

ŠONINIO VĖJO GREIČIO ĮTAKA DRONO PURKŠTUVO SUKURIAMAM ORO SRAUTO GREIČIUI

Vladas RANCAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas v.rancas1998@gmail.com

Michail SEMENIŠIN, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas michailsem@gmail.com

Dainius STEPONAVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas dainius.steponavicius@vdu.lt

Santrauka

Purškiant iš nepilotuojamų orlaivių, vėjo greitis, kryptis ir skrydžio greitis bei aukštis yra pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką išpurkštų lašelių dreifui. Šio tyrimo tikslas – nustatyti šoninio vėjo greičio įtaką drono purkštuvu sparnuočių sukuriamam žemyn nukreiptam oro srauto greičiui. Tirtas keturių propelerių dronas purkštuvu. Tyrimai atlikti 2022 m. VDU Ž. ū. mašinų technologinių procesų laboratorijoje ir vidiniame kieme. Dirbtiniam oro srautui sukurti naudotas dviejų ašinių ventiliatorių stendas. Variklių velenų ir sparnuočių sukimosi dažnis, o kartu ir oro srauto greitis buvo keičiami dviem tinklo įtampos dažnio keitikliais. Oro srauto greičio matavimams atlikti naudoti termoanemometriniai jutikliai, kurie pritvirtinti 20 cm aukštyje nuo žemės. Drono purkštuvu skrydžio aukščiai buvo du, trys ir keturi metrai nuo žemės paviršiaus, o šoninio oro srauto greitis 2 m s^{-1} ir 10 m s^{-1} . Kiekvienas bandymas pakartotas po 3 kartus. Tyrimais nustatyta, kad keturių propelerių drono purkštuvu žemyn nukreipto oro srauto greitis (0,2 m aukštyje nuo žemės paviršiaus) priklauso nuo skrydžio aukščio ir šoninio oro srauto greičio. Kuo drono purkštuvu skrydžio aukštis yra didesnis, tuo šoninio oro srauto greičio įtaka žemyn nukreiptam oro srauto greičiui yra didesnė. Šoninio oro srauto iki 10 m s^{-1} greitis, dronui purkštuvui skrendant 2 m s^{-1} greičiu 2 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreiptam oro srauto greičiui įtakos neturėjo. Drono skridimo aukštį padidinus iki 4 m, o šoninio oro srauto greitį – iki 10 m s^{-1} , sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis reikšmingai sumažėjo. Todėl šoninio oro srauto greičiui siekiant 10 m s^{-1} ribą, rekomenduotina mažinti drono purkštuvu darbinį aukštį.

Reikšminiai žodžiai: dronas, purškimas, lašelių dreifas, vėjo greitis.

Įvadas

Nepilotuojami orlaiviai ar dronai šiuolaikiniame žemės ūkyje gali būti naudojami labai plačiai: laistymo ir drenažo įrangai skenuoti ir diagnozuoti, augalų optinėms savybėms tirti, kurių pagrindu sudaromi tręšimo žemėlapiai, dirvų ar ganyklų paviršiaus temperatūrai matuoti bei drėgmės pokyčiams fiksuoti, pesticidams, augimo regulatoriams, skystoms mineralinėms trąšoms ir defoliantams išpurkšti ir tam tikroms granulėms barstyti ar sėti (Semenišin et al., 2021; Allred et al., 2021; Marzuki et al., 2021).

