

AUTONOMINĖS VEJAPJOVĖS PEILIUKŲ DILIMO TYRIMAS

Ignas BALINSKAS, Vytauto didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: ignas.balinskas@vdu.lt
Egidijus KATINAS, Vytauto didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: egidijus.katinas@vdu.lt

Santrauka

Autonominės robotizuotos vejapjovės vis plačiau naudojamos vejų priežiūrai, todėl svarbu įvertinti jų pjovimo elementų patvarumą ir atsparumą dilimui. Šio tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų gamintojų autonominių vejapjovių peiliukų dilimą realiomis eksploatacijos sąlygomis. Tyrimas atliktas naudojant dvi robotines vejapjoves „Husqvarna Automower 450X NERA“, kurios dirbo dviejuose atskiruose pjovimo plotuose. Eksperimentas vyko 2025 m. liepos 14 d.–rugpjūčio 18 d. ir buvo suskirstytas į penkis aštuonių parų intervalus, kurių metu buvo naudojami penkių skirtingų gamintojų peiliukai. Nusidėvėjimas buvo vertinamas pagal peiliukų masės netekimą ir apskaičiuotas dilimo intensyvumas mg/km pagal roboto nuvažiuotą atstumą. Tyrimo rezultatai parodė, kad skirtingų gamintojų peiliukai pasižymi nevienodu atsparumu dilimui. Taip pat nustatyta, kad mechaniniai pjovimo briaunos pažeidimai gali reikšmingai padidinti nusidėvėjimą. Gauti rezultatai rodo, kad peiliukų medžiagos kietumas turi svarbią įtaką jų eksploataciniam patvarumui.

Reikšminiai žodžiai: autonominės vejapjovės, peiliukų dilimas, robotizuota vejos priežiūra, pjovimo įrankiai, medžiagos kietumas.

Įvadas

Autonominės robotizuotos vejapjovės vis dažniau naudojamos vejų priežiūrai tiek privačiose teritorijose, tiek viešosiose erdvėse. Tokie įrenginiai leidžia automatizuoti vejos pjovimo procesą ir užtikrina nuolatinę vejos priežiūrą. Robotinės vejapjovės dirba savarankiškai ir reguliariai pjauna žolę, todėl jų pjovimo peiliukai eksploatacijos metu nuolat patiria mechaninį ir abrazyvinį poveikį. Dėl šios priežasties peiliukų nusidėvėjimas yra svarbus veiksnys, galintis turėti įtakos pjovimo kokybei, įrangos veikimui ir priežiūros dažniui.

Mokslinėje literatūroje nurodoma, kad pjovimo įrankių nusidėvėjimą lemia įvairūs veiksniai, tokie kaip medžiagos savybės, kietumas, darbo sąlygos ir kontaktas su kietomis dalelėmis ar kitais objektais (Lau, 2000; Malvajerdi et al., 2023). Taip pat pastebima, kad didesnio kietumo medžiagos dažniausiai pasižymi didesniu atsparumu dilimui (Wang et al., 2023). Tačiau pernelyg didelis kietumas gali padidinti medžiagos trapumą ir sukelti mikroįtrūkimus ar briaunos ištrupėjimą (Saastamoinen, 2020).

Apžvelgus literatūrą pastebėta, kad autonominių robotinių vejapjovių peiliukų nusidėvėjimas realiomis darbo sąlygomis dar nėra plačiai ištirtas.

Didėjantis robotinių vejapjovių panaudojimas skatina įvertinti skirtingų gamintojų peiliukų atsparumą dilimui ir jų eksploatacines savybes.

Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų gamintojų autonominių vejapjovių peiliukų dilimą realiomis eksploatacijos sąlygomis.

Išskeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išmatuoti skirtingų gamintojų peiliukų kietumą.
2. Įvertinti peiliukų nudilimą.
3. Nustatyti peiliukų kietumo ir dilimo intensyvumo priklausomybes.

Tyrimų objektas ir metodai

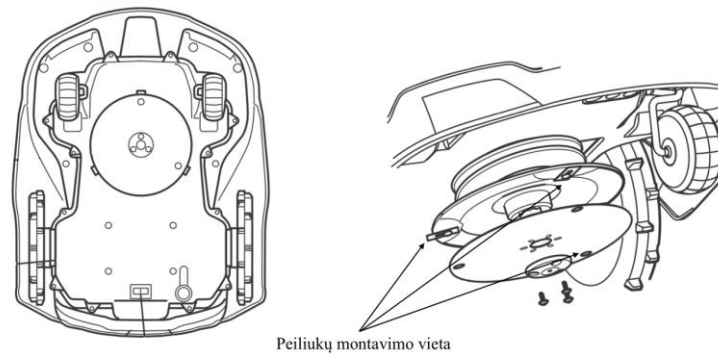
Tyrimo objektas – autonominių vejapjovių peiliukai ir jų dilimas eksploatacijos metu.

