

Nuotolinių multispektrinių duomenų taikymas prognozuojant kukurūzų biomasės derlių mašininio mokymosi metodais



LIETUVOS
AGRARINIŲ IR MIŠKŲ
MOKSLŲ CENTRAS

Ardas Kavaliauskas
dr. Renaldas Žydelis

Tyrimo problema ir aktualumas

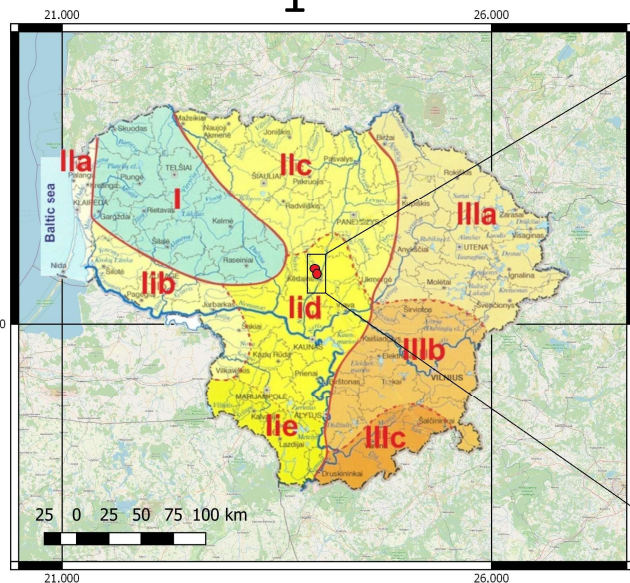
- Kukurūzai – viena svarbiausių grūdinių kultūrų pasaulyje, o Šiaurės Europoje, taip pat ir Lietuvoje, jų auginimas grūdams plečiasi dėl ankstyvesnių hibridų ir kintančio klimato;
- Antžeminė biomasė – pagrindinis augalų augimo ir azoto mitybos būklės rodiklis, tačiau jos nustatymas destruktivus ir imlus darbui;
- Efektyvus maisto medžiagų, ypač azoto, valdymas būtinas derliui palaikyti ir neigiamam poveikiui aplinkai mažinti;
- Multispektriniai nepilotuojamų skraidyklių duomenys teikia operatyvią informaciją apie pasėlio būklę viso sezono metu;
- Lauko bei nuotolinių duomenų ir mašininio mokymosi integravimas į vieną sistemą yra sudėtingas, ypač laukuose su skirtingais dirvožemiais ir skirtingais sezonais.

Tikslas

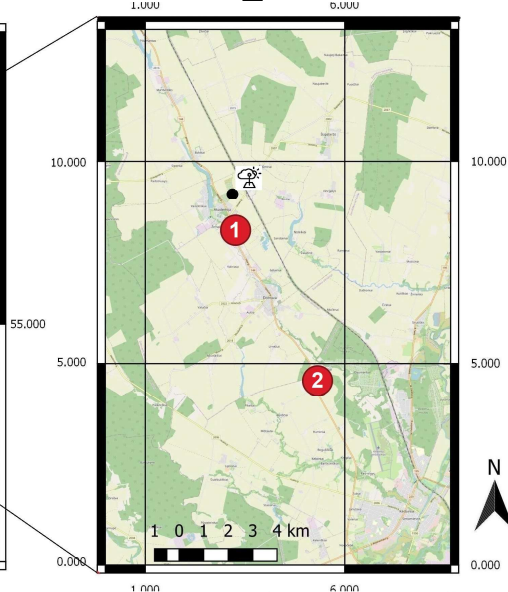
- Įvertinti nepilotuojamų skraidyklių multispektrinių duomenų, aplinkos kintamųjų ir lauko matavimų derinių tinkamumą kukurūzų antžeminei biomasei prognozuoti viso sezono mašininio mokymosi modeliais (RF, SVR, PLSR) bei modelių perkeliamumą tarp metų dviejose vietovėse su skirtingais dirvožemiais.

