

Vilniaus universitetas, Gamtos tyrimų centras, Dzūkijos Nacionalinis parkas ir
Čepkelių gamtinis rezervatas

NUOTOLINIŲ METODŲ TAIKYMAS AUKŠTAPELKIŲ KRAŠTOVAIZDŽIO KAITOS TYRIMUOSE

Rasa Šimanauskienė^{1,2}, Rita Linkevičienė²,

Gintautas Kibirkštis², Onutė Grigaitė³, Julius Taminskas²

1 – VU CHGF Geomokslų institutas, Čiurlionio 21/27, Vilnius

2 – Gamtos tyrimų centras, Akademijos str. 2, Vilnius

3 – Dzūkijos nacionalinio parko ir Čepkelių gamtinio rezervato direkcija, Vilniaus str. 3,
Merkinė

Vilnius, 2022

Nuotoliniai tyrimai (remote sensing) – tai terminas, vartojamas įvardijant metodą rinkti informacijai apie Žemės paviršių be sąlyčio su juo. Atliekant nuotolinius tyrimus atspindėta arba skleidžiama elektromagnetinė energija jautikliu yra registruojama vaizdų/nuotraukų pavidalu.



Galimybės:

- teritorijos apžvalga;
- multispektrinė informacija;
- daugiamečiai tyrimai.



Nuotoliniai tyrimai ir aukštapelkės



Aukštapelkė yra dviejų glaudžiai susijusių ir darančių vienas kitam įtaką, elementų – **vandens ir augalijos** – visuma.

Pušys prisitaiko prie:

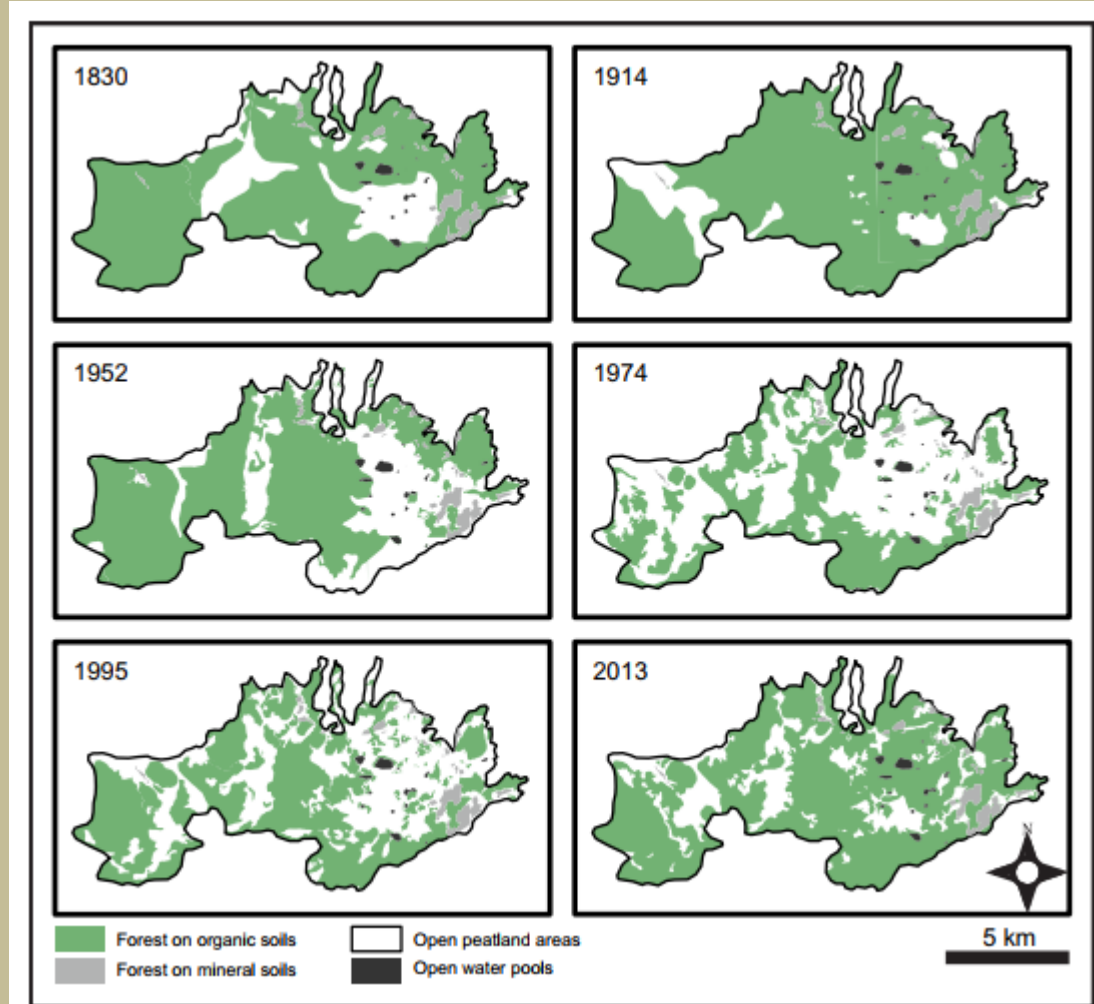
- Nuolat kintančio gruntinio vandens lygio;
- Mažo mineralinių medžiagų ir deguonies kiekio;
- Temperatūros svyravimų šaknų zonoje.
- Šaknys – iki 20-30 cm gylio.



Medinės augalijos kaita Čepkelių aukštapelkėje

Čepkelių valstybiniame gamtiniame rezervate (Stončius ir kt., 2004):

- 1988 m. – inventorizuota 400 ha naujų miškų;
- 2002 m. – dar 1600 ha, o mišku neapaugusių plotų - išliko tik 43% aukštapelkės ploto.



