

BULVIŲ MARO (*PHYTOPHTORA INFESTANS*) PAPLITIMO TYRIMAI TAIKANT INOVATYVIAS STEBĖJIMO TECHNOLOGIJAS

Gediminas MARTINKUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Agronomijos fakultetas, el. paštas:
gediminas.martinkus@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje nagrinėjamas bulvių maro (*Phytophthora infestans*) intensyvumo vertinimas bulvių pasėlyje taikant vizualinį lauko vertinimą ir bepiločių orlaivių (UAV) pagrindu veikiančias nuotolinio stebėjimo technologijas. Tyrimas atliktas 2024 m. įrengtame fungicidų efektyvumo lauko eksperimente. Eksperimentą sudarė penki bandymo variantai, visi variantai kartoti 3 kartus. Bulvių maro intensyvumas buvo vertinamas vizualiai naudojant 0–100 balų skalę, kur 0 reiškia ligos simptomų nebuvimą, o 100 – labai stiprų augalų pažeidimą.

Tuo pačiu laikotarpiu pasėlis buvo fotografuojamas naudojant multispektrinę bepilotį orlaivį DJI Mavic 3M Enterprise. Multispektriniai vaizdai registruoti skirtingose elektromagnetinio spektro juostose, leidžiančiose įvertinti augalų būklę ir vegetacijos pokyčius. Surinkti duomenys buvo apdorojami naudojant webODM programinę įrangą, o vegetacijos indeksai NDVI, NDRE ir NGRDI apskaičiuoti QGIS programoje kiekvienam eksperimento laukeliui.

Vegetacijos indeksų duomenys buvo lyginami su vizualinio lauko vertinimo rezultatais, siekiant įvertinti nuotolinio stebėjimo technologijų taikymo galimybes augalų ligų stebėjimui. Statistinė duomenų analizė atlikta naudojant „Microsoft Excel“ programą, taikant koreliacinę analizę. Tyrimo rezultatai parodė, kad vegetacijos indeksai gali būti naudojami bulvių maro plitimui ir intensyvumui vertinti nuotolinio stebėjimo būdu.

Reikšminiai žodžiai: eksperimentas, bepilotis orlaivis, vegetacijos indeksas, NDVI, NDRE, NGRDI.

Įvadas

Eksperimentų skaičius, reikalingas vieno pesticido registracijos dokumentų rinkiniui, skiriasi priklausomai nuo pasėlio, tikslinio kenkėjo bei regiono, kuriame norima registruoti pesticidą. Dažniausiai į registracijos duomenų rinkinius turi būti įtraukti mažiausiai 3-jų vegetacijos sezonų, skirtingose registracijos zonose atliktų bandymų rezultatai. Tai reiškia, kad vienai pasėlio – tikslinio kenkėjo kombinacijai reikalingi bent 10-ies galiojančių veiksmingumo bandymų duomenys (Europos komisija, Reglamentas (EC) No 1107/2009).

Augalų ligų intensyvumo įvertinimas reikalingas ne tik epidemijų stebėjimui eksperimentuose ar tyrimuose. Tikslus ligų intensyvumo nustatymas padeda suprasti skirtingų aplinkos veiksnių (cheminių, biologinių, agronominių ir kt.) įtaką derliaus nuostoliams ir palyginti augalų atsparumą ligoms (Bock et al., 2022). Du pagrindiniai reikalavimai taikomi tyrimų metodikai, norint juos atlikti tinkamai: 1. Palyginti skirtingus pagrįstus metodus. 2. Surinkti kuo daugiau duomenų, sugaišťant kuo mažiau darbo, laiko ir erdvės lauke. Pateikiami išsamūs statistiniai duomenys, naudingi veiksmingumo duomenų analizei (Marciano, 2013).

Lauko eksperimentuose atsitiktinių imčių blokų dizainas yra laikomas pagrindiniu ir yra plačiausiai naudojamu (Lynch, 1966). Visi lauko eksperimento ploteliai laikomi homogeniškais, t. y. panašūs visais aspektais, nesudaro kitokių augimo sąlygų pakartojimuose, pakartojimų procedūros eksperimento vienetams paskirstomos atsitiktine tvarka (Tadese, 2023).

