, tačiau gegužės pradžioje jau nebeaptinkamas.



21 pav. Nemuno žemupio 2015 m. užliejamų plotų kaita

2016 metų sezono analizuojami 2 užliejimai. 2015 metų lapkričio 25 dieną (22 pav.) dėl gausių kritulių fiksuojami pavieniai užlieti plotai. Užlietas plotas siekia 1236,69 ha. Daug kritulių sukaupe Tulkiaragės, Sausgalvių II ir Alkos polderiai. Daugiausiai drėgmė kaupiasi miškingose vietovėse – Beržtų, Kūlynų, Žalgirių miškų aplinkinėse teritorijose.

Vasario 5 dienos (22 pav.) užliejamas plotas siekia 8401,95 ha. Vandens telkiniai padengti ledu. Didelis užlietas plotas nuo Krokų Lankos ežero esančio Tulkiaragės polderio, besitęsiantis ties Žalgirių mišku esančiais Smalkų, Šyšos, Sausgalvių polderiais ir užsibaigiantis Kūlinų bei Šakūnėlių polderiais. Nemaža teritorija užlieta ir ties Minijos ir Tenenio upių krantais (Alkos polderis), taip pat Veržės, Plaškių, Šilgalių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiuose. Drėgni plotai egzistuoja ir deltos salos vasaros polderiuose.



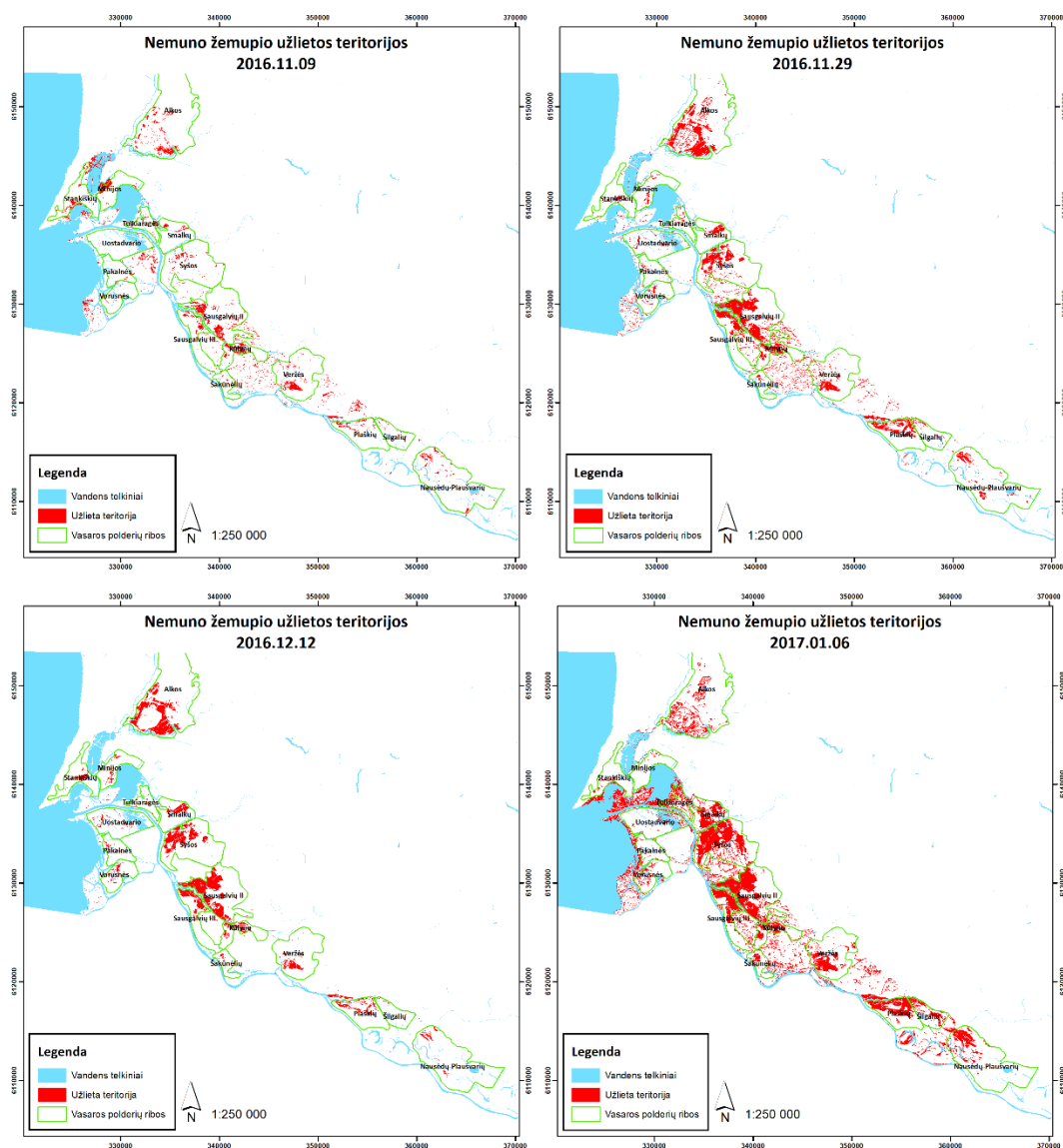
22 pav. Nemuno žemupio 2016 m. sezono užlietos teritorijos

2017 metų sezono analizuojami 9 užliejimai. Pirmasis užliejimas fiksuojamas 2016 metų lapkričio 9 dieną (23 pav.). Užlietos teritorijos dydis 1957,81 ha. Dėl gausių kritulių fiksuojami pavieniai užlieti plotai miškingose ir pelkėtose teritorijose, taip pat arti upių krantų. Daugiausiai drėgmės sukaupe Alkos, Minijos, Sausgalvių, Kūlynų ir Veržės polderiai, teritorija aplink Beržtų, Leitgirių ir Kūlynų miškus. Kiek mažiau drėgmės vyrauja Nemuno deltos saloje žemdirbystės laukuose, Plaškių, Šilgalių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiuose.