Medinės augalijos kaita Čepkelių aukštapelkėje, remiantis senaisiais žemėlapiais (1830 (scale 1:126,000), 1914 (scale 1:21,000) ir ortofotonuotraukomis 1952, 1974, 1995, 2013, scale 1:10,000)



Augalijos sukcesija, ypač medinės augalijos ekspansija arba mažėjimas yra vieni iš aiškiausių ilgalaikių kraštovaizdžio pokyčių aukštapelkių ekosistemose. Dėl klimato kaitos, durpių kasybos, sausavimo darbų yra **stebimas atvirų aukštapelkių kraštovaizdžio virsmas į miškingą kraštovaizdį.**



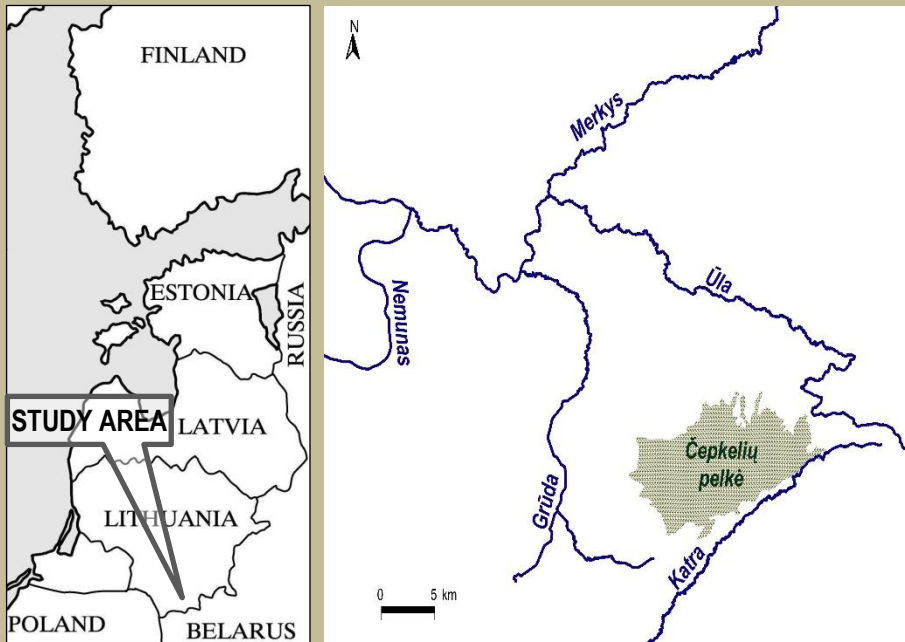
TYRIMO IDĖJA

Pagrindinė tyrimo idėja buvo įvertinti augalijos būklę ir augaluose esančios drėgmės kiekį 3-uose aukštapelkės buveinių tipuose bei išanalizuoti vandens gylio ir augalijos indeksų ryšius.

Pagrindiniai tyrimo uždaviniai:

- (1) Įvertinti vertikalią aukštapelkių struktūrą bei išskirti aukštapelkių buveinių tipus remiantis medine augalija;
- (2) Įvertinti aukštapelkių buveinių tipus, remiantis NDVI ir NDWI spektriniais indeksais;
- (3) Įvertinti ryšius tarp augalijos, požeminio vandens ir spektrinių indeksų.

TYRIMO VIETA

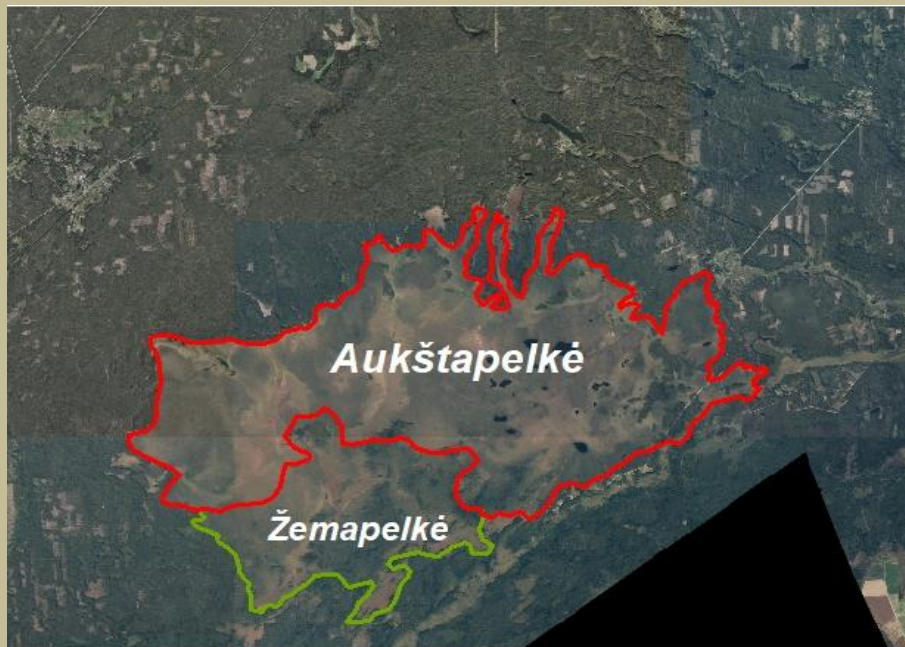


Čepkeliai ($54^{\circ}00'N$, $24^{\circ}30'E$) yra didžiausia Lietuvos pelkė (5858 ha), susidaranti iš