Labai dažnai, įskaitant ir fungicidų veiksmingumo tyrimams, ir atsako analizėms, duomenis patogų išreikšti proporcijomis ar procentais, kurie yra lengvai interpretuojami, ir tyrėjams leidžia palyginti skirtingus eksperimento duomenis ir tyrimų metodikas (Warton, Hui, 2011). Augalų ligų intensyvumas gali būti apibrėžtas kaip pažeisto augalo audinio plotas arba tūris, paprastai santykinis visam augalui. Tai yra nuolatinis kintamasis, paprastai ribojamas nuo 0 iki 1, ir augalo audinio kokybės matas, o ne paveiktų augalų vienetų skaičius. Augalų ligų paplitimas gali būti apibrėžtas kaip sergančių augalų skaičius, paprastai palygintas su bendru įvertintu skaičiumi. Pavyzdžiui, galima nustatyti sergančių augalų dalį lauke arba sergančių lapų dalį viename augale kaip paplitimo rodiklį. Nors paprastai sergamumas vertinamas pagal vizualius ligos simptomus (Madden, Hughes, 1999). Mokslinių eksperimentų eigoje dalis klaidingai įvertintų duomenų yra žmogiškojo veiksnio pasekmė, kai tyrėjas netinkamai įsigilina į darbo protokolą, netinkamai naudoja priemones, preparatus ar neteisingai įvertina turimus rezultatus (Charamba et al., 2023).

Skaitmeninių foto technologijų pajėgumai kartu su nuotolinio stebėjimo technologijų tobulinimu neseniai paskatino nepilotojamų orlaivių (UAV) panaudojimą tiksliojo ūkininkavimo srityje (DeLong, 2008). Bepiločių orlaivių (UAV) pagrindu atliekamas nuotolinis fotografavimas vis plačiau taikomas siekiant tiksliai įvertinti pasėlių būklę. Šiam tikslui naudojami įvairūs optiniai jutikliai, pavyzdžiui, RGB kameros – RGB spalvų modelis naudojamas skaitmeniniuose vaizduose, fotografijoje ir kameroje (Finlayson et al., 2002), taip pat daugiaspektrinės ir hiperspektrinės kameros. Norint tiksliai prognozuoti augalų savybes, t. y. fenotipą, labai svarbi nuosekli vaizdo kokybė (Yang et al., 2017). Vegetacijos indeksai, sukurti naudojant augalų nuotolinio stebėjimo duomenis, yra gana paprasti ir veiksmingi algoritmai, kuriais galima vertinti kiekybinius ir kokybinius augalijos dangos požymius, gyvybingumo ir augimo dinamiką. Tam skirtos konkrečios matematinės išraiškos, kurios sujungia matomos šviesos spinduliuotę ir nematomus spektrus, siekiant gauti

pakaitinius augalijos paviršiaus kiekybinius įvertinimus (Xue, 2017). Vegetacijos indeksai naudojami kaip priemonė augmenijos dangai įvertinti nuotoliniu būdu (Zuzalova, Vido, 2018).

Dažniausiai naudojami vegetacijos indeksai:

1. NDVI – normalizuotas diferencinis vegetacijos indeksas.
Formulė: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ (Nebiker et al., 2016).
2. NDRE – normalizuotas diferencinis raudonojo krašto vegetacijos indeksas.
Formulė: $NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$ (Nebiker et al., 2016).
3. NGRDI – normalizuotas žaliosios ir raudonosios spalvos skirtumo indeksas.
Formulė: $NGRDI = (G - R) / (G + R)$ (Loaiza, 2023).

Tyrimo tikslas – palyginti bulvių maro paplitimo ir intensyvumo vertinimo tikslumą, taikant vizualinį lauko vertinimą ir bepiločiais orlaiviais (UAV) pagrįstas nuotolinio stebėjimo technologijas.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Įvertinti lauko bandymo bulvių pasėlyje fungicidų efektyvumą prieš bulvių marą (*Phytophthora infestans*) dviem metodais: vizualiniu lauko vertinimu ir naudojant bepiločio orlaivio (UAV) nuotolinio stebėjimo technologijas.
2. Palyginti trijų pagrindinių vegetacijos indeksų rezultatus naudojant skirtingus vertinimo metodus.
3. Nustatyti, kuris vegetacijos indeksas yra tinkamiausias augalų būklės vertinimui.
4. Nustatyti, ar bepiločių orlaivių nuotolinio stebėjimo technologijos galėtų pakeisti vizualinį žmogaus vertinimą.