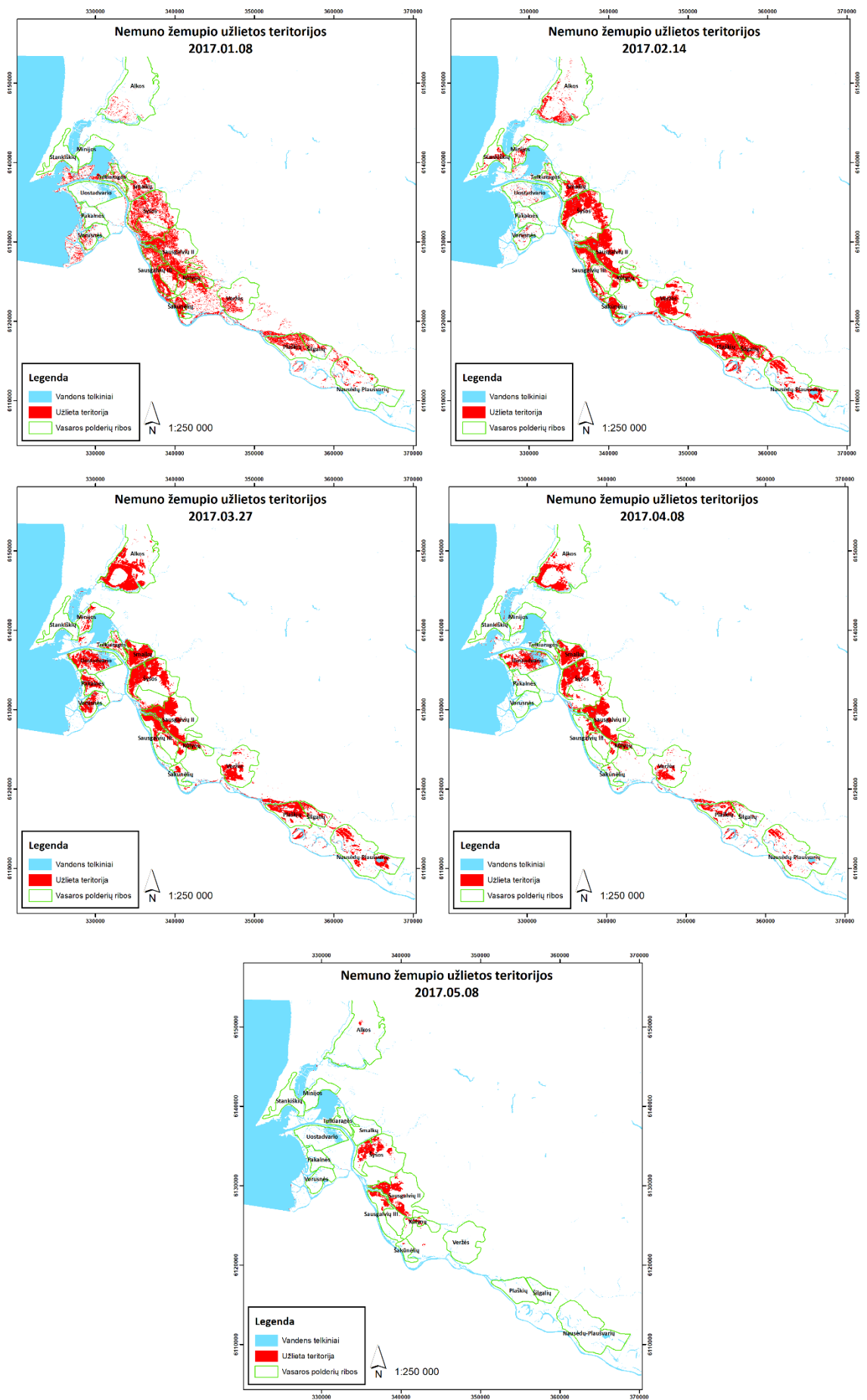
Praėjus 20 dienų, lapkričio 29 dieną (23 pav.), dėl gausių kritulių fiksuojamas daugiau nei dvigubai – 4821,21 ha didesnė užliejama teritorija. Didžiausi užliejami plotai fiksuojami Alkos, Šyšos, Sausgalvių, Kūlynų ir Plaškių polderiuose. Taip pat gana dideli užliejami plotai ir Smalkų, Veržės, Nausėdų-Plaušvarių polderiuose, Žalgirių, Kūlynų ir Beržtų miškingose teritorijose.

Praėjus dviem savaitėm, gruodžio 12 dieną (23 pav.) fiksuojama sniego danga ir ledo danga. Dėl to fiksuojama mažesnė, 2815,65 ha užliejama teritorija. Atvirai matomi užliejimų plotai gausūs Alkos, Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Kūlynų, Plaškių ir Veržės vasaros polderiuose. Dėl sniego dangos nebeaptinkami užliejimai miškingose teritorijose.

2017 metų sausio 6 dieną (23 pav.), patirpus sniegui, fiksuojamas ženklus - 8442,63 ha teritorijos, užliejimų padidėjimas. Itin didelis užlietas plotas fiksuojamas besitesintis nuo Tulkiaragės polderio, link Smalkų, Šyšos, Sausgalvių ir Kūlynų polderių. Gausiai užlieti ir Alkos, Veržės, Plaškių, Šilgalių bei Nausėdų-Plaušvarių polderiai. Dideliu drėgnumu pasižymi ir Nemuno deltos priekrantė, bei miškingos teritorijos.



23 pav. Nemuno žemupio 2017 m. sezono užlietos teritorijos lapkričio-sausio mėnesiais



24 pav. Nemuno žemupio 2017 m. sezono užlietos teritorijos sausio-gegužės mėnesiais

Praėjus vos 2 dienoms, sausio 8 dieną (24 pav.) fiksuojamas vandens telkinių užsalimas ir padidėjęs sniego dangos plotas. Dėl to užlietos teritorijos plotas sumažėjo iki 6132,7 ha. Gausus užlietas plotas matosi Smalkų, Sausgalvių II ir III polderiuose, Kūlynų, Šakūnėlių, Veržės, Plaškių ir Šilgalių vasaros polderiuose bei miškingose teritorijose. Nors Alkos polderyje bei Nemuno deltos priekrantėje užliejimas dėl sniego dangos, lyginant su sausio 6 diena, atrodo sumažėjęs, tačiau atviri gausiai užlieti plotai matyti Sausgalvių III ir Šakūnėlių polderiuose.

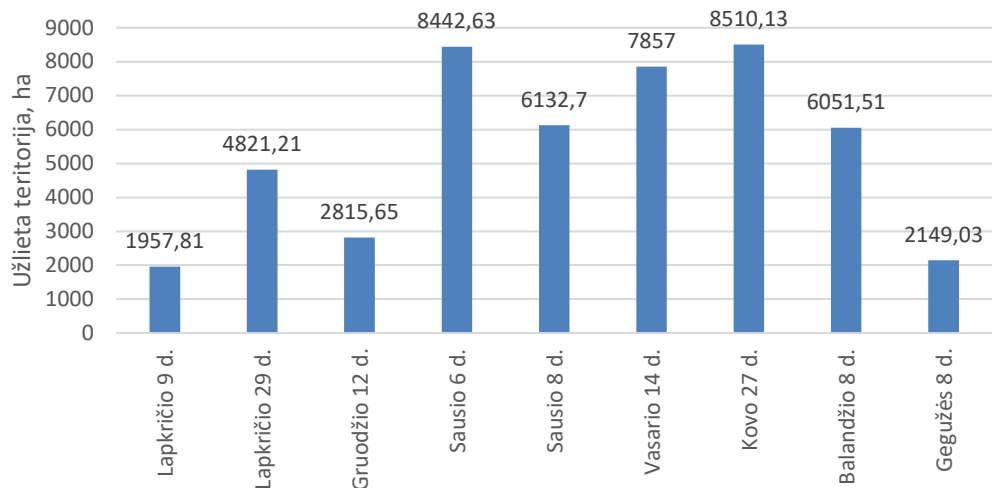
Praėjus kiek daugiau nei mėnesiui, vasario 14 dieną (24 pav.) vyrauja gausiai ledu ir sniegu padengti plotai. Nepaisant to, fiksuojama 7857 ha atvirai matomo užlieto ploto. Praktiškai visą polderio plotą vanduo užima Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Kūlynų, Šakūnėlių, Veržės, Plaškių bei Šilgalių polderiuose. Tad pusė vasaros polderių yra beveik pilnai užpildyti vandens. Kiek mažiau užlieto ploto Alkos, Nausėdų-Plaušvarių, Minijos ir Stankiškių polderiuose. Menki užliejimai fiksuojami deltos saloje dėl sniego dangos.

Praėjus 6 savaitėms, kovo 27 dieną (24 pav.) fiksuojamas 8510,13 ha užlietas plotas. Vyksta intensyvus sniego dangos tirpimas. Itin gausiai užlieti Nemuno deltos salos Uostadvario, Pakalnės ir Vorusnės polderiai. Taip pat vientisa užlieta teritorija driekiasi per Smalkų, Šyšos Sausgalvių ir Kūlynų polderius. Gana gausus plotas fiksuojamas ir Veržės, Plaškių, Šilgalių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiuose.