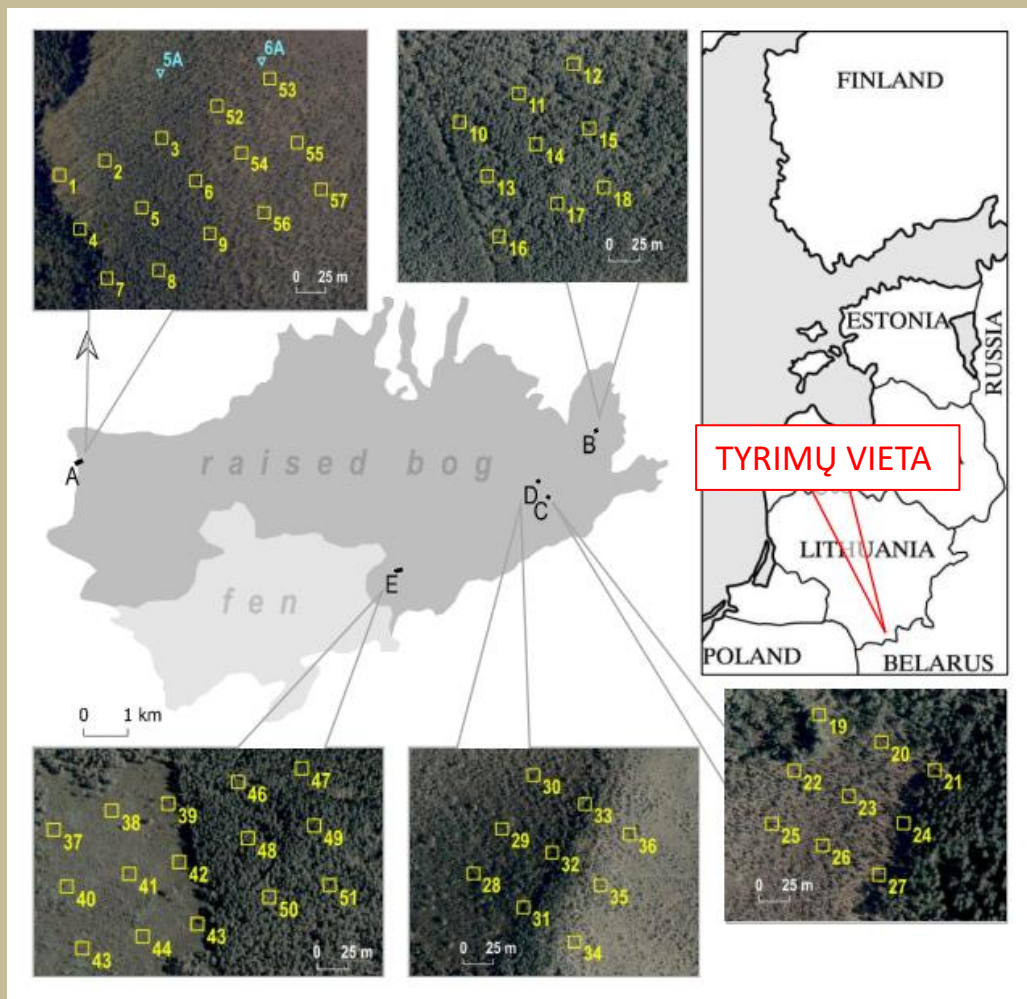
- aukštapelkės (82%),
- žemapelkės (16%)
- tarpinio tipo pelkės (2%).

Čepkeliuose priskaičiuojama keletas mineralinio substrato salų ir 21 mažas pelkinis ežeriukas.

Vidutinis organinių sluoksnių gylis yra apie 2.3 m, bet kai kur gali siekti iki 16.5 m.



DUOMENYS



SNAP, ArcMap

Palydoviniai duomenys:

Norint įvertinti augalijos būklę ir vandens kiekį augalijoje buvo:

- Skaičiuojami NDVI and NDWI indeksai kiekviename tyrimų kvadrate (10 × 10 m);
- SENTINEL 2 duomenys;
- 2015 – 2020 vegetacijos sezonai.
- ilgalaikiai NDVI pokyčių trendai įvertinami iš Terra MODIS palydovo duomenų (2000-2020)

Lauko tyrimai:

Norint įvertinti vandens gylį buvo:

- Pasirinktos 5 tyrimų vietos (A, B, C, D, E)
- Įrengti 57 vandens gylio matavimo gręžiniai;
- 2019-2020 vegetacijos sezonai.

Lauko tyrimai:

Norint išskirti aukštapelkės buveinių tipus:

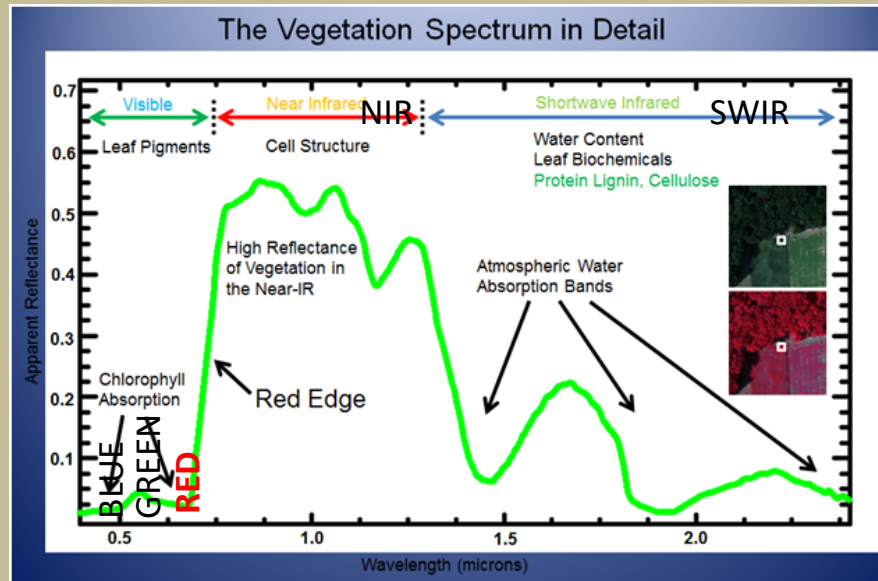
Atliktas in situ augalijos įvertinimas, tyrimų kvadratai (10 × 10 m) buvo išskirti aplink kiekvieną vandens gylio matavimo gręžinį.

Normalizuoto skirtumo augalijos indeksas

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED).$$

Normalizuoto skirtumo vandens indeksas

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR).$$



Šaltinis: <https://www.13harrisgeospatial.com/Learn/Whitepapers/Whitepaper-Detail/ArtMID/17811/ArticleID/16162/Vegetation-Analysis-Using-Vegetation-Indices-in-ENVI> Prieiga: 2022 10 16

NDVI indeksas kiekybiškai įvertina augaliją, matuodamas skirtumą tarp infraraudonųjų spindulių (NIR), kuriuos augalija atspindi ir raudonos šviesos (RED), kurią augalija sugeria.