Tyrimų objektas ir metodai

2024 m. buvo įrengtas lauko eksperimentas bulvėse, skirtas nustatyti fungicidų efektyvumą bulvių maro (*Phytophthora infestans*) kontrolei. Bandymui pasirinkta veislė 'Gala'. Bulvės sodintos 2024 m. gegužės 18 d. Testuojami fungicidai naudoti 8 kartus visos vegetacijos metu, laikantis 7–10 dienų intervalo. Pirmasis purškimas fungicidais atliktas birželio 25 d., bulvėms pasiekus BBCH 39 augimo stadiją (žr. 1 pav.). Bandymas buvo sudarytas iš 5 variantų: 3 skirtingos testuojamo produkto normos, palyginamasis produktas ir kontrolinis variantas. Visi bandymo variantai turėjo 3 pakartojimus taikant atsitiktinės imties metodą.



Šaltinis: autoriaus nuotrauka (2024)

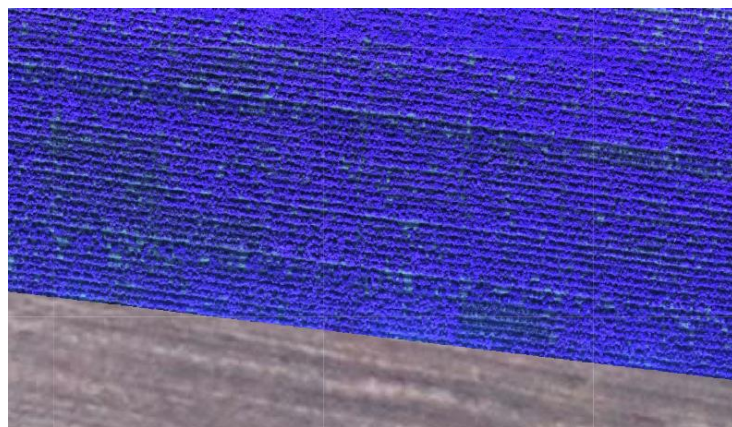
Source: author's photo (2024)

1 pav. Bendra lauko eksperimento nuotrauka

Fig.1. General view of the field experiment

Fungicidų efektyvumas buvo vertintas augalams pasiekus BBCH 73 augimo stadiją (rugpjūčio 8 d.). Vertinimas atliktas dviem būdais: žmogaus vizualiniu vertinimo būdu ir naudojant bepiločio orlaivio multispektrine kamera surinktas nuotraukas. Visi bandymo laukeliai vertinti atskirai naudojant vertinimo skalę nuo 0 iki 100. Vertinimo skalėje 0 reiškia, kad ligos simptomų laukelyje nėra, 100 skalėje reiškia, kad visas laukelis intensyviai pažeistas ligos. Kuo liga laukelyje labiau išplitusi ir aptinkama daugiau intensyviai ligos pažeistų augalų, tuo įverčio suma arčiau 100. Statistinei analizei kiekvieno varianto ligos pažeidimo intensyvumas buvo gaunamas imant vidurkį iš visų 3 pakartojimų.

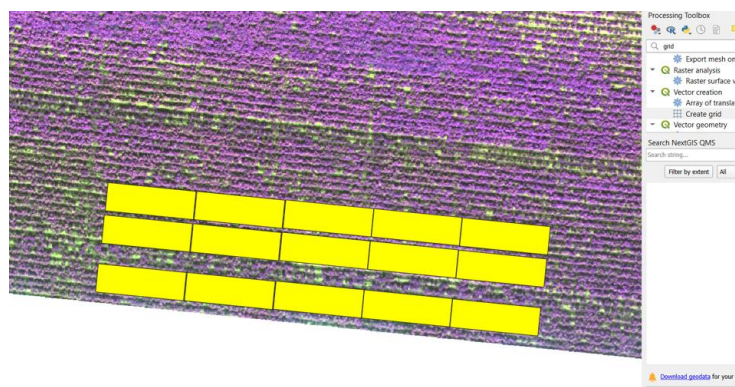
Skaitmeninėms nuotraukoms surinkti naudotas dronas: DJI Mavic 3M Enterprise (Multispectral), turintis dviejų kamerų sistemas RGB ir multispektrinę kamerą. Multispektrinė kamera dirba spektro juostose: žalia (green) ~560 nm, raudona (red) ~650 nm, raudona ribinė (Red Edge) ~730 nm, artimoji infraraudonoji spinduliuotė (NIR) ~860 nm. Vienas pikselis nuotraukoje atitinka 1,77 cm realiame žemės paviršiuje (žr. 2 pav.). Vertinimo metu buvo padarytos 68 nuotraukos.