Praėjus dviem savaitėm, balandžio 8 dieną (24 pav.) fiksuojamas mažesnis užliejamos teritorijos kiekis – 6051,51 ha. Išlieka gausiai užlieti Smalkų, Šyšos, Sausgalvių II, Veržės, Plaškių ir Uostadvario polderiai. Kiek apmažėjęs užliejimas Alkos, Šilgalių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiuose. Užliejimai beveik nebeaptinkami Minijos, Pakalnės, Vorusnės, Tulkiaragės ir Šakūnėlių polderiuose.

Praėjus mėnesiui, gegužės 8 dieną (24 pav.) užliejimai jau gerokai sumažėję, lieka 2149,03 ha užlietos teritorijos. Pagrindė išsiliejęs vanduo išlikęs 4 polderiuose – Šyšos, Sausgalvių II ir III bei Kūlynų vasaros polderiuose. Alkos polderyje mažas užliejimo plotas fiksuojamas Sakučių miško teritorijoje. Gegužės 21 dienos Landsat-8 nuotraukoje užliejimų teritorijų nebematyti.

Apibendrinant 2017 metų užliejamų plotų kaitą (25 pav.), lapkričio 9 dieną dėl gausių kritulių fiksuojamas pavienių plotų užliejimas. Lapkričio 29 dieną, dėl besitęsiančių gausių kritulių užliejimų plotas didėja. Gruodžio 12 dieną dėl sniego ir ledo dangos atvirų išsiliejusių vandens plotų nustatoma mažiau. Sausio 6 dieną fiksuojamas sniego tirpimas, kuris padidina matomos užlietos teritorijos dydį. Tačiau sausio 8 dieną, vėl padidėjus sniego ir ledo dangai, užliejamos teritorijos plotas aptinkamas mažiau. Vasario 14 dieną vis dar fiksuojamas sniego ir ledo dangos būseną, tačiau matomos užlietos teritorijos kiekis padidėja. Kovo 27 dieną užlietas plotas didėja dėl sniego dangos tirpimo. Balandžio 8 dieną fiksuojamas užlieto ploto mažėjimas. Po mėnesio, gegužės 8 dieną plotas sumažėja tris kartus, o po dviejų savaitų, gegužės 21 dieną, užliejimų nebeaptinkama.



25 pav. Nemuno žemupio 2016-2017 m. užliejamų plotų kaita

2018 metų sezono analizuojami 14 užliejimų. Pirmasis užliejimas fiksuojamas 2017 metų rugsėjo 26 dieną (26 pav.). Dėl gausių kritulių susidarė 1036,64 ha užlieta teritorija. Užliejimai daugiausiai vyrauja Sausgalvių, Veržės ir Plaškių polderiuose. Kiek mažiau Alkos, Kūlynų ir Šakūnėlių vasaros polderiuose.

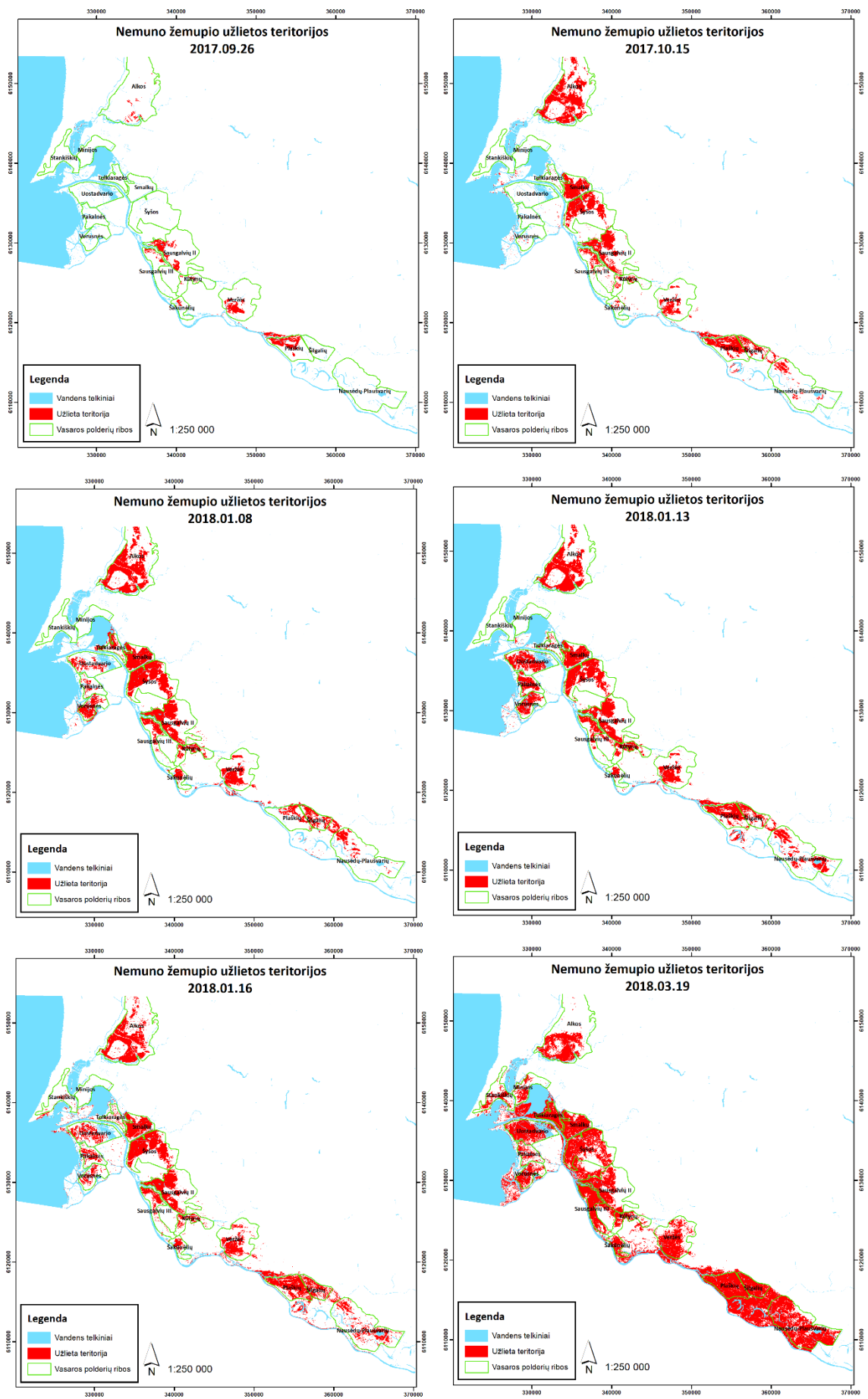
Spalio 15 dieną (26 pav.) dėl besitęsiančių gausių kritulių susidarė 5440,25 ha užlieta teritorija. Itin gausiai patvinę Alkos, Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Veržės, Paškių bei Šilgalių vasaros polderiai. Kiek mažiau patvinę Kūlynų, Šakūnėlių bei Nausėdų-Plaušvarių polderiai.

Praėjus beveik 2 mėnesiams, 2018 metų sausio 8 dieną (26 pav.) fiksuojamas 7731,54 ha užlietos teritorijos plotas. Itin gausiai užlieti plotai Alkos, Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Veržės, Šilgalių, Nemuno deltos salos polderiuose. Kiek mažiau patvinę – Tulkiaragės, Kūlynų, Šakūnėlių, Plaškių ir Nausėdų-Plaušvarių polderiai.