Eksperimento vieta

1



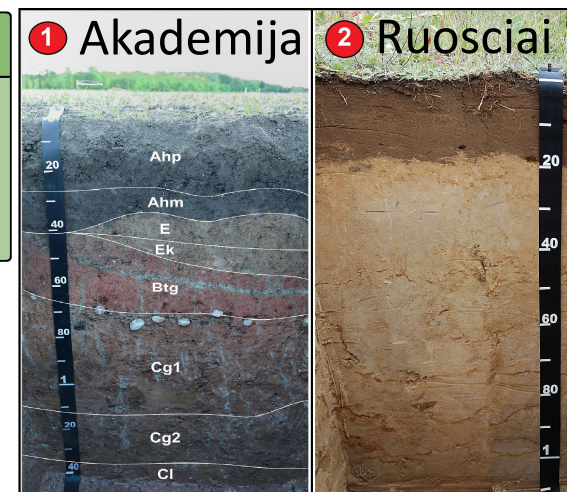
2



Soil Groups

- 1 - Luvisol
- 2 - Arenosol

3



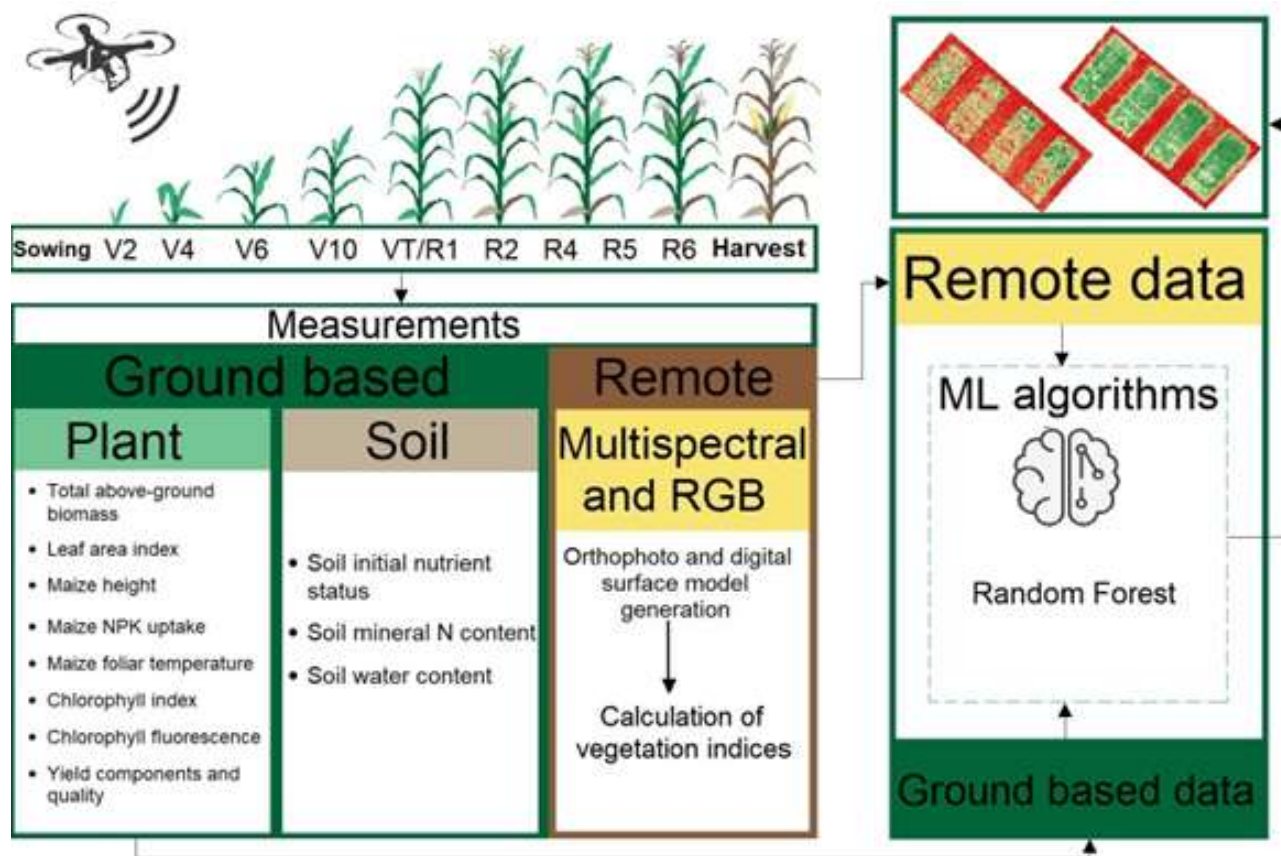
1 pav. Lietuvos agroklimatinės zonos (1) ir lauko eksperimentų vietos 2023–2025 m. (2); dešinėje (3) – Akademijos ir Ruoščių eksperimentų dirvožemio profiliai. Skaičiai (I, II, III) ir raidės (a–e) žymi agroklimatinius rajonus ir parajonius.