NDVI vertės kinta nuo -1 iki 1. Sveikos augalijos reikšmės paprastai būna tarp 0,20–0,80.

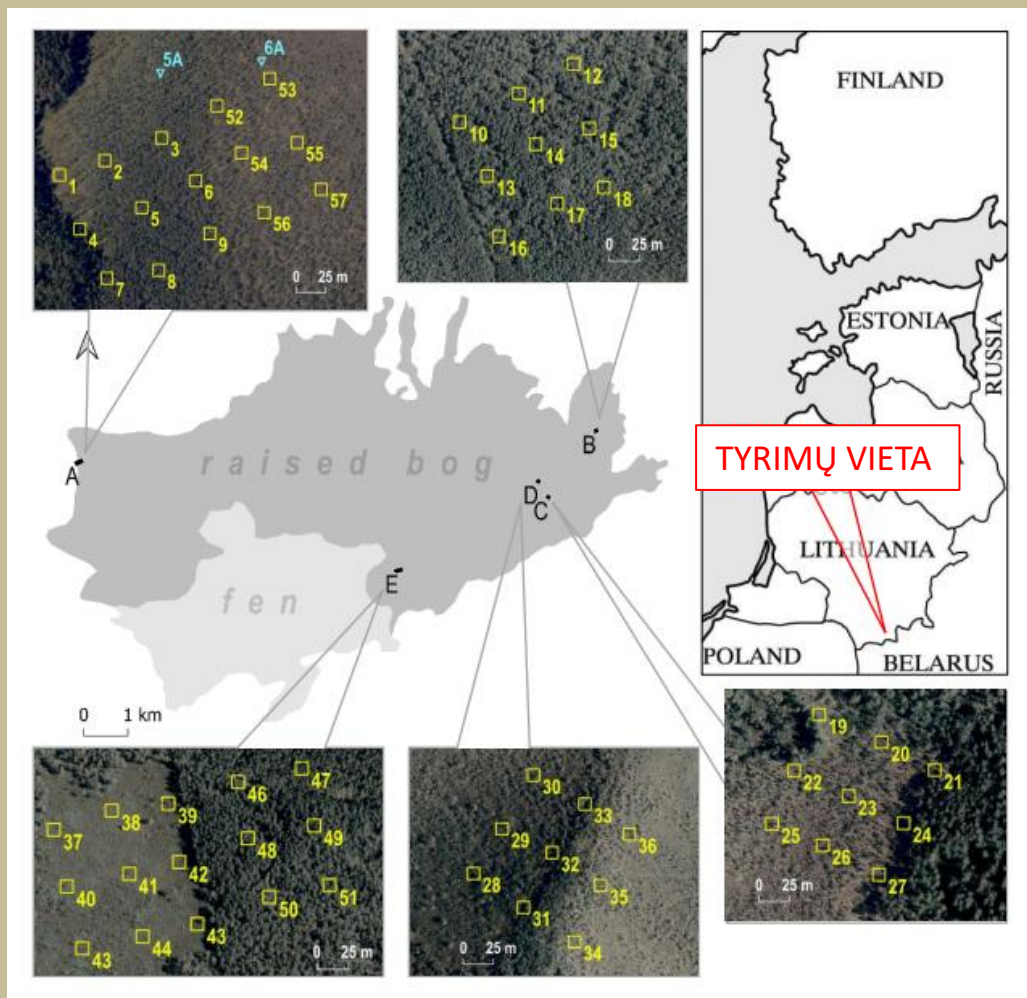
Mažesnės NDVI reikšmės rodo paviršių be augalijos, o didesnės už nulį identifikuoja augalijos dangą su skirtingu fotosintezės pajėgumu: kuo didesnės vertės, tuo sveikesnė augalija.

Vandens kiekis, esantis vidinėje lapų struktūroje, iš esmės kontroliuoja spektrinį atspindį elektromagnetinio spektro SWIR (trumpųjų infraraudonųjų bangų spinduliuotė) intervale (Gao, 1996). Augalijos vidinė struktūra ir lapų sausoji masė kontroliuoja atspindžio koeficientą NIR (artimųjų bangų infraraudonoji spinduliuotė) intervale. Šių kanalų derinys leidžia atskirti vandens kiekį augalijoje.

NDWI reikšmės svyruoja nuo -1 iki 1.

Paprastai sveikos žalios augalijos vertės yra nuo -0,1 iki 0,4.

DUOMENYS



SNAP, ArcMap

Palydoviniai duomenys:

Norint įvertinti augalijos būklę ir vandens kiekį augalijoje buvo:

- Skaičiuojami NDVI and NDWI indeksai kiekviename tyrimų kvadrato (10×10 m);
- SENTINEL 2 duomenys;
- 2015 – 2020 vegetacijos sezonai.
- ilgalaikiai NDVI pokyčių trendai įvertinami iš Terra MODIS palydovo duomenų (2000-2020)

Lauko tyrimai:

Norint įvertinti vandens gylį buvo:

- Pasirinktos 5 tyrimų vietos (A, B, C, D, E)
- Įrengti 57 vandens gylio matavimo gręžiniai;
- 2019-2020 vegetacijos sezonai.

Lauko tyrimai:

Norint išskirti aukštapelkės buveinių tipus:

Atliktas in situ augalijos įvertinimas, tyrimų kvadratai (10×10 m) buvo išskirti aplink kiekvieną vandens gylio matavimo gręžinį.