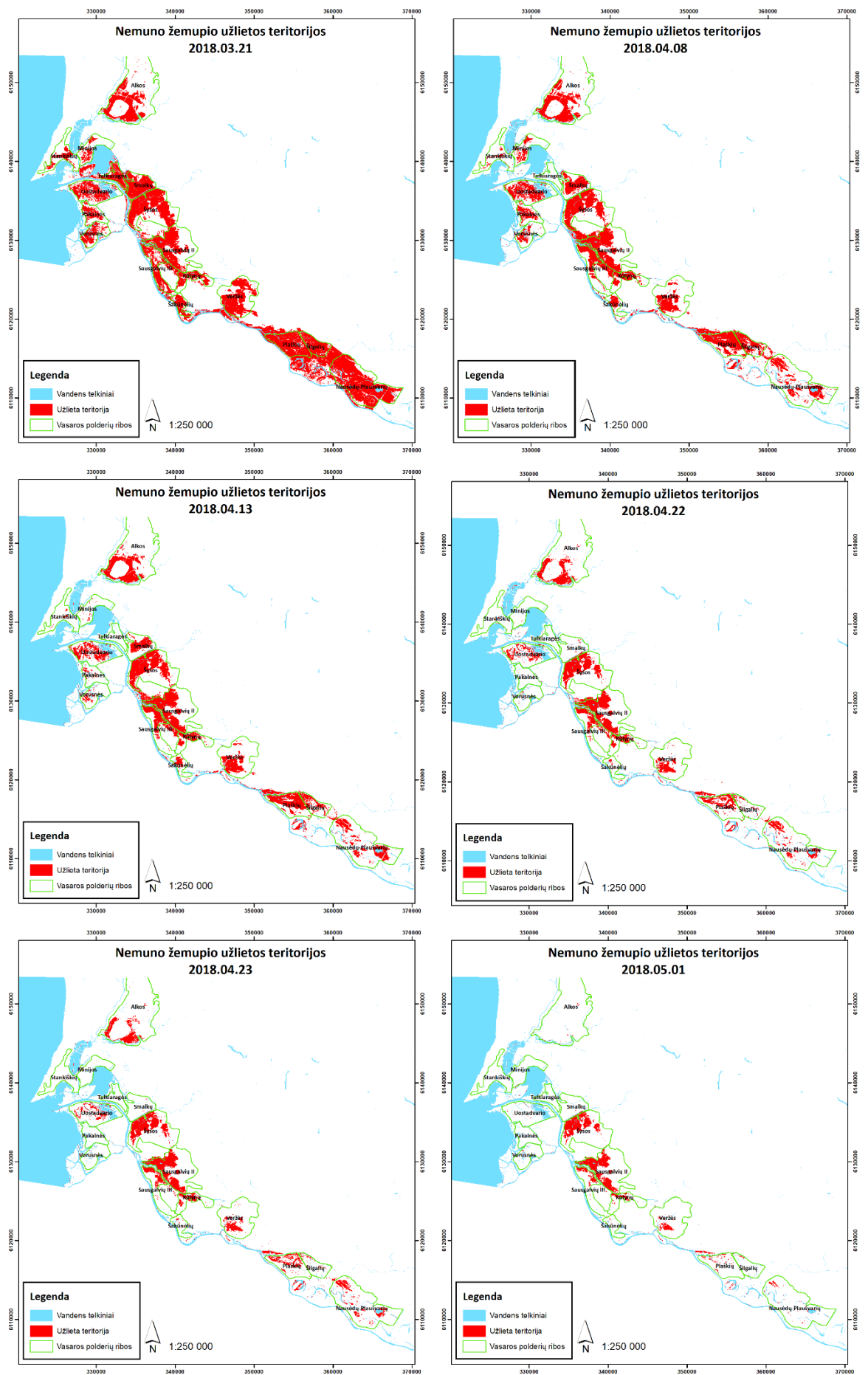
Po 5 dienų, sausio 13 dieną (26 pav.) fiksuojamas padidėjęs užliejamas plotas – 8886,98 ha. Padaugėja sniego dangos ploto. Didelis užliejamas plotas išlieka Alkos, Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Kūlynų, Veržės, Šilgalių ir Vorusnės polderiuose. Padidėjęs – Uostadvario, Pakalnės, Plaškių bei Nausėdų-Plaušvarių polderiuose. Drastiškai sumažėjo Tulkiaragės polderio užliejimas.

Po 3 dienų, sausio 16 dieną (26 pav.) fiksuojamas kiek pamažėjęs užliejamas plotas – 8596,71 ha. Tai įvyko dėl ledo dangos atsiradimo ir sniego dangos padengimo. Lyginant su sausio 13 dienos situacija, pastebimas sumažėjęs užliejimas Nemuno deltos salos polderiuose. Nežymūs pakitimai kituose polderiuose, atsiranda patvinsios teritorijos palei Krokų Lankos ežerą.

Po beveik dviejų mėnesių, kovo 19 dieną (26 pav.) fiksuojamas itin didelis užlietas plotas – 17772,84 ha. Užlieti plotai padengti skaidriu ledu. Gausiai patvinę: Alkos polderis, teritorija nuo Tulkiaragės iki Šakūnėlių polderio, Veržės polderis, teritorija nuo Plaškių iki Nausėdų-Plaušvarių polderio, Nemuno deltos, Minijos ir Stankiškių polderiai bei Krokų Lankos ežero priekrantė.



26 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos rugsėjo-kovo mėnesiais



27 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos kovo-gegužės mėnesiais

Praėjus dviem dienom, kovo 21 dieną (27 pav.) fiksuojamas kiek mažesnis – 15883,74 ha užlietas plotas. Tai nutiko dėl padidėjusios sniego dangos. Lyginant su kovo 19 dienos situacija, polderių ploto užliejimas mažai keitėsi. Pagrindė, dėl sniego dangos užmaskuotos užlietos teritorijos palei Nemuno deltos priekrantę ir miškingose teritorijose.