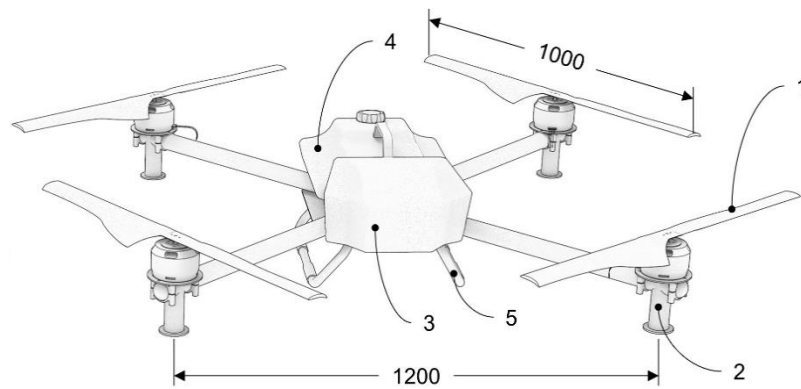
Skirtingai nuo įprastų augalų apsaugos mašinų, tokių kaip tradiciniai traktoriniai ar savaeigiai purkštuvai, dronų purkštuvų propeleriai sukuria žemyn nukreiptą oro srauto lauką, kuriuo pesticidai patenka ant tikslinių augalų ir mažiau lašelių nunešama pavėjui (t. y. mažiau dreifuoja). Drono propelerių sukuriama oro srauto intensyvumas gali būti keičiamas reguliuojant propelerių sukimosi dažnį. Besisukdami propeleriai sukuria dronui reikiamą keliamąją galią ir judėjimą trimatėje erdvėje (Zhan et al., 2022). Purškimo dronais technologija yra gana nauja, todėl išsamių tyrimų apie dronų purkštuvų rotorių oro srauto poveikį išpurškiamų lašelių dreifui dar nėra pakankamai atlikta.

Pasak S. Wen et al. (2019), pesticidų poveikis dėl purškimo metu susidariusio lašelių dreifo gali turėti neigiamą poveikį gyventojams, gyvuliams ir vandens ekosistemoms. Purškiant iš nepilotuojamų orlaivių, vėjo greitis, kryptis ir skrydžio greitis bei aukštis yra pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką išpurkštų lašelių dreifui. Tyrimais nustatyta, kad mažesnio skersmens lašeliai mažiau atsparūs jų nunešimui pavėjui (Jomantas et al., 2023). Kadangi vidutinis žemės ūkio dronų išpurškiamų lašelių skersmuo yra mažesnis nei tradiciniais purkštuvais išpurškiamų, todėl šoninio vėjo įtakos dronų purkštuvų darbui tyrimai yra ypač aktualūs.

Tyrimo tikslas – nustatyti šoninio vėjo greičio įtaką drono purkštuvu sparnuočių sukuriamam žemyn nukreiptam oro srauto greičiui.