Tręšimo variantai

1 lentelė. Eksperimento variantai, santrumpos ir makroelementų bei priedų normos

Variantas	Santrumpa	Makroelementų norma			Priedų norma	
		kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹	l ha ⁻¹
		N	P	K	Hidrogelis	Si
1. Kontrolė	CON	0	0	0	0	0
2. Amonio salietra N90 + P45 + K90	AN1	90	45	90	0	0
3. Amonio salietra N90 + P45 + K90+ hidrogelis50	AN1+H	90	45	90	50	0
4. Amonio salietra N90 + P45 + K90 + silicis	AN1+Si	90	45	90	0	1
5. Amonio salietra N170 + P90 + K170	AN2	170	90	170	0	0
6. Amonio salietra N170 + P90 + K170+ hidrogelis50	AN2+H	170	90	170	50	0
7. Amonio salietra N170 + P90 + K170+ silicis	AN2+Si	170	90	170	0	1
8. Granuliuotas galvijų mėšlas N170	PCM	170	65	351	0	0
9. Granuliuotas galvijų mėšlas N170 + hidrogelis50	PCM+H	170	65	351	50	0
10. Granuliuotas galvijų mėšlas N170 + silicis	PCM+Si	170	65	351	0	1
11. Amonio salietra N90 + Granuliuotas galvijų mėšlas N80	AN1+PCM	170	76	210	0	0
12. Amonio salietra N90 + Granuliuotas galvijų mėšlas N80 + hidrogelis50	AN1+PCM+H	170	76	210	50	0
13. Amonio salietra N90 + Granuliuotas galvijų mėšlas N80 + silicis	AN1+PCM+Si	170	76	210	0	1

Darbo eigos schema



2 pav. Bendroji kukurūzų biomasės vertinimo metodikos schema

Duomenys ir kintamieji

2 lentelė. Modeliuose naudoti duomenys ir kintamieji

Nr.	Duomenų grupė	Santrumpa	Kintamieji / aprašymas
1	Antžeminė biomasė	AGB	Prognozuojamas kintamasis: sausa masė, t ha ⁻¹ ; V5, V10, VT, R3, R6
2	Spektrinės juostos	BANDS	Iš viso 5: Blue, Green, Red, Red Edge, NIR (augalijos pikseliai)
3	Aplinkos kintamieji	ENV	GDD (bazė 8 °C), paros temperatūrų suma, kritulių suma nuo sėjos iki tarpsnio
4	Lauko matavimai	FIELD	Augalų aukštis, SPAD, chlorofilo fluorescencija (Fv/Fm)

Laukelio reikšmė – augalų matavimų vidurkis; 52 laukeliai × 2 vietovės × 5 tarpsniai × 3 metai = 1560 stebėjimų.

Meteorologiniai duomenys – Dotnuvos meteorologijos stotis; sėja: 2023-05-17, 2024-05-15, 2025-05-14.