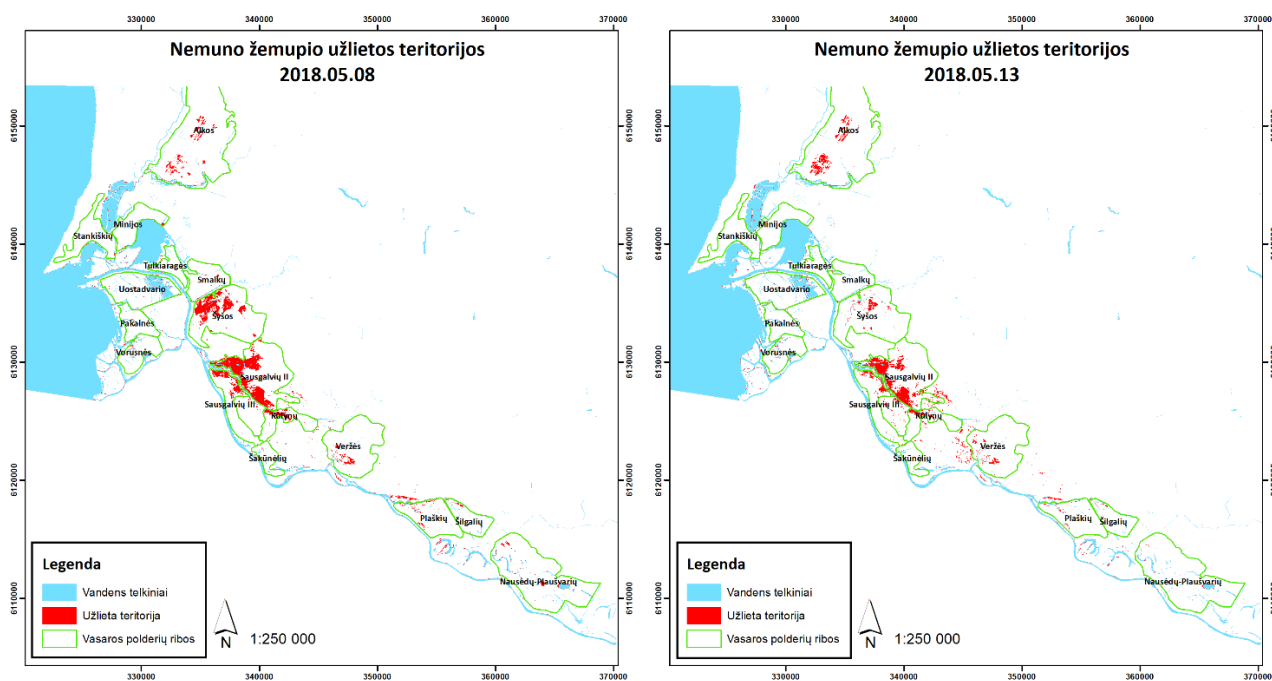
Po kelių savaitių, balandžio 8 dieną (27 pav.) užlietos teritorijos kiekis siekia 9932,4 ha. Vis dar gausiai užlieti Alkos, Smalkų, Šyšos, Sausgalvių, Plaškių, Šilgalių, Minijos ir Nemuno deltos salos polderiai. Užliejimų sumažėjo Stankiškių, Šakūnėlių, Nausėdų-Plaušvarių polderiuose, o Tulkiaragės polderyje užliejimai nebeaptinkami.

Po 5 dienų, balandžio 13 dieną (27 pav.) užlietos teritorijos plotas mažėja – 7668,73 ha. Užliejamo ploto dydis mažėja visuose vasaros polderiuose, tačiau daugiausiai sumažėjo – Stankiškių, Minijos, Pakalnės ir Vorusnės polderiuose.

Po kiek daugiau nei savaitės, balandžio 22 dieną (27 pav.) užlietas plotas vis mažėja – 5173,74 ha. Beveik visiškai užliejimas dingo Minijos, Pakalnės, Vorusnės, Smalkų, Šakūnėlių ir Šilgalių polderiuose. Likusiuose užlietuose vasaros polderiuose vandens plotai ženkliai mažėja.

Po dienos, balandžio 23 dieną (27 pav.) užlietos teritorijos dydis mažėjo, liko 4272,03 ha užlietos teritorijos. Užtvindytos teritorijos mažėjo visuose polderiuose.

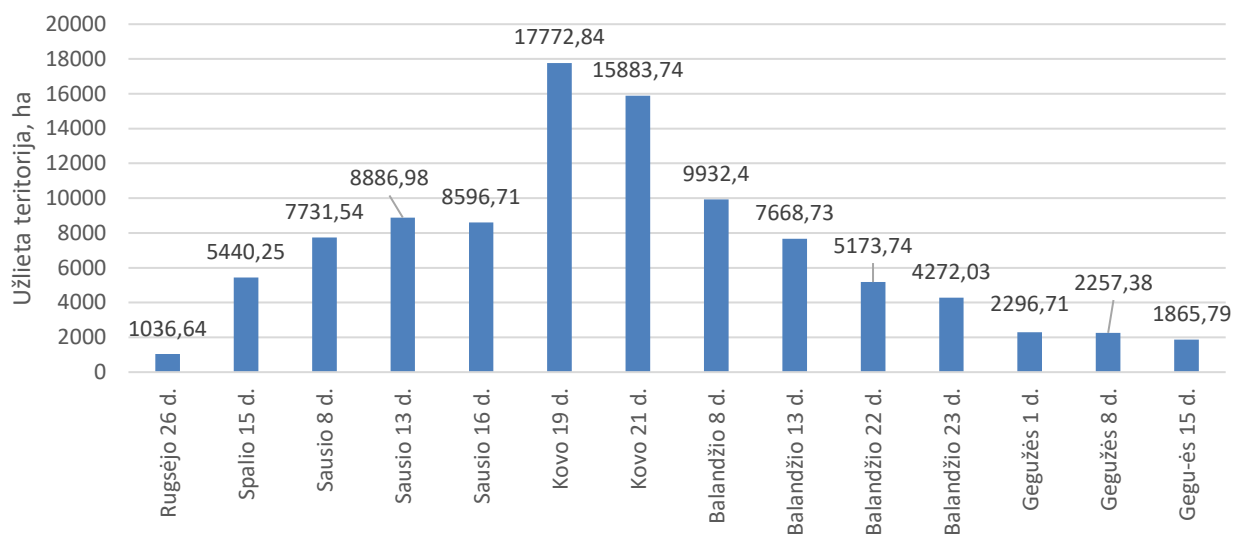
Praėjus daugiau nei savaitei, gegužės 1 dieną (27 pav.) užlietos teritorijos plotas liko 2296,71 ha. Gausiausiai užlieti išliko Šyšos ir Sausgalvių polderiai. Kiek mažiau – Kūlynų, Veržės ir Plaškių.



28 pav. Nemuno žemupio 2018 m. sezono užlietos teritorijos gegužės 8 ir 13 dieną

Po savaitės, gegužės 8 dieną (28 pav.), dėl kritulių, užlietas plotas laikosi mažai pakitęs – 2257,38 ha. Sumažėjo Šyšos, Plaškių ir Veržės polderių užliejimas, tačiau padidėjo Alkos vasaros polderyje, kadangi miške susikaupė drėgmė.

Gegužės 15 dieną (28 pav.), užlietos teritorijos kiekis siekia 1865,79 ha. Gausiausiai užlietas išlieka Sausgalvių II polderis. Drėgmė susikaupusi Sakučių ir Bundalų miškuose, kurie auga Alkos polderyje. Iš Gegužės 20 dienos Sentinel-2 nuotraukos užliejimų nebeaptinkama.



29 pav. Nemuno žemupio 2017-2018 m. užliejamų plotų kaita

Apibendrinant 2018 metų užliejamų plotų kaitą (29 pav.), užliejimo sezonas pradedamas fiksuoti nuo 2017 metų rugsėjo 26 dienos, kai vyrauja gausūs krituliai. Dėl kritulių iki sausio 13 dienos stebimas užliejamos teritorijos augimas, tuo tarpu sausio 16 dieną dėl ledo ir sniego dangos fiksuojamas mažesnis užliejamas plotas. Kovo 19 dieną fiksuojamas didžiausias užliejimas analizuotu laikotarpiu, kuris kovo 21 dieną sumažėja dėl sniego dangos padidėjimo. Nuo balandžio 8 dienos stebimas užliejamo ploto nuoseklus mažėjimas, kuris pristabdomas gegužės 1-15 dienomis dėl kritulių kiekio gausos. Galiausiai gegužės 20 dieną nebeaptinkama užlietų plotų.