Šaltinis: autoriaus nuotrauka (2026)
Source: author's image (2026)

2 pav. webODM sugeneruotas multispektrinių nuotraukų rinkinio vaizdas
Fig. 2. Multispectral image mosaic generated using WebODM

Rinkinys iš 68 nuotraukų „suklijuojamas“ naudojant programą webODM (žr. 3 pav.). Procesas pilnai automatizuotas, apdorojant nuotraukas reikia nurodyti nuotraukų lokaciją, pasirinkti norimą rezultatą ir, priklausomai nuo nuotraukų kiekio, programa sugeneruoja multispektrinių nuotraukų sluoksnių rinkinį. QGIS su R priedu programos pagalba apskaičiuojami vegetacijos indeksai (NDVI, NDRE, NGRDI) kiekvienam laukeliui.



Šaltinis: autoriaus nuotrauka (2026)
Source: author's image (2026)

3 pav. QGIS programoje atskirti ploteliai skirti apskaičiuoti kiekvieno plotelio vegetacijos indeksą
Fig. 3. Plots delineated in QGIS for calculating vegetation indices for each plot

Kiekvieno pakartojimo indeksų vidurkis lyginamas su žmogaus atlikto vertinimo kiekvieno pakartojimo vidurkiu. Išanalizavus gautus rezultatus įvertinama, kiek skiriasi bulvių maro paplitimo ir intensyvumo vertinimo tikslumas taikant vizualinį lauko vertinimą ir bepiločiais orlaiviais (UAV) pagrįstas nuotolinio stebėjimo technologijas.

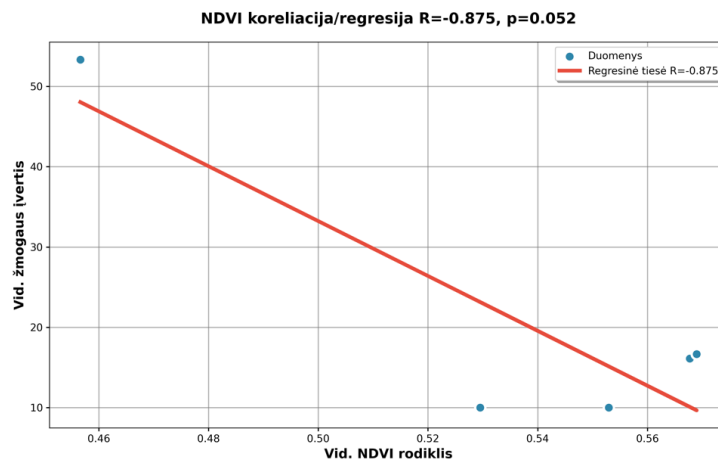
Statistinė analizė buvo atlikta naudojant „Microsoft Excel“ ir ARM (Agricultural Research Management) programas. Vegetacijos indeksų ir tiriamo rodiklio tarpusavio ryšiui įvertinti buvo apskaičiuotas koreliacijos koeficientas (r). Koreliacijos koeficientas parodo dviejų kintamųjų ryšio stiprumą ir kryptį. Jo reikšmės svyruoja nuo -1 iki $+1$, kur artimesnės ± 1 reikšmės rodo stiprų ryšį, o artimos 0 – silpną ryšį.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Lauko eksperimento vertinimas ir drono multispektrinės nuotraukos surinktos 2024 m. rugpjūčio 8 d. Vertintojo surinktais duomenimis, kontrolinio varianto visų 3 pakartojimo vidurkis siekė 53,33 balus skalėje nuo 0 iki 100. Fitopatologinėje perspektyvoje tai reikštų, kad bulvių maras buvo išplitęs visame laukelyje, tačiau augalo dalys dar vegetuojančios. Kiti variantai buvo įvertinti tokiais balais: antro – 10, trečio ir ketvirto – 16,66, penkto – 10. Tokie įvertinimai parodo, kad kontrolinis variantas – nepurkštas fungicidu, buvo labiausiai pažeistas ligos.

QGIS programa paskaičiuotų NDVI indeksų kiekvieno pakartojimo vidurkiai tokie: pirmojo kontrolės – 0,456, kiti pakartojimai atitinkamai: antro – 0,566, trečio – 0,567, ketvirto – 0,556 ir penkto – 0,552.