Tyrimų objektas ir metodai

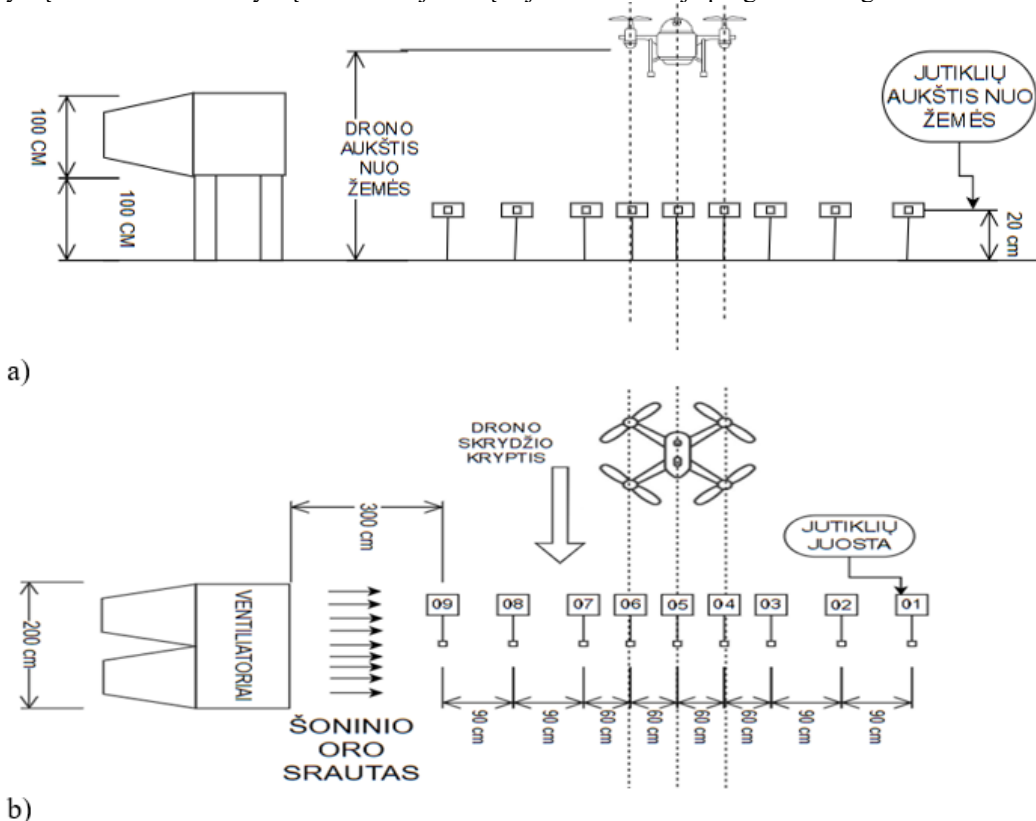
Tyrimo objektas. Keturių propelerių dronas purkštuvu XAG XP 2020 (1 pav.), kurio ilgis yra 2200 mm, plotis – 2200 mm, o aukštis – 522 mm (kai propeleriai išlankstyti ir įstatyta 20 litrų skysčio talpa). Didžiausia keliamą masė siekia 48 kg. Drono purkštuvu vandens apsaugos klasė IP6. Po kiekvienu iš keturių propelerių sumontuota po rotorinį purkštuką. Darbinis purškimo plotis gali būti keičiamas nuo 3,5 iki 7,0 m, o išpurškiamų lašelių vidutinis skersmuo – nuo 90 iki 550 μm .



1 pav. Dronaspurkštuvus: 1 – propeleris; 2 – purškukas; 3 – baterija; 4 – purškimo tirpalo talpa; 5 – atramos
Fig. 1. Sprayer drone: 1 – propeller; 2 – nozzle; 3 – battery; 4 – spray solution capacity; 5 - supports

Tyrimai atlikti 2022 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros Ž. ū. mašinų technologinių procesų laboratorijoje ir vidiniame kieme. Dirbtiniam oro srautui sukurti naudotas dviejų ašinių ventiliatorių ML 1004 DT stendas (2 pav.). Kiekvienas iš ventiliatorių sudarytas iš dešimties plastikinių menčių, kurių sparnuočių skersmuo yra 1 metras ir yra sukami dviejų 15 kW galios variklių. Jų velenų ir sparnuočių sukimosi dažnis, o kartu ir oro srauto greitis keičiami dviem tinklo įtampos dažnio keitikliais Delta VFDC2000. Įtampos dažnio keitikliais nustatyti tokie ventiliatorių sparnuočių sukimosi dažniai, kurie atitiktų norimą oro srauto greitį. Pavyzdžiui, nustačius 9 Hz įtampos dažnį, oro srauto greitis siekia 2 m s^{-1} . Dažnį padidinus iki 13 Hz, 17 Hz, 22 Hz ar 30 Hz, oro srauto greitis padidėja atitinkamai iki 4 m s^{-1} , 6 m s^{-1} , 8 m s^{-1} ir 10 m s^{-1} .

Oro srauto greičio matavimams atlikti naudoti termoanemometriniai jutikliai FS5A, kurie pritvirtinti 20 centimetrų nuo žemės aukštyje, sudarydami 9 jutiklių juostą (2 pav., a), statmeną drono skrydžio kryptį. Oro srauto matavimo duomenys mikrovaldiklio ir stiprintuvo pagalba USB duomenų perdavimo kabeliu perduodami kompiuteryje esančiai programinei įrangai *AirLab* (programos autorius A. Andriušis). Programa nustatytais laiko intervalais atlieka vidutinės vertės nustatymą kiekvienam iš devynių oro srauto jutiklių ir juos atvaizduoja programos lange.