Modeliavimo scenarijai ir validavimas

3 lentelė. Modeliavimo scenarijai ir naudoti kintamieji

Nr.	Scenarijus	Santrumpa	Kintamieji
1	Spektrinės juostos	A1	BANDS (5 kintamieji)
2	Juostos + aplinka	A2	BANDS + ENV (8 kintamieji)
3	Juostos + lauko matavimai	A3	BANDS + FIELD (8 kintamieji)
4	Juostos + aplinka + lauko matavimai	A4	BANDS + ENV + FIELD (11 kintamųjų)

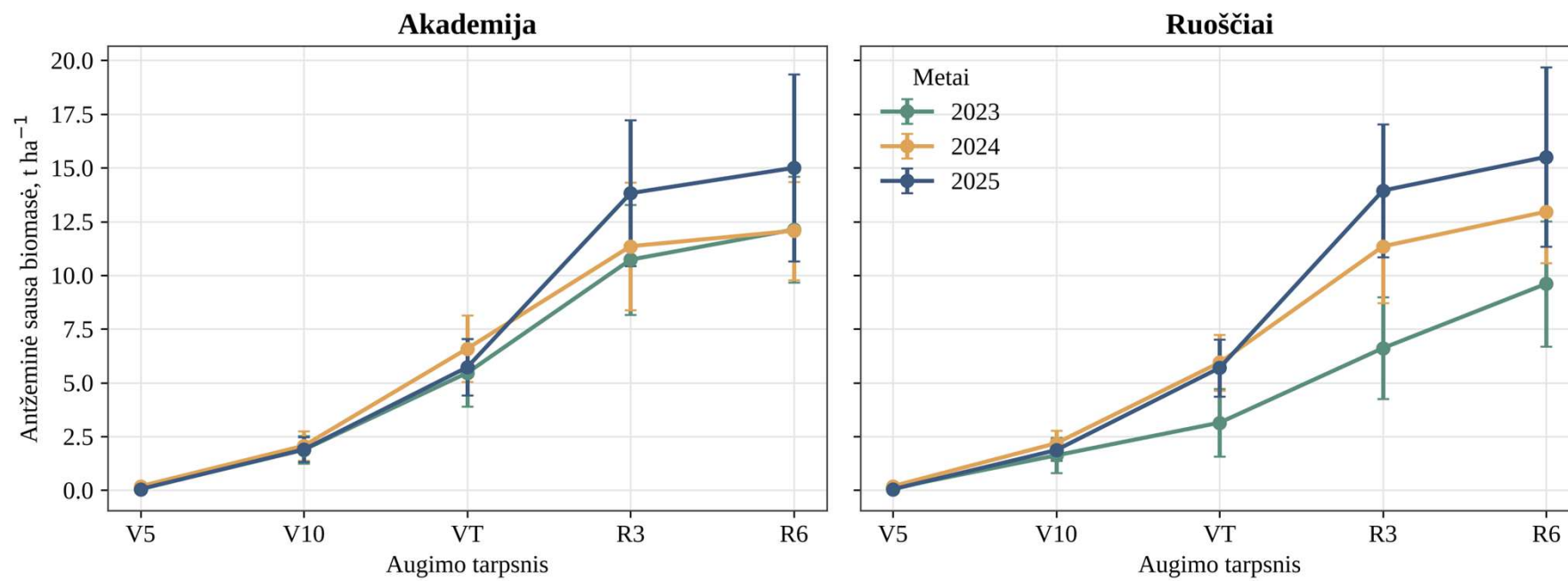
Modeliai: Random Forest (RF), atraminių vektorių regresija (SVR), dalinių mažiausių kvadratų regresija (PLSR).

Viso sezono modelis: visi tarpsniai ir abi vietovės kartu; tarpsnis – papildomas kintamasis.

Tarpmetinė validacija: kalibravimas dviejų metų, validacija trečiųjų metų duomenimis (3 kartai); parametrai parinkti tik kalibravimo duomenimis.