NDVI indekso koreliacijos grafike (žr. 4 pav.) matoma stipri neigiama koreliacija tarp NDVI indekso ir vizualinio vertinimo vidurkių kintamojo, kur koreliacijos koeficientas $r = -0,87$, o p -reikšmė $= 0,052$. Didėjant NDVI vertei, kitas kintamasis linkęs mažėti, ryšys yra statistškai ribinis (p arti 0,05, bet šiek tiek virš jo). Be to, regresijos tiesė ($R=0,75$) paaiškina apie 75 % duomenų variacijos, rodydama gerą prognozinę galią.

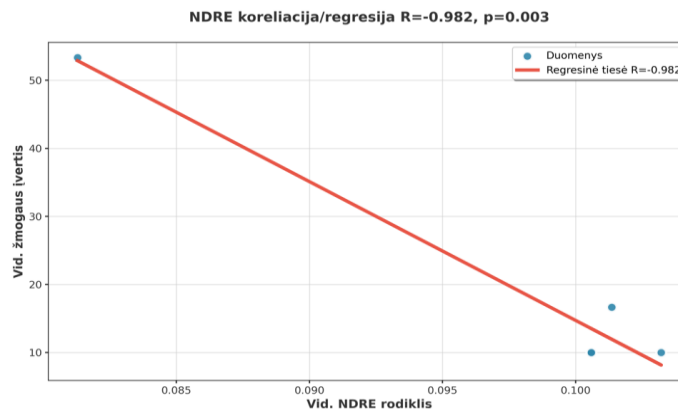


Šaltinis: autoriaus sudaryta (2024)
Source: compiled by the author (2024)

4 pav. NDVI indekso koreliacijos regresijos grafikas
Fig. 4. Correlation and regression graph of the NDVI index

QGIS programa paskaičiuotų NDRE indeksų kiekvieno varianto vidurkiai tokie: pirmojo kontrolinio varianto – 0,081, kiti variantai, atitinkamai: antro – 0,103, trečio – 0,100, ketvirto – 0,102 ir penkto – 0,100.

NDRE indekso koreliacijos grafikas (žr. 5 pav.) rodo stiprią neigiamą koreliaciją tarp NDRE indekso ir vizualinio vertinimų vidurkių kintamojo, su $r = -0,982$ ir $p = 0,003$. Koreliacijos koeficientas rodo beveik tobulą atvirkštinę ryšį (artimą -1), o maža p-reikšmė patvirtina statistinį reikšmingumą ($p < 0,05$). Regresijos tiesės $R^2 \approx 0,964$ – paaiškina 96,4 % variacijos.

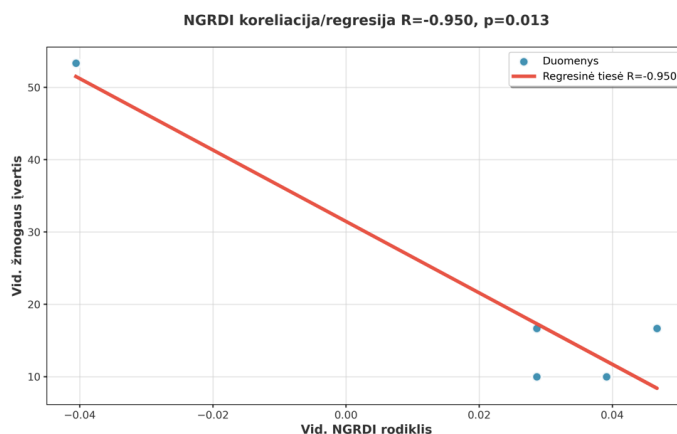


Šaltinis: autoriaus sudaryta (2024)
Source: compiled by the author (2024)

5 pav. NDRE indekso koreliacijos regresijos grafikas
Fig. 5. Correlation and regression graph of the NDRE index

QGIS programa paskaičiuotų NGDRI indeksų kiekvieno pakartojimo vidurkiai tokie: pirmojo kontrolės – 0,040, kiti pakartojimai, atitinkamai: antro – 0,039, trečio – 0,046, ketvirto – 0,028 ir penkto – 0,026.