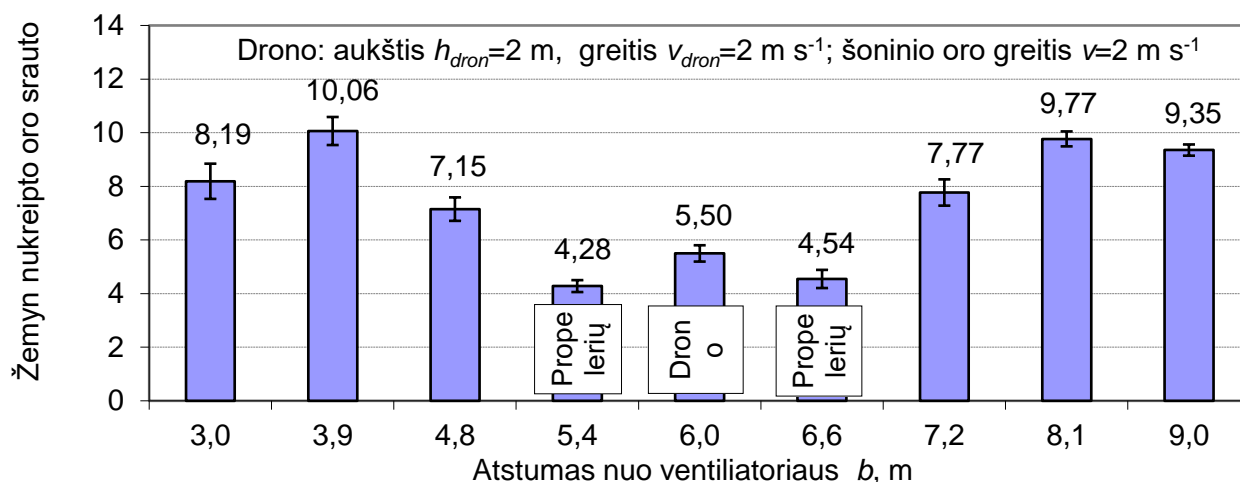
2 pav. Drono purkštuvu bandymo schema: a) vaizdas iš šono; b) vaizdas iš viršaus
Fig. 2. Drone-sprayer test diagram: a) side view; (b) top view

Bandymo sąlygos: tyrimai atlikti atviroje erdvėje; pasirinktas laikas, kai vėjas yra visiškai nurimęs (štilius); vėjo greičiui matuoti, kaip referencinis prietaisas, naudotas sparnelinis anemometras DELTAOHM DO9847.

Tyrimų metu pasirinkti drono purkštuvu skrydžio aukščiai buvo du, trys ir keturi metrai nuo žemės paviršiaus, o šoninio oro srauto greitis 2 m s^{-1} ir 10 m s^{-1} . Kiekvienas bandymas pakartotas po 3 kartus. Tyrimų duomenys apdoroti statistiškai: apskaičiuoti aritmetiniai vidurkiai ir pasikliauties intervalai (pasirinkus 95 % tikimybę).