REZULTATAI

(1) Įvertinti vertikalią aukštapelkių struktūrą bei išskirti aukštapelkių buveinių tipus remiantis medine augalija;

Medžių, krūmų, žolės ir samanų sluoksnių rūšinė sudėtis, taip pat kiekvienos rūšies padengimo procentas buvo nustatyti naudojant Braun-Blanquet skalę (Braun-Blanquet, 1964). Tyrimo laukai buvo suskirstyti į 3 aukštapelkių buveinių tipus:

<i>Aukštapelkių buveinių tipas</i>	<i>Projekcinis medžių padengimas, %</i>	<i>Maksimalus medžių aukštis, m</i>	<i>Vyraujanti ekologinė pušų forma</i>
Plynė	<20	≤1	<i>f. willkommii</i>
Plynraistis	21-40	<5	<i>f. litwinowii</i>
Raistas	≥40	≥5	<i>f. uliginosa</i>

Skirtingų augalijos ardu padengimas 57-uose laukeliuose varijuoja plačiose ribose. Apibendrinus šiuos duomenis pagal penkis tyrimo plotus (A-E) didžiausiu vidutiniu medžių padengimu pasižymi B ir C plotų laukeliai, juose taip pat nustatytas didžiausias vidutinis žaliųjų samanų padengimo procentas bei mažiausias – kiminių. Kiti trys tyrimo plotai (A, D ir E) pasižymi didesniu kiminių padengimu.

Ardai ir samanų poklasiai	Tyrimo plotai					Aukštapelkės buveinės tipas		
	A	B	C	D	E	Raistas	Plynraistis	Plynė
Medžiai	32 (8-63)	53 (30-77)	48 (34-62)	37 (18-70)	23 (12-41)	48 (22-77)	33 (8-62)	17 (12-24)
Krūmokšniai	38 (27-58)	48 (31-66)	18 (1-42)	44 (26-57)	42 (22-67)	41 (22-66)	32 (1-58)	49 (27-67)
Žolės	14 (5-25)	7 (3-15)	29 (16-47)	10 (5-25)	6 (2-10)	8 (2-20)	19 (5-47)	5 (4-8)
Žaliosios samanos	12 (1-30)	42 (17-63)	24 (8-40)	8 (5-18)	18 (5-38)	24 (1-63)	15 (3-40)	21 (9-38)
Kiminiai	78 (60-90)	47 (30-65)	67 (58-80)	81 (73-88)	69 (50-85)	66 (30-90)	75 (58-88)	63 (50-81)

Aukštapelkės buveinių tipų pasiskirstymas tyrimų plotuose (plotai A-E ir laukeliai 1-57).

(1) Įvertinti vertikalią aukštapelkių struktūrą bei išskirti aukštapelkių buveinių tipus remiantis medine augalija;

A plotas					B plotas			C plotas			D plotas			E plotas				
1	2	3	52	53	10	11	12	19	20	21	28	29	30	37	38	39	46	47
4	5	6	54	55	13	14	15	22	23	24	31	32	33	40	41	42	48	49
7	8	9	56	57	16	17	18	25	26	27	34	35	36	43	44	45	50	51