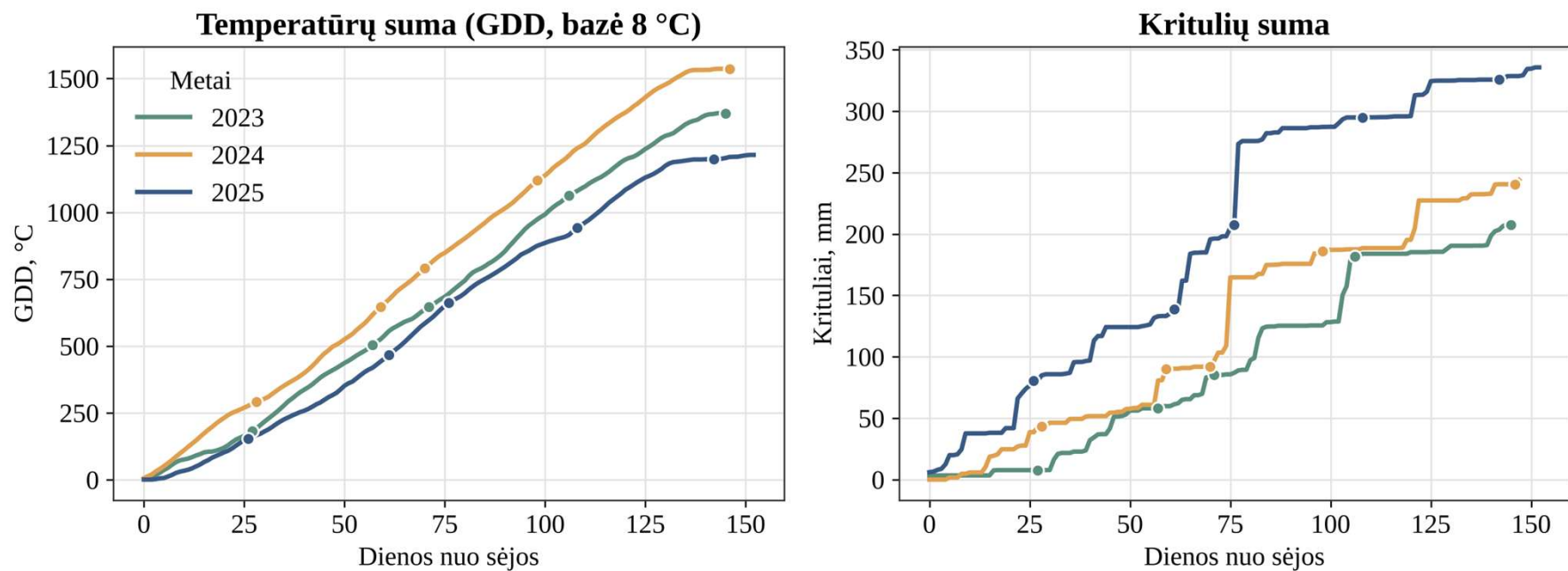
Tikslumo rodikliai: R^2 , RMSE ir NRMSE.

Antžeminės biomasės dinamika



3 pav. Kukurūzų antžeminės sausos biomasės dinamika augimo tarpsniais Akademijoje ir Ruoščiuose 2023–2025 m. (vidurkis $\pm$ SD)

Aplinkos sąlygos vegetacijos metu



4 pav. Sukaupta temperatūrų suma (GDD, bazė 8 °C) ir kritulių suma nuo sėjos 2023–2025 m.; taškai – biomasės ėmimo datos (V5, V10, VT, R3, R6)

Viso sezono modelių tikslumas

4 lentelė. Modelių R^2 validacijos metais (vidurkis $\pm$ SD, 3 validacijos metai)