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

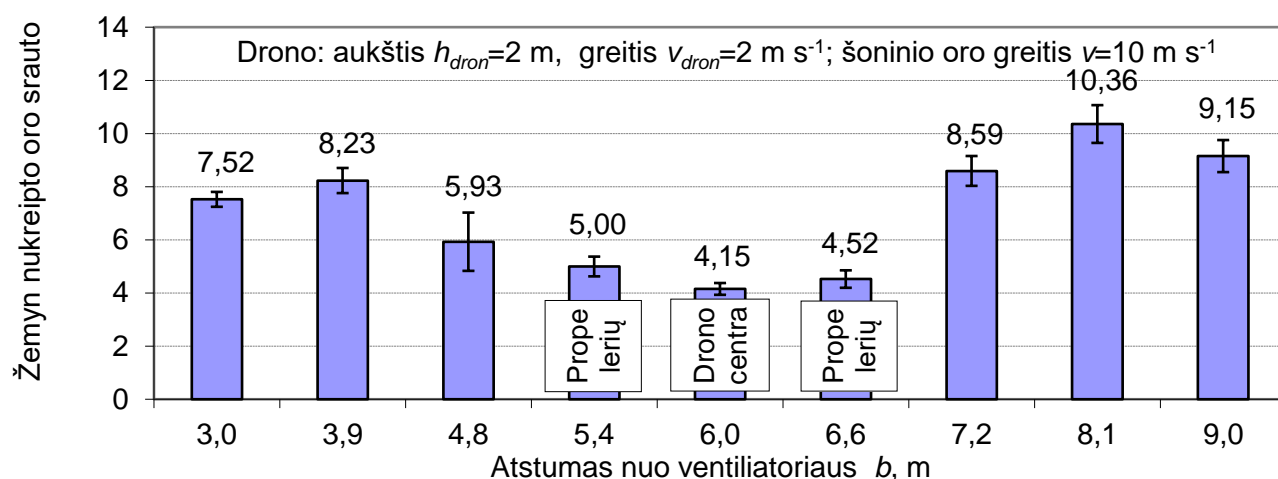
Pirmasis tyrimų variantas (3 pav.), kai drono purkštuvu skridimo aukštis buvo 2 m nuo žemės, o greitis 2 m s^{-1} , parodė, kad 2 m s^{-1} stiprumo ventiliatorių generuojamas šoninis oro srautas nedaro ženklios įtakos drono sparnuočių sukuriamo oro srauto pasiskirstymui. 3 paveiksle pateiktų duomenų skaitinės reikšmės labai nežymiai skyrėsi nuo duomenų, kai dronas purkštuvu nebuvo veikiamas šoninio vėjo (duomenys šiame straipsnyje nepateikti). Pasiektos oro srauto greičio maksimalios skaitinės vertės ties 3,9 m ir 8,1 m atstumais nuo ventiliatorių apribojo drono darbinį plotį, kuris šiuo atveju buvo 4 m. Tokiame plotyje išpurkšti preparatai buvo nukreipiami su oro srautu link augalų. Esant tokiam šoninio vėjo greičiui, iš drono purškiamo tirpalo nunešimo pavėjui, t. y. dreifo formavimosi, tikimybė yra nedidelė. Ties drono centru srauto intensyvumas buvo žymiai sumažėjęs, greitis buvo dvigubai mažesnis lyginant su pasiektais maksimumais.



3 pav. Drono -purkštuvu, skrendančio 2 m s^{-1} greičiu 2 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis 0,2 m aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai šoninio oro srauto greitis 2 m s^{-1}

Fig. 3. The downwash flow velocity of the wings of a sprayer drone flying at 2 m s^{-1} at a height of 2 m, at a height of 0.2 m above the ground, with a lateral airflow velocity of 2 m s^{-1}

Padidinus šoninio oro srauto greitį iki 10 m s^{-1} (4 pav.), matyti, kad maksimumas, esantis arčiau ventiliatorių – 3,9 m atstumu, sumažėjo iki $8,23 \text{ m s}^{-1}$, bet išliko toje pačioje vietoje. Padidėjimas fiksuotas 8,1 m atstumu nuo ventiliatorių, maksimumas nežymiai padidėjo. Todėl galima teigti, kad dronas purkštuvu, reaguodamas į pasikeitusį šoninio vėjo greitį, automatiškai aktyvavo trajektorijos palaikymo mechanizmus, padidindamas propelerių sukimosi greitį ir taip užtikrindamas tikslių skrydį. Oro srauto greičio maksimumas padidėjo nuo $9,77 \text{ m s}^{-1}$ iki $10,36 \text{ m s}^{-1}$. Tai padeda išvengti rizikos pasireikšti dreifui.