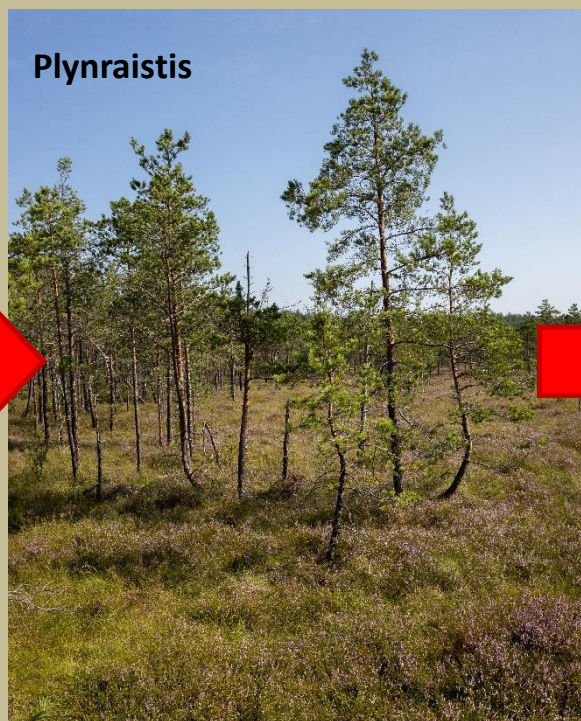
- plynė



- plynraistis



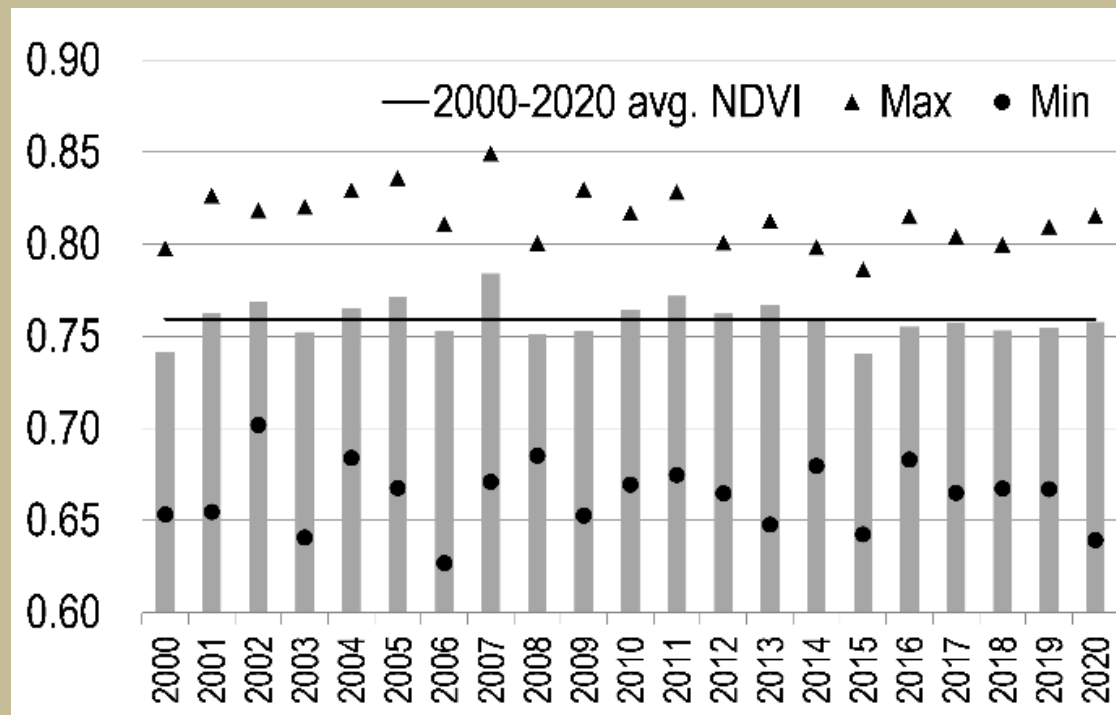
- raistas



REZULTATAI

(2) Įvertinti aukštapelkių buveinių tipus, remiantis NDVI ir NDWI spektriniais indeksais;

Pagal ilgalaikius duomenis (MODIS), lyginant 2019 ir 2020 m. visos Čepkelių aukštapelkės vidutinį NDVI su ankstesnių metų reikšmėmis matyti, kad nuo 2016 m. šios reikšmės išlieka gana stabilios, artimos vidutinei 2000-2020 m. reikšmei 0.76. Tačiau NDVI kaitos amplitudė didėjo, o 2020 m. ji buvo viena didžiausių per visą tyrimų laikotarpį – taigi, vegetacijos laikotarpio eigoje augalų būklė gali reikšmingai keistis.



Čepkelių aukštapelkės NDVI rodiklių kaita (pagal MODIS duomenis).

REZULTATAI

(2) Įvertinti aukštapelkių buveinių tipus, remiantis NDVI ir NDWI spektriniais indeksais;

Pagal NDVI ir NDWI reikšmių pasiskirstymą galime gana lengvai sugrupuoti skirtinguose tyrimo plotuose esančius laukelius:

- Aukščiausiomis vidutinėmis NDVI ir NDWI reikšmėmis pasižymi B plotas (**raistas**).
- Mažiausios vidutinės reikšmės, didžiausios amplitudės būdingos C plotui (**plynraistis**).
- E plote ryškiai išsiskiria du arealai: vakarinis su žemesnėmis NDVI ir NDWI reikšmėmis ir didesnėmis kaitos amplitudėmis (**plynė**) ir rytinis su aukštomis indeksų reikšmėmis (vidurkiai aukštesni net už B ploto vidurkius), tačiau mažesne kaita (**raistas**).

NDVI ir NDWI reikšmės A-E tyrimo plotuose ir skirtinguose aukštapelkės buveinių tipuose 2015-2020 laikotarpiu

	Site	A	B	C	D	E	E'	E''	Raistas	Plynraistis	Plynė
	Laukelio Nr.	1-9, 52-57	10-18	19-27	28, 30-36	37-51	37-45	46-51			
NDVI	Vid.	0.66	0.72	0.63	0.64	0.69	0.65	0.74	0.71	0.64	0.65
	Max	0.79	0.81	0.83	0.79	0.85	0.80	0.85	0.85	0.83	0.80
	Min.	0.50	0.63	0.43	0.53	0.53	0.53	0.64	0.57	0.43	0.53
	Vid. ampl.	0.18	0.13	0.26	0.17	0.19	0.20	0.17	0.15	0.21	0.20
NDWI	Vid.	0.43	0.48	0.40	0.40	0.44	0.37	0.54	0.49	0.40	0.37
	Max	0.59	0.60	0.61	0.60	0.68	0.56	0.68	0.68	0.61	0.56
	Min.	0.25	0.38	0.12	0.24	0.18	0.18	0.43	0.33	0.12	0.18
	Vid. ampl.	0.20	0.16	0.32	0.19	0.25	0.29	0.19	0.18	0.24	0.29

A plotas					B plotas			C plotas			D plotas			E plotas				
1	2	3	52	53	10	11	12	19	20	21	28	29	30	37	38	39	46	47
4	5	6	54	55	13	14	15	22	23	24	31	32	33	40	41	42	48	49
7	8	9	56	57	16	17	18	25	26	27	34	35	36	43	44	45	50	51