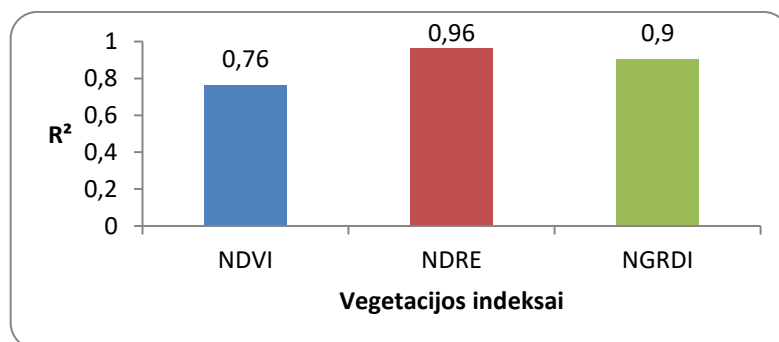
NGRDI indekso koreliacijos regresijos grafikas (žr. 6 pav.) parodo stiprią teigiamą koreliaciją tarp NGRDI ir vizualinio vertinimų vidurkių kintamojo, su $r = 0,950$ ir $p = 0,013$. Koreliacijos koeficientas rodo artimą tobulam tiesioginiam ryšiui, o p-reikšmė patvirtina statistinį reikšmingumą ($p < 0,05$). Regresijos parametrai: nuolydis = 0,937673, skersmuo = 31,4602. $R = 0,950$ reiškia ~90 % variacijos paaiškinama tiesine regresija.



Šaltinis: autoriaus sudaryta (2024)
Source: compiled by the author (2024)

6 pav. NGRDI indekso koreliacijos regresijos grafikas
Fig. 6. Correlation and regression graph of the NGRDI index

Trijų indeksų determinacijos koeficientų, kurie nurodo, kokią dalį tiriamo rodiklio variacijos paaiškina regresijos modelis palyginimo duomenys (žr. 7 pav.), vizualiai išryškina skirtumus tarp skirtingų indeksų reikšmių, gautų statistinės analizės metu tiriant surinktus duomenis iš lauko bandymo.



Pastaba: R^2 – determinacijos koeficientas, rodantis, kokią dalį tiriamo rodiklio variacijos paaiškina regresijos modelis
Note: R^2 – coefficient of determination indicating the proportion of variance in the analyzed variable explained by the regression model.

7 pav. Vegetacijos indeksų (NDVI, NDRE ir NGRDI) determinacijos koeficientų (R^2) palyginimas
Fig. 7. Comparison of determination coefficients (R^2) of vegetation indices (NDVI, NDRE and NGRDI)

Išvados

1. Įvertinus dviem skirtingais būdais surinktus fungicidų efektyvumo duomenis prieš bulvių marą paaiškėjo, kad žmogaus atliktų vertinimo rezultatai skiriasi nuo to, kokius duomenis gali pateikti nuotoliniu būdu valdomi orlaiviai.
 2. Palyginus tris gautus indeksus nustatyta, kad stipriausią ryšį su vizualinio vertinimo gautais duomenimis parodė NDRE indeksas, kuris turėjo didžiausią determinacijos koeficientą ir koreliacijos stiprumą. NGRDI taip pat parodė labai stiprų ryšį, tačiau jis buvo šiek tiek silpnesnis nei NDRE. NDVI indeksas pasižymėjo mažiausiu ryšio stiprumu tarp analizuotų indeksų.
 3. Remiantis rezultatais nustatyta, kad tiriamoje situacijoje NDRE indeksas yra tinkamiausias augalų būklės vertinimui, nes jis geriausiai paaiškina tiriamo rodiklio variaciją.
 4. Remiantis pirminiais duomenimis nustatyta, kad bepiločio orlaivio surinkti duomenys vegetacijos indeksui NDRE galėtų pakeisti ir žmogaus vizualinį vertinimą.
- Pateiktos išvados leidžia manyti, kad bepiločiu orlaiviu surinkti duomenys atitinka žmogaus surinktus duomenis, todėl vizualinį žmogaus atliktą vertinimą būtų galima pakeisti naudojant vieną populiariausią šiuolaikinę technologiją – bepiločius orlaivius. Tačiau norint tiksliai įvertinti tokio pakeitimo reikšmę, rekomenduojama atlikti bandymus įvertinant finansinių kaštų ir laiko, darbo sąnaudų skirtumus tarp šių dviejų vertinimo metodų.