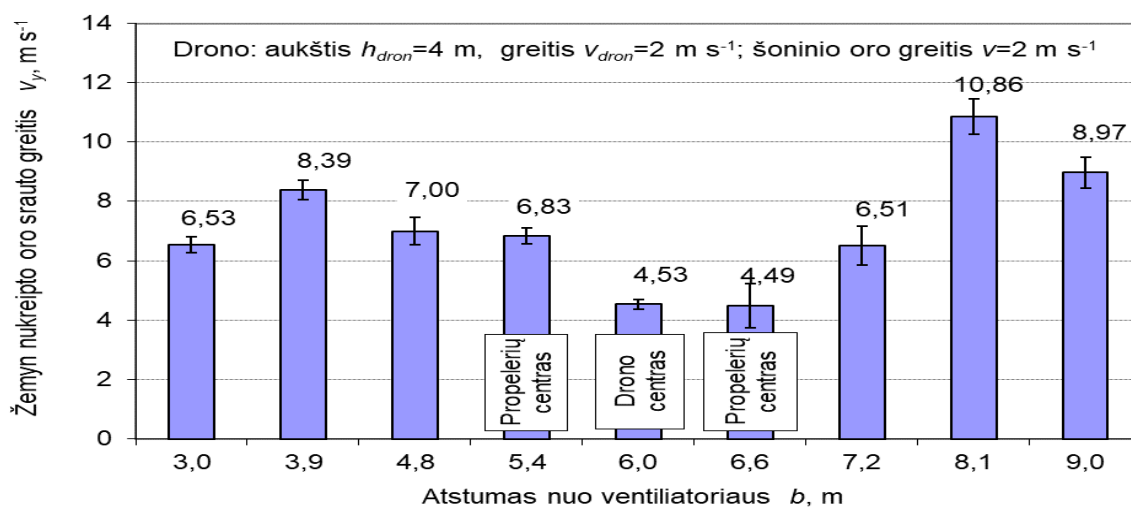


4 pav. Drono purkštuvu, skrendančio 2 m s^{-1} greičiu 2 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis 0,2 m aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai šoninio oro srauto greitis 10 m s^{-1}

Fig. 4. The downwash flow velocity of the wings of a sprayer drone flying at 2 m s^{-1} at a height of 2 m, at a height of 0.2 m above the ground, with a lateral airflow velocity of 10 m s^{-1}

Padidinus drono skrydžio aukštį iki 4 m, automatiškai sumažėjo ir drono oro srauto intensyvumas 0,2 m nuo žemės atstume. Taip šoninis oro srautas labiau veikia propelerių sukurtą srautą. Tai jau buvo galima pastebėti, kai drono srautą