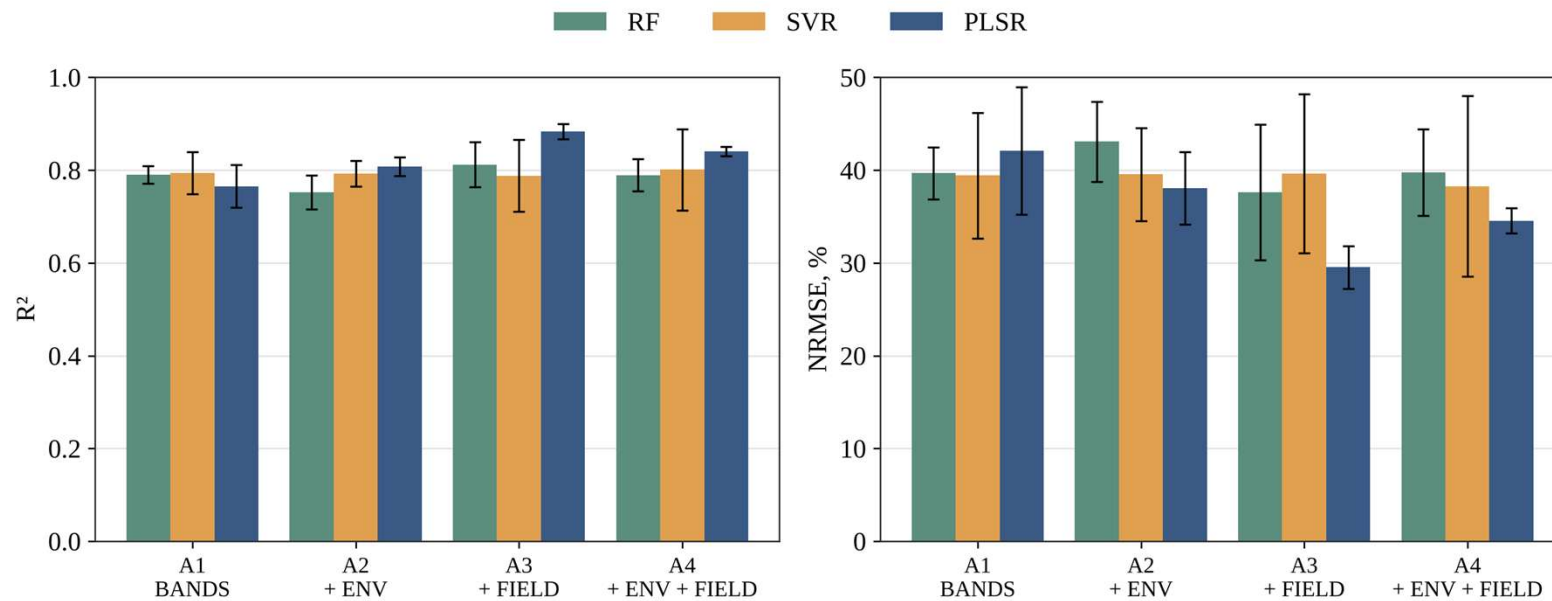
Scenarijus	Kintamieji	RF	SVR	PLSR
A1	BANDS	$0,79 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,05$	$0,77 \pm 0,05$
A2	BANDS + ENV	$0,75 \pm 0,04$	$0,79 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,02$
A3	BANDS + FIELD	$0,81 \pm 0,05$	$0,79 \pm 0,08$	$0,88 \pm 0,02$
A4	BANDS + ENV + FIELD	$0,79 \pm 0,03$	$0,80 \pm 0,09$	$0,84 \pm 0,01$

5 lentelė. Modelių NRMSE, % validacijos metais (vidurkis $\pm$ SD, 3 validacijos metai)

Scenarijus	Kintamieji	RF	SVR	PLSR
A1	BANDS	$39,7 \pm 2,8$	$39,4 \pm 6,8$	$42,1 \pm 6,8$
A2	BANDS + ENV	$43,1 \pm 4,3$	$39,5 \pm 5,0$	$38,1 \pm 3,9$
A3	BANDS + FIELD	$37,6 \pm 7,3$	$39,6 \pm 8,6$	$29,5 \pm 2,3$
A4	BANDS + ENV + FIELD	$39,8 \pm 4,7$	$38,3 \pm 9,7$	$34,5 \pm 1,3$