Literatūra

1. Benavent-Celma, C., López-García, N., Ruba, T., Ściślak, M. E., Street-Jones, D., van West, P., ... & Witzell, J. (2022). Current practices and emerging possibilities for reducing the spread of oomycete pathogens in terrestrial and aquatic production systems in the European Union. *Fungal Biology Reviews*, 40, 19-36.
2. Bock, C. H., Chiang, K. S., & Del Ponte, E. M. (2022). Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology*, 47(1), 25-42.
3. Charamba, V., Lutaaya, E., Shihepo, S. 2023. Common mistakes and misuse of statistics in agricultural experiments and guidelines on how to avoid them-A commentary. *Makerere University Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 12(1), 23-38.
4. Europos parlamento ir tarybos reglamentas (EB) Nr. 1107/2009. 2009 m. spalio 21 d. dėl augalų apsaugos produktų pateikimo į rinką ir panaikinantį Tarybos direktyvas 79/117/EEB ir 91/414/EEB. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1107> (žiūrėta 2026-03-21).
5. Finlayson, G. D., Hordley, S. D., & Hubel, P. M. (2002). Color by correlation: A simple, unifying framework for color constancy. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(11), 1209-1221.
6. Lelong, C. C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbe, S., Baret, F. 2008. *Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots*. Basel, p. 2. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/s08053558> (žiūrėta 2026-03-01).
7. Loaiza, D. M. (2023). *Awesome Spectral Indices for Google Earth Engine*. GitHub repository. Prieiga per internetą: <https://github.com/awesome-spectral-indices/awesome-spectral-indices> (žiūrėta 2026-03-01).
8. Lynch, P. B. (1966). *Conduct of field experiments* (p. 154). Wellington: New Zealand Department of Agriculture.
9. Madden, L. V., & Hughes, G. (1999). Sampling for plant disease incidence. *Phytopathology*, 89(11), 1088-1103.
10. Marcianò, D., & Toffolatti, S. L. (2023). Methods for fungicide efficacy screenings: multiwell testing procedures for the oomycetes *Phytophthora infestans* and *Pythium ultimum*. *Microorganisms*, 11(2), 350.
11. Nebiker, S., Lack, N., Abächerli, M., & Läderach, S. (2016). Light-weight multispectral UAV sensors and their capabilities for predicting grain yield and detecting plant diseases. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 963-970..
12. Tadesse, T. 2023. *Principles of Field Experimentation*. Nairobi, p. 18. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/372216041_Principles_of_Field_Experimentation (žiūrėta 2024-12-10).
13. Warton, D. I., & Hui, F. K. (2011). The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology. *Ecology*, 92(1), 3-10..
14. Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017(1), 1353691.
15. Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li, Z., Huang, Y., Yu, H., Xu, B., Yang, X., Zhu, D., Zhang, X. 2017. Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*, 8, 1111. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01111> .
16. Zuzulova, V., & Vido, J. (2018). Normalized difference vegetation index as a tool for the evaluation of agricultural drought. *Ecocycles*, 4(1), 83-87.

STUDIES ON THE SPREAD OF LATE BLIGHT (*PHYTOPHTORA INFESTANS*) USING INNOVATIVE MONITORING TECHNOLOGIES

Summary

The article examines the assessment of the spread and intensity of late blight (*Phytophthora infestans*) in potato crops using visual field assessment and unmanned aerial vehicle (UAV)-based remote sensing technologies. The study was conducted in a fungicide efficacy field experiment installed in 2024. The experiment consisted of three test variants, each variant having five test plots. The intensity of late blight was assessed visually using a 0–100 point scale, where 0 means the absence of disease symptoms, and 100 means very severe plant damage.

During the same period, the crop was photographed using a multispectral unmanned aircraft DJI Mavic 3M Enterprise. Multispectral images were recorded in different bands of the electromagnetic spectrum, allowing to assess the condition of plants and vegetation changes. The collected data were processed using webODM software, and the vegetation indices NDVI, NDRE and NGRDI were calculated in the QGIS program for each test plot.

Vegetation index data were compared with visual field assessment results to assess the potential of remote sensing technologies for plant disease monitoring. Statistical data analysis was performed using Microsoft Excel using correlation analysis. The results of the study showed that vegetation indices can be used to assess the spread and intensity of potato blight by remote sensing.

Keywords: experiment, unmanned aerial vehicles, vegetation index, NDVI, NDRE, NGRDI.