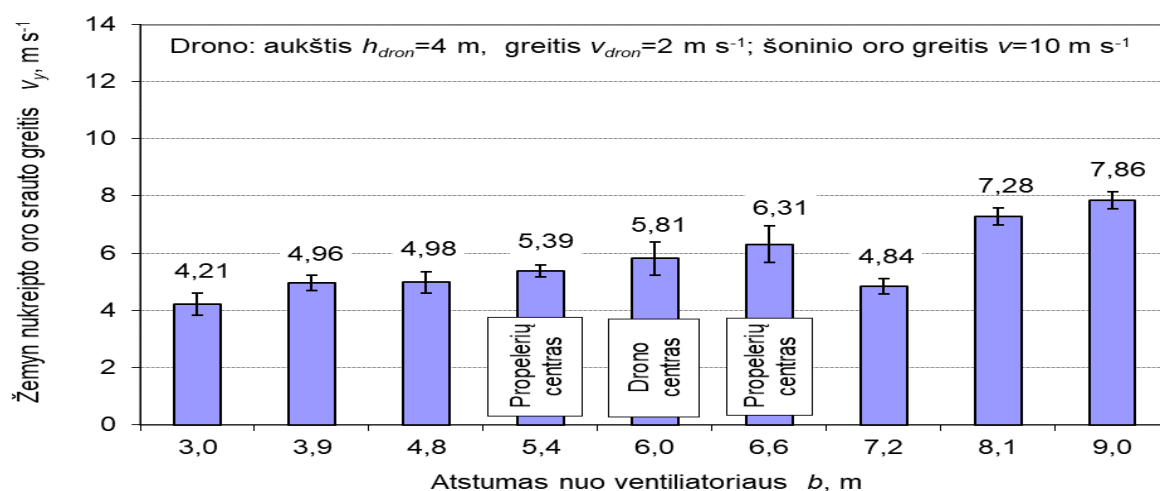
veikė vos 2 m s^{-1} šoninis oro srautas (5 pav.). Išmatuotas maksimumas, esantis $3,9 \text{ m}$ nuo ventiliatoriaus, padidinus drono aukštį dvigubai, sumažėjo nuo $10,06 \text{ m s}^{-1}$ iki $8,23 \text{ m s}^{-1}$. Antrasis srauto pikas išliko panašus arba nežymiai padidėjęs.



5 pav. Drono purkštuvu, skrendančio 2 m s^{-1} greičiu 4 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis $0,2 \text{ m}$ aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai šoninio oro srauto greitis 2 m s^{-1}

Fig. 5. The downwash flow velocity of the wings of a sprayer drone flying at 2 m s^{-1} at a height of 4 m , at a height of $0,2 \text{ m}$ above the ground, with a lateral airflow velocity of 2 m s^{-1}

Didžiausias drono purkštuvu sukuriama oro srauto pasiskirstymo pokytis buvo jam skrendant 4 m aukštyje ir kai jo srautą veikė 10 m s^{-1} greičio ventiliatorių generuojamas šoninio vėjo srautas (6 pav.). Srauto pasiskirstymas pasidarė tolygiai didėjantis tolstant nuo ventiliatorių. Maksimumas, buvęs arčiau ventiliatorių ($3,9 \text{ m}$ atstumu), šiuo atveju jau nebuvo fiksuojamas. Maksimumas, kuris formavosi $8,1 \text{ m}$ atstumu, pasislinko į 9 m atstumą arba toliau už matavimo ribų. Taip susidaro sąlygos dreifui atsirasti.



6 pav. Drono purkštuvu, skrendančio 2 m s^{-1} greičiu 4 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis $0,2 \text{ m}$ aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai šoninio oro srauto greitis 10 m s^{-1}

Fig. 6. The downwash flow velocity of the wings of a sprayer drone flying at 2 m s^{-1} at a height of 4 m , at a height of $0,2 \text{ m}$ above the ground, with a lateral airflow velocity of 10 m s^{-1}

Įvertinus gautus srauto pasiskirstymo duomenis, galima kelti hipotezę, kad didžiausią įtaką dreifui susidaryti turi ne šoninio vėjo stiprumas, o tinkamo purškimo aukščio pasirinkimas. Didesnis skridimo aukštis lemia tai, kad drono purkštuvu sukuriamas oro srautas $0,2 \text{ m}$ metrų aukštyje nuo žemės nėra pakankamai intensyvus, kad nugalėtų šoninio vėjo įtaką. Todėl kylant šoninio vėjo gūsių stiprumui rekomenduotina mažinti drono purkštuvu darbinį aukštį.