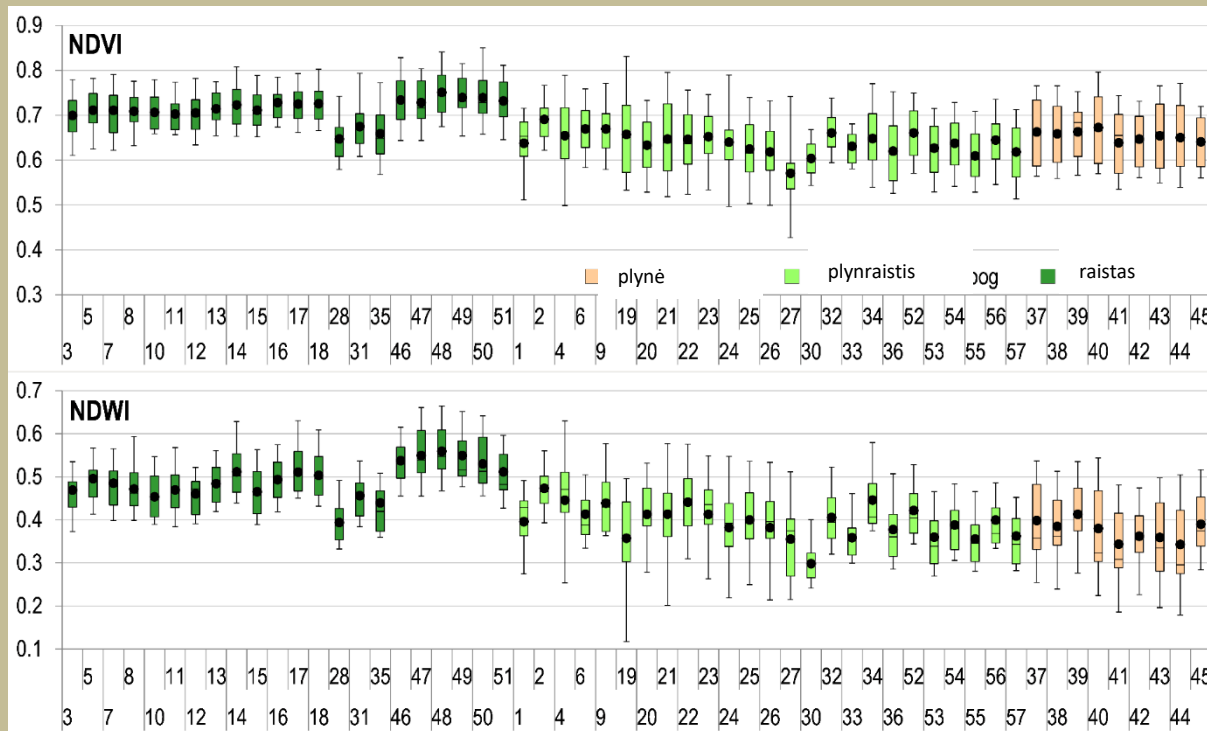
- plynė
 - plynraistis
 - raistas

REZULTATAI

(2) Įvertinti aukštapelkių buveinių tipus, remiantis NDVI ir NDWI spektriniais indeksais;

Apibendrinus NDVI ir NDWI rodiklius pagal aukštapelkės buveinių tipus, išryškėja, kad:

- aukščiausios abiejų indeksų reikšmės, bet mažiausia jų kaita yra fiksuojama raiste.
- Plynraisčio ir plynės laukelių indeksų vidutinės reikšmės ir kaitos amplitudės panašios, tačiau plynėje būdingas gana panašus reikšmių pasiskirstymas visuose laukeliuose, tuo tarpu plynraistyje matoma didelė įvairovė lyginant atskirų laukelių indeksų reikšmių pasiskirstymą.



2015-2020 m. 1-57 laukelių NDVI ir NDWI reikšmių pasiskirstymas skirtinguose aukštapelkės buveinių tipoose

REZULTATAI

- Analizuojant ryšius tarp apibendrintų atskiruose tyrimo taškuose (gręžiniuose, laukeliuose) nustatytų vandens gylio, augalinės dangos bei NDVI bei NDWI rodiklių reikšmių, kai kurie rodikliai rodė vidutinę teigiamą arba neigiamą statistiškai reikšmingą koreliaciją.
- Mūsų tyrimo metu nustatyti statistiškai reikšmingi ryšiai tarp skirtingiems aukštapelkių buveinių tipams būdingos augalijos bei vandens gylio:
 - kuo didesnis vandens gylis tuo daugiau pelkiniams miškams būdingos augalijos (medžių, žaliųjų samanų, pelkinio gailio);
 - kuo arčiau paviršiaus vanduo, tuo daugiau atviroms aukštapelkėms būdingų augalų – kiminių.

Taigi, stebint aukštapelkių kraštovaizdžio pokyčius - miškų plotų didėjimą, galime daryti prielaidą ir apie ilgalaikius aukštapelkių vandens lygio žemėjimo trendus.

(3) Įvertinti ryšius tarp augalijos, požeminio vandens ir spektrinių indeksų

		Hidrologiniai rodikliai			Botaniniai rodikliai					Spektriniai indeksai					
		vandens gylis			Procentinis padengimas					NDVI		NDWI			
		vidutinis	minimalus	maksimalus	medžių ardas	žolių ardas	žal. samanų	kiminiai	pelkinis gailis	vidutinis	minimalus	amplitudė	vidutinis	minimalus	amplitudė
Hidrologiniai rodikliai	vandens gylis	vidutinis													
		minimalus													
		maksimalus													
Botaniniai rodikliai	Procentinis padengimas	medžių ardas	T	T	T										
		žolių ardas													
		žal. samanų	T												
		kiminiai	N												
		pelkinis gailis		T											
Spektriniai indeksai	NDVI	vidutinis		T											
		minimalus	T	T			N								
		amplitudė					T								
	NDWI	vidutinis		T											
		minimalus		T			N								
		amplitudė					T								

Vidutinė teigiama ($0,6 > r > 0,4$, žali langeliai) ir vidutinė neigiama ($-0,4 > r > -0,6$, raudoni langeliai) statistiškai reikšminga koreliacija tarp hidrologinių, botaninių rodiklių bei spektrinių indeksų

REZULTATAI

(3) Įvertinti ryšius tarp augalijos, požeminio vandens ir spektrinių indeksų

Vandens gyliui ir NDVI bei NDWI indeksams būdinga **sezoninė kaita**, tad buvo atlikta koreliacinė analizė tarp **vienalaikių** šių rodiklių **matavimų** (skirtumas tarp matavimų siekė 1-5 dienas).

Analizuojant vandens gylio ir palydovinių indeksų koreliaciją skirtinguose aukštapelkės buveinių tipuose buvo gauta:

- **Plynėje** nustatyta **stipri** vandens gylio koreliacija su abiem indeksais (NDVI ir NDWI);
- **Plynraistyje** nustatyta silpna koreliacija tarp vandens gylio ir abiejų indeksų (NDVI ir NDWI), nors pavieniuose laukuose nustatyti ir aukštą koreliaciją rodantys koeficientai.
- **Raiste** nustatyta **silpna** koreliacija tarp vandens gylio ir NDVI ir **vidutinė** koreliacija tarp vandens gylio ir NDWI.

Visais atvejais nustatyta **teigiama** koreliacija tarp vandens gylio ir NDVI bei NDWI – kuo vandens lygis žemesnis, tuo augalijos danga „žalesnė“, o drėgmės atsargos joje didesnės. Tą gali lemti ir augalijos raidos sezoniniai ciklai – vykstant vegetacijai didėja augalų biomasės prieaugis, didesnės apimties lajoje augalai sukaupia daugiau drėgmės, tad didėja ir NDVI bei NDWI reikšmės.