IV. TYRIMO REZULTATŲ APITARIMAS

4.1. Palydovų nuotraukų pritaikomumo aptarimas

Tyrimas parodė, jog penktadalis Landsat-8 ir penktadalis Sentinel-2 palydovų nuotraukų yra nepadengtos debesimis ir rūku, tad yra tinkamos atlikti Nemuno žemupio teritorijos kartografavimui. Užliejimams kartografuoti iš debesimis ir rūko nepadengtų nuotraukų Landsat-8 palydovo tinkamos pusė, Sentinel-2 - apie trečdalis nuotraukų. Kaip teigiama Gudritienės ir Aleknavičiaus (2007) darbe, daugiausia giedrų dienų Lietuvoje būna gegužę (tikimybė tesiekia 17 proc.). Tačiau tiek Landsat-8, tiek Sentinel-2 palydovais užfiksuotų giedrų nuotraukų procentas siekia atitinkamai 21,21 ir 20,1 procentų, tad viršijama geriausia giedrumo tikimybė. Užliejimams kartografuoti iš visų nuotraukų kiekio panaudota 10,61 procentų Landsat-8 bei 7,54 procentai Sentinel-2 palydovų nuotraukų. Giedriausi 2018 ir 2017 metų sezonai kai užliejimų kaita gana aiškiai išžvelgiama. 2016 metų sezono užliejimai praktiškai neišžvelgiami dėl itin dažnų debesų ir rūko padengimo. Nepaisant 2018 ir 2017 metų sezonų nuotraukų gausos kai turima dienos ar savaitės tarpo nuotraukų, tačiau taip pat vyrauja nuo mėnesio iki kelių mėnesių tarpai tarp turimų nuotraukų. Tuo metu neišžvelgiami staigūs ir drastiški užliejamų plotų pokyčiai. Ir nors Sentinel-2 palydovai kartu tą pačią vietą nufotografuoja kas 5 dienų dažnumu, o Landsat-8 kas 8 (kartu su Landsat-7 palydovu), dėl dažno debesuotumo šiais optinių sensorių palydovais nufotografuotų nuotraukų nuosekliam užliejimų kartografavimui ne itin pakanka. Didelius laiko tarpus tarp turimų nuotraukų siūloma užpildyti pasitelkiant Sentinel-1 sintetinės apertūros radarus. Šie radarai nėra paveikiami debesimis (Carrasco et al., 2019), tad tikėtų itin dažnai apsinaukusiai tyrimo teritorijai. Taip pat kartu radarai tą pačią teritoriją nufotografuoja kas 6 dienas, viena palydovo platforma nufotografuoja kas 12 dienų (ESA, 2019). Tačiau SAR paveikia oro sąlygos (lietus, vėjas ir kt.) (Carrasco et al., 2019). Nepaisant to, Sentinel-1 radaru užfiksuotos nuotraukos užpildytų spragas tarp optiniais sensoriais užfiksuotų debesimis padengtų nuotraukų.

4.2. Klasifikavimo algoritmų tikslumo vertinimo aptarimas

Atikus klasifikavimo algoritmų tikslumo vertinimą, nustatyta, kad tiksliausiai klasifikacija atliekama spektrinio kampo ir ISODATA algoritmais. Šiais algoritmais 2 kartus iš 3 kapa koeficientas siekė aukšto tikslumo klasifikacijos reikšmę. Neprižiūrimojo klasifikavimo ISODATA algoritmas visais atvejais vandens telkinius nustatė šimtaprocentiniu tikslumu. Tačiau visi algoritmai itin netiksliai klasifikuoja dirbtinės dangos klasę, dažnai ją priskiriant žemdirbystės teritorijų klasei. Taip pat tarpusavyje maišomos pelkių ir durpynų, žemdirbystės teritorijų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasės. Tam įtakos turi rezoliucija siekianti 30 metrų, kadangi mažesni objektai tampa labiau išsilieję, jie neaptinkami kitų klasių apsuptyje. Tai ypač galioja urbanizuotoms vietoms, kur dėl

santykiškai mažo užstatymo tankumo prastai identifikuojamos žemėnaudos klasės, pvz. Šilutės miesto teritorija didžiąja dalimi priskiriama klaidingai klasei. Nors spektrinio kampo algoritmo rezultatai, lyginant klaidų matricos lenteles, tiksliausi, tačiau atlikus gautų žemėlapių vizualinę analizę ir palyginus su Corine Žemės dangos sluoksniu, ortofotonuotraukomis bei Lietuvos Respublikos georeferencinio pagrindo duomenų baze GDB10LT, galima teigti, kad tai nėra tiksliausias algoritmas. Kadangi kiekvienai klasei parinkta 30 referencinių taškų, dėl galimai nepakankamo referencinių taškų tankumo neidentifikuojama gausybė klaidingai klasifikuotų pikselių, tad klasifikavimo tikslumas klaidingai išauga. Nors teigiama, kad reikia apie 30-50 referencinių taškų klasifikavimo tikslumui įvertinti (Tadele et al., 2017; Tilahun, Islam, 2015), tačiau šiuo atveju vertėtų referencinių taškų kiekį padidinti žemdirbystės teritorijų klasei, kadangi ji užima didžiausią tyrimo plotą (Vaitkus, 2004).

Tad nors šiais klasifikavimo metodais užliejimų kartografavimui tikslumas pakankamas, tačiau norint atlikti tikslią žemėnaudos klasifikaciją rekomenduojama pasitelkti kitus metodus. Vienas iš tinkamų metodų - objektinis (arba į objektą orientuotas) vaizdo analizės klasifikavimas. Neprižiūrimasis ir prižiūrimasis klasifikavimas paremtas pikselio priskyrimu klasei, tuo tarpu objektiniame klasifikavime pikseliai sugrupuojami pasitelkiant formą ir objekto dydį vykdant segmentaciją skirtinguose masteliuose. Tačiau šiam metodui reikalingi papildomi vietovės skaitmeniniai Žemės paviršiaus (DTM) ir skaitmeniniai paviršiaus (DSM) modelių sluoksniai siekiant tikslumo (Castillejo-Gonzalez et al., 2019). Phiri ir Morghenroth (2017) darbe teigiama, kad daugelyje atveju objektinis klasifikavimas pasižymi didesniu tikslumu, tačiau pasitaiko atveju kai tikslumas, lyginant su prižiūrimuoju ir neprižiūrimuoju klasifikavimu, yra mažesnis. Nors objektinis klasifikavimas tinkamiausias taikyti geros rezoliucijos radarams, tačiau ir vidutinės rezoliucijos radarams (kaip Landsat-8 ir Sentinel-2) šis metodas yra tinkamas. Tačiau kliūtys kaip – per žema rezoliucija, segmentacijos mastelis ir metodikos sudėtingumas, turi įtakos rezultatų patikimumui ir tikslumui. Tad siūloma vykdyti hibridinį klasifikavimą, apjungiant prižiūrimojo ir neprižiūrimojo, bei objekcinio klasifikavimo tiksliausias metodikas.