Išvados

1. Tyrimais nustatyta, kad keturių propelerių drono purkštuvu žemyn nukreipto oro srauto greitis ($0,2 \text{ m}$ aukštyje nuo žemės paviršiaus) priklauso nuo skrydžio aukščio ir šoninio oro srauto greičio. Kuo drono purkštuvu skrydžio aukštis yra didesnis, tuo šoninio oro srauto greičio įtaka žemyn nukreiptam oro srauto greičiui yra didesnė.
2. Nustatyta, kad šoninio oro srauto iki 10 m s^{-1} greitis, dronui purkštuvui skrendant 2 m s^{-1} greičiu 2 m aukštyje, sparnuočių žemyn nukreiptam oro srauto greičiui įtakos neturėjo. Drono skridimo aukštį padidinus iki 4 m , o šoninio oro

srauto greitį iki 10 m s^{-1} , sparnuočių žemyn nukreipto oro srauto greitis reikšmingai sumažėjo. Todėl šoninio oro srauto greičiui siekiant 10 m s^{-1} ribą, rekomenduotina mažinti drono purkštuvo darbinį aukštį.

Literatūra

1. Allred, B., Martinez, L., Fessehazion, M. K., Rouse, G., Koganti, T., Freeland, R., Featheringill, R. 2021. Time of day impact on mapping agricultural subsurface drainage systems with UAV thermal infrared imagery. *Agricultural Water Management*, Vol. 256, 107071, p. 1–13.
2. Jomantas, T., Lekavičienė, K., Steponavičius, D., Andriušis, A., Zaleckas, E., Zinkevičius, R., Popescu, C. V., Salceanu, C., Ignatavičius, J., Kemzūraitė, A. 2023. The influence of newly developed spray drift reduction agents on drift mitigation by means of wind tunnel and field evaluation methods. *Agriculture*, Vol. 13(2), p. 1–26.
3. Marzuki, O. F., Teo, E. Y. L., Rafie, A. S. M. 2021. The mechanism of drone seeding technology: a review. *The Malaysian Forester*, Vol. 84(2), p. 349–358.
4. Semenišin, M., Steponavičius, D., Zinkevičius, R. 2021. Dronų panaudojimo žemės ūkyje galimybių analizė. *Žmogaus ir gamtos sauga 2021: mokslo straipsnių rinkinys*. VDU, LMA. Kaunas-Akademija, p. 17–20.
5. Wen, S., Han, J., Ning, Z., Lan, Y., Yin, X., Zhang, J., Ge, Y. 201). Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 166, 105036, p. 1–21.
6. Zhan, Y., Chen, P., Xu, W., Chen, S., Han, Y., Lan, Y., Wang, G. (2022). Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. *Biosystems Engineering*, Vol. 216, p. 32–45

THE INFLUENCE OF LATERAL WIND VELOCITY ON THE DOWNWASH FLOW AIR VELOCITY GENERATED BY ROTORS OF SPRAYING DRONE

Summary

In the case of unmanned aerial vehicle (UAV) spraying, wind speed, wind direction and flight speed and altitude are the main factors influencing the spray drift. The aim of this study is to determine the effect of lateral wind speed on the downward airflow velocity generated by drone wings. A four-propeller spraying drone was investigated. The research was carried out in 2022 at Vytautas Magnus University. A two axial fans stand was used to create lateral airflow. The speed of the motor shafts and impellers, and thus the air flow rate, are varied by two frequency converters. Thermo-anemometric sensors were used to measure the air velocity and were mounted at a height of 20 cm from the ground. The flight altitudes of the drone were two, three and four metres from the ground and the lateral air velocities were 2 m s^{-1} and 10 m s^{-1} . Each test was repeated 3 times. The studies showed that the downward airspeed of a four-propeller drone (at 0.2 m from the ground) is dependent on the flight height and the lateral airspeed. The higher the flight altitude of the drone, the greater the influence of the lateral airflow velocity on the downwash velocity. Lateral airflow velocities of up to 10 m s^{-1} did not affect the downward airspeed when the drone was flying at 2 m s^{-1} at a height of 2 m. Increasing the flying height of the drone to 4 m and the lateral airspeed to 10 m s^{-1} significantly reduced the downwash velocity. Therefore, a reduction in the drone's operating altitude is advisable as the lateral flow rate reaches the 10 m s^{-1} limit.

Keywords: drone, spraying, spray drift, wind velocity.