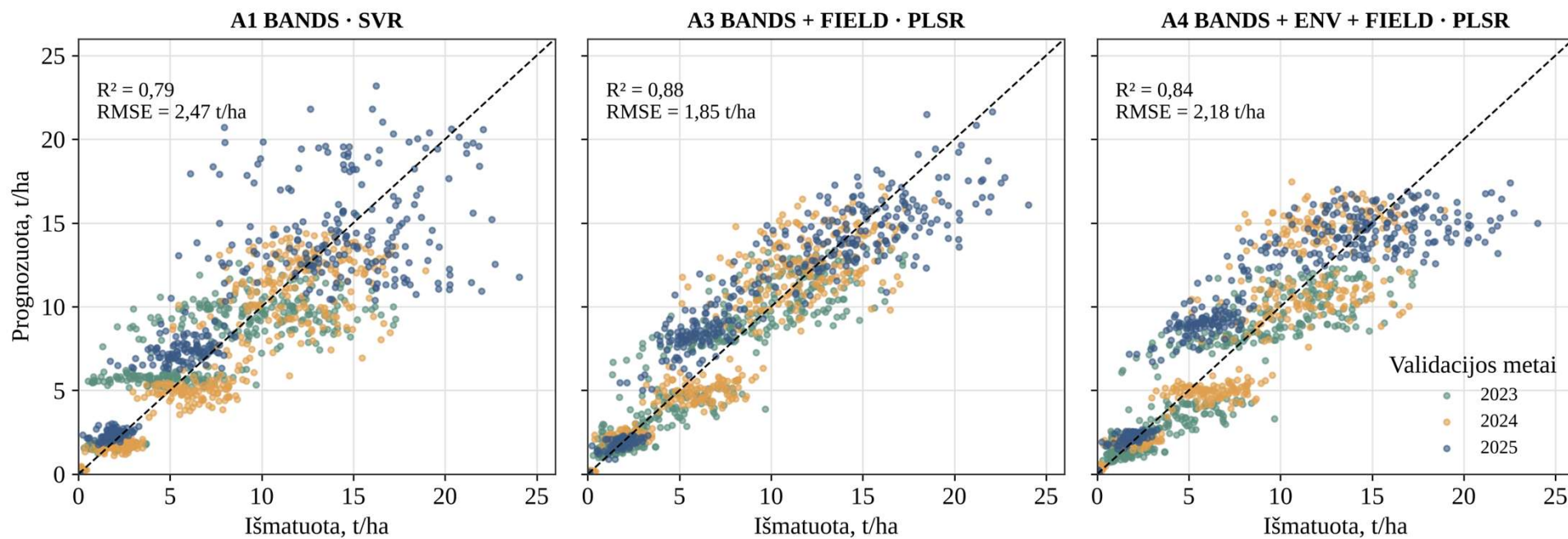
Pastaba. Paryškinta – tiksliausias modelis. BANDS – spektrinės juostos; ENV – aplinkos kintamieji; FIELD – lauko matavimai.

Scenarijų ir modelių palyginimas



5 pav. Viso sezono modelių R^2 ir NRMSE validacijos metais (vidurkis $\pm$ SD, 3 validacijos metai)

Išmatuota ir prognozuota biomasė



6 pav. Išmatuota ir prognozuota antžeminė biomasė validacijos metais: A1 (SVR), A3 (PLSR) ir A4 (PLSR) scenarijai

Apibendrinimas

- Modelius kalibruojant dviejų metų duomenimis, vien nuotoliniai spektriniai duomenis (A1) leido prognozuoti biomasę trečiaisiais metais su R^2 0,77–0,79 (NRMSE ~40 %).
- Tiksliausias – A3 scenarijus (nuotoliniai spektriniai duomenis + lauko matavimai) su PLSR: R^2 0,88, RMSE 1,85 t ha⁻¹, NRMSE 30 %; stabilus visais validacijos metais (R^2 0,87–0,90).
- Aplinkos kintamieji tikslumą padidino nedaug arba sumažino; modeliuose jie daugiausia atspindėjo augimo tarpsnį.
- Iš lauko matavimų svarbiausias – augalų aukštis; jį įvertinus iš nepilotuojamos skraidykles surinktų duomenų sudaryto paviršiaus modelio, A3 scenarijus galėtų būti taikomas be lauko matavimų.
- Tolesni darbai: aukščio įvertinimas nuotoliniais duomenimis visiems metams ir galutinės biomasės prognozė iš ankstyvesnių tarpsnių.

An aerial photograph of a large agricultural field. A long, rectangular section of the field is planted with young green corn plants, arranged in neat rows. The surrounding areas are either bare brown soil or fields of mature, golden-brown crops. A white car is parked on a dirt path to the right of the corn section. The text "Ačiū už dāmes!" is overlaid in the center of the image.

Ačiū už dāmes!