4.3. Nemuno žemupio užliejimų kaitos aptarimas

Atlikus užliejimų kartografavimą nustatyta, kad pirmosios užlietos teritorijos dėl gausių kritulių matyti jau rugsėjo gale 2017 metais, lapkričio mėnesį 2015 ir 2016 metais. Užliejama iki 2 tūkst. ha ploto teritorijos. Iš 2014 ir 2015 metų sezono pirmųjų užliejimų nuotraukų aptinkamas vėlyvas užliejimas sausio-vasario mėnesiais, kai jau susiformavusi ledo ir sniego danga bei gausūs užliejimų plotai. Anksčiausiai matomas užliejimas, 2017 m. rugsėjo 26 dieną, iš dalies patvirtina Katučio (1999) teiginius, jog pirmiausia užliejami Šyšos, Sausgalvių, Kūlynų ir Veržės polderiai. Šiuo atveju, Šyšos polderyje užliejimų neaptinkama, tačiau gausiai užlietas Plaškių polderis. 2016 metų lapkričio 9 dienos atveju, Katučio (1999) teiginiai patvirtinami, tačiau užliejimų gausu ir kituose polderiuose,

tačiau didžiausi – Sausgalvių, Kūlynų, Veržės ir Alkos polderiuose. 2015 metų lapkričio 29 dienos atveju – gausiausiai užliejimai susitelkę Sausgalvių, Tulkiaragės, Alkos ir Šyšos polderiuose. Visais 3 atvejais, gausiausiai pradedamas užlieti Sausgalvių II polderis.

Didžiausi užliejimų pikai 2014-2015 ir 2017-2018 metų laikotarpiais fiksuoti sausio ir kovo mėnesio laikotarpiais siekę nuo 5,7 tūkst. iki 17,7 tūkst. hektarų. Tai iš dalies patvirtina Vaikaso ir Rimkaus (1997) teiginius, kad didžiausias vandens lygis būna kovo mėnesį. Tik iš 2018 metų sezono nuotraukų matyti, kad didžiausia užliejimų teritorija fiksuojama kovo viduryje, siekianti 17,7 tūkst. ha plotą, vykstant pavasario potvyniui. Likusių metų kaitos išvelgiamos prasčiau dėl ilgų laiko tarpų tarp nuotraukų.

2014-2015 ir 2017-2018 metais užliejimai pasibaigė gegužės mėnesiais. Paskutinėse užliejimų nuotraukose fiksuojamos apie 0,3 - 2 tūkst. ha užlietų plotų teritorijos. Gipiškio ir kt. (2007) teigimu, dažniausiai potvyniai pasibaigia pirmosiomis gegužės savaitėmis. Vėliausiai trukęs užliejimas – 2018 metų, kai tęsėsi net iki gegužės 20 dienos. Tirtais sezonais nustatyta, kad ilgiausiai užlieti lieka Sausgalvių II ir Šyšos polderiai. Taigi Sausgalvių II polderis pirmasis gausiai užliejamas, ir paskutinis išdžiūvantis vasaros polderis.

IŠVADOS

1. Nemuno žemupio ir Nemuno deltos užliejimų potvynių metu teritorijų kartografavimui gali būti taikomos Sentinel-2 ir Landsat-8 kosminių palydovo nuotraukos ir gali būti naudojamos integruotai. Apie penktadalis palydovų nuotraukų nepadengtos debesimis ir rūko reiškiniams. Užliejamoms teritorijoms kartografuoti Landsat-8 palydovo tinkamų nuotraukų sudaro apie 10,61 proc., o Sentinel-2 - apie 7,54 procentus. Kadangi tyrimo teritorija dažnai debesuota ir padengta rūku, tad optiniais sensoriais fiksuotos nuotraukos dažniausiai netinkamos kartografavimu, todėl laiko tarpams tarp nuotraukų užpildyti rekomenduojama pasitelkti Sentinel-1 sintetinės apertūros radarus, kuriems neturi įtakos debesuotumas.

2. Tiksliausiai Žemės dangos klasifikacija atliekama spektrinio kampo ir ISODATA algoritmais. Šiais algoritmais 2 kartus iš 3 klasifikacija pasižymėjo aukštu tikslumu. Neprižiūravimo klasifikavimo ISODATA algoritmas visais atvejais vandens telkinius nustatė šimtaprocentiniu tikslumu.

3. Spektrinio kampo algoritmo rezultatai, lyginant klaidų matricos lenteles, tiksliausi, tačiau palyginus gautus žemėlapius su Corine Žemės dangos sluoksniu, ortofotonuotraukomis bei Lietuvos Respublikos georeferencinio pagrindo duomenų baze GDB10LT, galima teigti, kad tai nėra tinkamiausias pritaikymui algoritmas. Dėl galimai nepakankamo referencinių taškų tankumo neidentifikuojama gausybė klaidingai klasifikuotų pikselių, tad klasifikavimo tikslumas klaidingai išauga.

4. Rekomenduojama padidinti referencinių taškų kiekį, ypač žemdirbystės teritorijų klasei. Norint padidinti žemėnaudos klasifikavimo tikslumą, siūloma vykdyti hibridinį klasifikavimą, apjungiant prižiūravimo ir neprižiūravimo, bei prijungiant naują, objektinio klasifikavimo, metodiką. Visi algoritmai itin netiksliai klasifikuoja dirbtinės dangos klase. Taip pat tarpusavyje maišomos pelkių ir durpynų, žemdirbystės teritorijų bei miškų ir kitų gamtinių teritorijų klasės.

5. Pritaikant pirmo lygio palydovinius duomenis ir kartografavimo metodus nustatyti užliejami plotai kito Nemuno žemupyje 2014-2018 metų laikotarpiu nežymiai. Daugiausiai skyrėsi užliejimo laikotarpiai. Didžiausi potvyniai ir užliejimų teritorijų pikai 2014-2015 ir 2017-2018 metų laikotarpiais fiksuoti sausio ir kovo mėnesio laikotarpiais siekę nuo 5,7 tūkst. iki 17,7 tūkst. hektarų. Ilgiausiai potvynis buvo užliejęs didesnius Nemuno žemupio ir deltos regiono plotus 2018 metais ir tęsėsi iki gegužės 20 dienos išlaikydamas apie 2 tūkst. hektarų užlietą teritoriją.

6. Šaltuoju metų laiku tiriamos teritorijos buvo užliejamos ne tik dėl ledo tirpsmo, bet ir gausesnių kritulių. Užlietos iki 2 tūkst. ha ploto teritorijos dėl gausių kritulių ir susiformavusio poplūdžio nustatytos lapkričio mėnesį 2015 ir 2016 metais, taip pat rugsėjo gale 2017 metais.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. 2016. Identification of Water Bodies in a Landsat-8 OLI Image Using a J48 Decision Tree.
2. Adrian R. 2017. Flood hazard monitoring using gis and remote sensing observations
3. Al-Ahmadi F. S., Hames A. S. 2007. Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia
4. Al-doski J., Mansor S. B., Shafri H. Z. M. 2013. Image Classification in Remote Sensing.
5. Alp G., Algan I. Y., Sertel E. 2015. Determination of agricultural land changes in Mugla, Turkey using remotely sensed data and Corine methodology.
6. Aplinkos apsaugos agentūra. 2011. Preliminarus potvynių rizikos vertinimas Nemuno, Ventos, Lielupio ir Dauguvos upių baseinų rajonuose. Galutinė ataskaita. Vilnius.
7. Aplinkos apsaugos agentūra. 2018. Potvynių direktyvos įgyvendinimas. Prieiga per internetą: <http://vanduo.gamta.lt/cms/index?rubricId=6d87deab-3ecc-412a-9b66-7fd6361f26ba> [Žiūrėta 2018.05.10].
8. Aplinkos ministerija. 2012. Preliminarus potvynių rizikos vertinimo ataskaita. Vilnius.
9. Arora, M. K., Foody, G. M. 1997. Log-linear modelling for the evaluation of variables affecting the accuracy of probabilistic, fuzzy and neural network classifications.
10. Arora, M. K., Tiwari, K. C., Mohanty, B. 2000. Effect of neural network variables on image classification.
11. Baltrėnas P., Butkus D., Oškinis V. ir kt. 2008. Aplinkos apsauga. Vilnius.
12. Barisas A. 1977. Kai siautėja mūsų upės. Katastrofos upių pakrantėse. Vilnius.
13. Carrasco L. et al. 2019. Evaluating Combinations of Temporally Aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for Land Cover Mapping with Google Earth Engine.
14. Castillejo-Gonzalez I.L. et al. 2019. Combining Object-Based Image Analysis with Topographic Data for Landform Mapping: A Case Study in the Semi-Arid Chaco Ecosystem, Argentina
15. Cicala L. et al. 2016. Estimated post-flood effects through Sentinel and Landsat data to support civil protection.
16. Congedo L. 2017. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Release 5.3.6.1.
17. Damulevičius V., Vyčius J. 2008. Hidrotechnikos statiniai. Žemių užtvankos ir perteklinio vandens pralaidos. Kaunas.