<i>Bendras pagal visus tyrimų laukelius</i>	<i>Plotuose</i>							<i>Aukštapelkės tipuose</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C*</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>E'</i>	<i>E''</i>	<i>Raistas</i>	<i>Plynraistis</i>	<i>Plynė</i>
Koreliacija tarp vandens gylio pelkėje ir NDVI										
0.502	0.622	0.365	0.711	0.482	0.613	0.839	0.473	0,43	0,38	0,87
Koreliacija tarp vandens gylio pelkėje ir NDWI										
0,565	0.631	0.778	0.514	0.515	0.623	0.867	0.762	0,64	0,36	0,84

* statistiškai nereikšmingas, tik vieno laukelio duomenys.

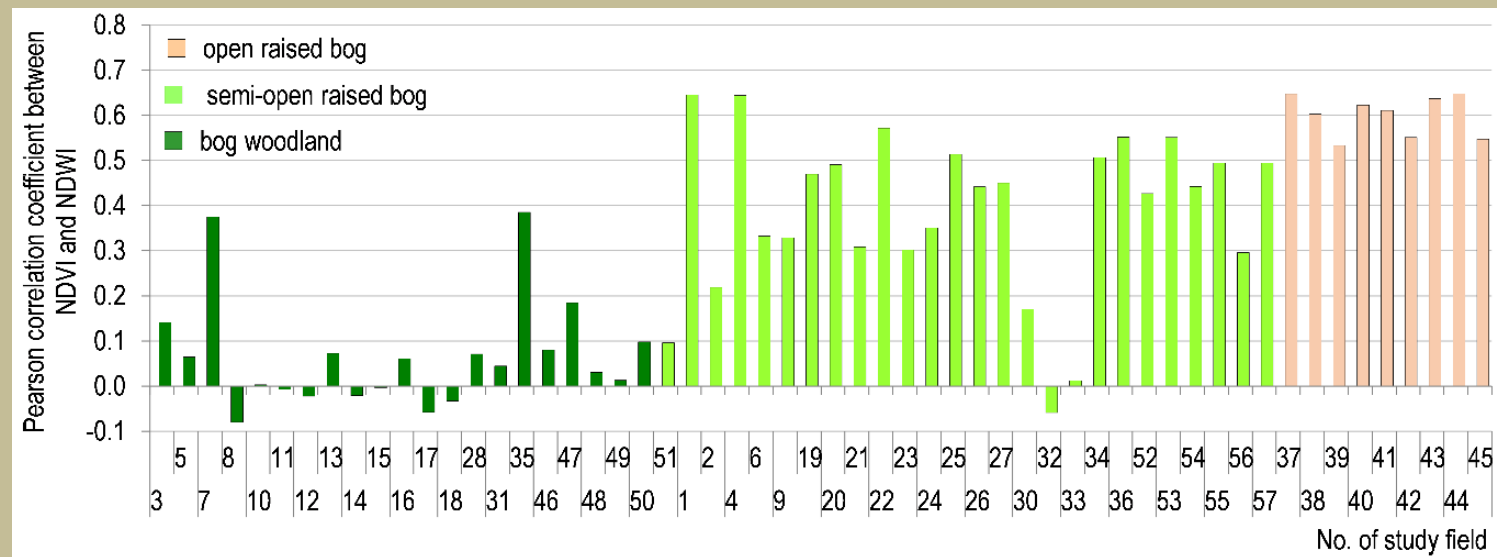
Pearsono koreliacijos koeficientai, lyginant vienalaikius vandens gylio ir NDVI bei NDWI duomenis (statistinis reikšmingumas $p < 0.05$)

REZULTATAI

(3) Įvertinti ryšius tarp augalijos, požeminio vandens ir spektrinių indeksų

Vertinant koreliaciją tarp palydovinių indeksų NDVI ir NDWI 2015-2020 m. reikšmių nustatyti ryškūs skirtumai skirtinguose aukštapelkės buveinių tipuose:

- **plynėje** paplitusios žemesniųjų ardu augalijos būklė (NDVI) bei joje sukauptos drėgmės (NDWI) kaita vyksta gana sinchroniškai, ryškiau atspindėdama metinius augimo ciklus;
- **raiste**, kur daugiau medinės augalijos, ši kaita nelabai susijusi tarpusavyje;
- **Plynraistyje** lokalinės (hidrologinės, botaninės) kiekvieno tyrimo taško sąlygos lemia ir palydovinių indeksų tarpusavio sąsajas.



Pearson'o koreliacijos koeficientas tarp NDVI ir NDWI, 2015-2020

APIBENDRINIMAS

57 tyrimų laukeliai

Plynė



Plynraistis

Raistas



Spektriniai
indeksai



Augalinės
dangos analizė

Vandens lygio
monitoringas

Statistinė
analizė



Mūsų tyrimo metu išryškėję spektrinių indeksų reikšmių pasiskirstymo dėsningumai atskiruose aukštapelkės buveinių tipuose leidžia tikėtis, kad aukštos rezoliucijos palydovinių nuotraukų duomenys galėtų būti pritaikomi aukštapelkių kraštovaizdžio raidos tyrimams.

Nuotoliniai metodai suteikia neįkainojamos informacijos, leidžiančios apibūdinti kraštovaizdį bei jo funkcionavimą. Tai yra patikima ir erdviškai aiški priemonė įvertinti ne tik augmenijos struktūrą ir funkciją, bet ir ryšį tarp šių ir klimato kintamųjų.

Nustatyti ryšiai tarp aukštapelkės vandens gylio, augalijos tipų bei NDVI ir NDWI suteikia galimybę, remiantis spektriniais indeksais, vertinti hidroklimateinių sąlygų kaitą ir jos poveikį aukštapelkių kraštovaizdžiui.



- Dėkoju už Jūsų dėmesį!