18. DeFries, R. S., Townshend, J. R. G. 1994. Global land cover: comparison of ground-based data sets to classification with AVHRR data. In *Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales*.
19. Dronova, I., Gong, P., Wang, L. 2011. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China. *Kinija*.
20. Dumbrasuskas A. 2003. Klaipėdos ir Tauragės apskričių užliejamų teritorijų skirstymo pagal užliejimo tikimybę schemos parengimo, specialiųjų ūkinės veiklos potvynio metu užliejamose teritorijose sąlygų nustatymo bei teisės aktų projektų parengimo. *Kaunas*.
21. Dumbrasuskas A. 2010. Nemuno deltos polderių užliejimo ir gruntinio vandens lygio įtakos polderių dirvožemio dangai įvertinimas. *Kaunas*.
22. Dumbrasuskas A., Povilaitis A., Punys P. 2008. Hidroprocesų skaitmeninis modeliavimas. *Kaunas*.
23. Europos kosmoso agentūra (ESA). 2018. Sentinel-2 technical guides. Prieiga per internetą: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi> [Žiūrėta 2018.12.15].
24. Europos kosmoso agentūra (ESA). 2018. Sentinel-2 user guides. Prieiga per internetą: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> [Žiūrėta 2018.12.15].
25. Europos kosmoso agentūra (ESA). 2019. SENTINEL-1 SAR User Guide Introduction. Prieiga per internetą: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar;jsessionid=795F60C1FAF5655B85C85B49345FB09B.jvm2> [Žiūrėta 2019.04.10].
26. Fayne J. et al. 2017. Optical and Physical Methods for Mapping Flooding with Satellite Imagery.
27. Gipiškis V. ir kt. 2007. Nemuno žemupio salpos dirvožemių hidrologinės, fizikinės, cheminės ir biologinės savybės bei sąsajos tarp jų.
28. Gudritienė D., Aleknavičius, A. 2007. Skaitmeninė fotogrametrija. Lietuvos žemės ūkio universitetas.
29. Horton B. P., Rahmstorf S., Engelhart S. E. et al.. 2013. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*.
30. Iglseeder H., Arensfischer W., Wolfensberger W. 1995. *Small Satellite Constellations for Disaster Detection and Monitoring*.
31. Jablonskis J. 1994. Nemuno nuotėkis per 180 metų. *Energetika*, Nr.4.
32. Jungtinių Amerikos Valstijų Geologijos tarnyba (USGS). 2016. *LANDSAT-8 (L8) Data users handbook*. JAV.
33. Jungtinių Amerikos Valstijų Geologijos tarnybos (USGS) Landsat-8 misijos puslapis. Prieiga per internetą: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8> [Žiūrėta 2017.05.10].

34. Juškauskas J. 1999. Nemuno žemaslėnio polderių būklė ir kai kurios eksploatavimo problemos.
35. Katutis K. 1999. Žemės dirbimo ir tręšimo įtaka dirvožemio ypatybėms užliejamuose vasaros polderiuose Nemuno žemupyje.
36. Khan I.S. et al.. 2011. Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins.
37. Kordelas G. A. et al. 2018. Fast and Automatic Data-Driven Thresholding for Inundation Mapping with Sentinel-2 Data.
38. Kruse F. A. et al. 1993. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer. Data Remote Sensing of Environment
39. Kuldeep K. 2015. The role of satellite derived data for flood inundation mapping using GIS.
40. Kundzewicz Z.W., Schellnhuber H. J. 2004. Floods in the IPCC TAR perspective. Natural Hazards.
41. Levermann A., Clark P., Marzeion B., et al. 2013. The multimillennial sea-level commitment of global warming.
42. Mohammady M., Moradi H.R., Zeinivand H. Et al. 2013. Validating gap-filling of Landsat ETM+ satellite images in the Golestan Province, Iran. Iranas.
43. Mozgeris A., Dumbrasukas A. 2008. Geoinformacinių sistemų pagrindai. Kaunas.
44. Mussio L., Forlani G., Crossila F. 1996. Data Acquisition and Analysis for Multimedia GIS.
45. National Research Council. 2013. Landsat and Beyond: Sustaining and Enhancing the Nation's Land Imaging Program. JAV.
46. Olthof I. 2017. Mapping Seasonal Inundation Frequency (1985–2016) along the St John River, New Brunswick, Canada using the Landsat Archive.
47. Pacifici F., Chini M., Emery W.J. 2009. A neural network approach using multi-scale textural metrics from very high-resolution panchromatic imagery for urban land-use classification.
48. Phiri D., Morgenroth J. 2017. Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review
49. Poška A., Punys P. 1996. Inžinerinė hidrologija. Kaunas.
50. Rainys A. 1973. Kai kurie Nemuno deltos užliejimo pavasarinių potvynių metų aspektai, Hidrometeorologiniai straipsniai.
51. Richards J. A., Jia X. 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin, Germany: Springer.

52. Rimba A. B., Miura F. 2017. Evaluating the Extraction Approaches of Flood Extended Area by Using ALOS-2/PALSAR-2 Images as a Rapid Response to Flood Disaster
53. Schumann et al. 2018. Global Flood Hazard Mapping, Modeling, and Forecasting: Challenges and Perspectives.
54. Tadele H. et al.. 2017. Land Use/Land Cover Factor Values and Accuracy Assessment Using a GIS and Remote Sensing in the Case of the Quashay Watershed in Northwestern Ethiopia
55. Tilahun A., Islam Z. 2015. Google Earth for Land Use Land Cover Change Detection in the Case of Gish Abbay Sekela, West Gojjam, Amhara State, Ethiopia.
56. Topaloglu R. H et al.. 2016. Assessment of classification accuracies of sentinel-2 and landsat-8 data for land cover / use mapping
57. Uddin, K., Gurung, D.R., Giriraj, A., Shrestha, B. 2013. Application of remote sensing and gis for flood hazard management: A case study from Sindh Province, Pakistan.
58. Vaikasas S., Rimkus A. 1997. Potvynio vandens lygių dinamikos Nemuno deltoje tyrimai.
59. Vaitkus G. 2004. Lietuvos Corine Žemės danga-2000. Baigiamoji ataskaita.
60. Ward D. et al. 2013. Assessing flood risk at the global scale: Model setup, results, and sensitivity.
61. Weber, L. J. 2009. Land Cover Classification for Land Cover Accounting.
62. Wuldur M. A. et al.. 2008. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. Remote Sensing of Environment.
63. Zhang T. et al. 2019. Potential bands of sentinel-2A satellite for classification problems in precision agriculture.
64. Zhu Z., Woodcock C.E. 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. Remote sensing of Environment.