Tyrimas atliktas naudojant dvi autonomines robotizuotas vejapjoves „Husqvarna Automower 450X NERA“. Šios vejapjovės yra akumuliatorinės robotizuotos žolės pjovimo sistemos, kurios veikia autonomiškai ir periodiškai grįžta į įkrovimo stotelę baterijai įkrauti. Roboto pjovimo sistema sudaryta iš besisukančio disko, kuris sukasi abejomis kryptimis, su trimis laisvai pasisukančiais peiliukais (žr. 1 pav.). Maksimalus pjovimo disko sukimosi greitis siekia 2700 aps./min. Roboto pjovimo plotis yra 240 mm.

Eksperimento metu robotai dirbo dviejuose gretimuose pjovimo plotuose, kuriuose buvo užtikrintos vienodos vejos priežiūros sąlygos. Tyrimo teritorijoje buvo pašalintos galimos kliūtys, tokios kaip akmenys, šakos ar kiti objektai, galintys turėti įtakos peiliukų dilimui. Abu robotai dirbo vienu metu, nepertraukiamu režimu visą parą (24 val. per parą), išskyrus laikotarpį, kai buvo kraunamas akumuliatorius. Pjovimo aukštis abiem robotams buvo nustatytas vienodas – 35 mm.

Robotų pjovimas buvo atliekamas padriku būdu, kai robotas pjauna veją atsitiktine trajektorija įvairiomis kryptimis. Toks pjovimo principas užtikrina tolygų vejos pjovimą visame plote. Remiantis roboto eksploatacijos duomenimis ir skaičiavimais, nustatyta, kad per vieną tyrimo intervalą robotas teoriškai pilnai padengė visą pjovimo plotą.

keliais pjovimo ciklais. Skaičiavimai parodė, kad X zonoje visas pjovimo plotas pilnai pravažiuotas 17,50 kartų, o Y zonoje – 9,80 kartų per 8 parų laikotarpį.



Šaltinis: sudaryta autorių.
Source: Made by author.

1 pav. Autonominė robotizuota vejapjovė Husqvarna Automower 450X NERA ir pjovimo peiliukų montavimo vieta.
Fig. 1. Autonomous lawnmower Husqvarna Automower 450X NERA and mounting place of the cutting blades.

Robotų judėjimo greitis eksperimento metu siekė 0,4 m/s (1,44 km/val.). Robotų darbo parametrai buvo nustatyti remiantis eksploatacijos duomenimis ir skaičiavimais. Iš bendro 8 parų kalendorinio darbo laiko buvo atimtas akumuliatoriaus įkrovimo laikas, o realiam darbui įvertinti taikytas darbo efektyvumo koeficientas, atsižvelgiant į roboto judėjimo specifiką, įskaitant stabdymą, išibėgėjimą ir kliūčių apvažiavimą. Apskaičiuota, kad vieno roboto realus darbo laikas per 8 paras sudarė 126,93 val., o realus nuvažiuotas atstumas – 182,784 km. Šis atstumas buvo vienodas abiem robotams ir buvo naudojamas vertinant peiliukų dilimą nuvažiuoto atstumo atžvilgiu.

Tyrimas buvo atliktas 2025 m. liepos 14 d.–rugpjūčio 18 d. Tyrimo laikotarpis buvo suskirstytas į penkis eksploatacijos intervalus, kurių kiekvieno trukmė buvo 8 paras. Kiekviename intervale buvo naudojami skirtingo gamintojo peiliukai:

Tyrimo metu buvo naudojami penkių skirtingų gamintojų vejapjovių peiliukai, kurie straipsnyje žymimi raidėmis A, B, C, D ir E. Kiekvienas robotas vienu metu naudojo po tris to paties gamintojo peiliukus. Peiliukai buvo eksploatuojami 8 paras, po kurių buvo keičiami nauju kito gamintojo peiliukų komplektu.

Prieš montuojant į robotą kiekvienas peiliukas buvo individualiai pasveriamas laboratorinėmis svarstyklėmis „KERN EG 420-3NM“, kurių matavimo tikslumas yra 0,001 g. Siekiant identifikuoti peiliukus tyrimo metu, kiekvienas jų buvo pažymėtas individualiu įspaudu. Įspaudas buvo padaromas prieš svėrimą, kad žymėjimas neturėtų įtakos matuojamai masei.

Pasibaigus kiekvienam eksploatacijos intervalui peiliukai buvo nuimami, valomi ultragarsinėje vonelėje BANDELIN, siekiant pašalinti žolės, dirvožemio ir kitus nešvarumus, galinčius turėti įtakos masės matavimui. Po valymo kiekvienas peiliukas buvo dar kartą pasveriamas tomis pačiomis svarstyklėmis.

Peiliukų dilimas buvo nustatomas pagal masės skirtumą, tarp pradinės ir galutinės peiliuko masės:

$$\Delta m = m_0 - m_1;$$

čia:

m_0 – pradinė peiliuko masė, g;

m_1 – galutinė peiliuko masė, g.

Peiliukų dilimo intensyvumas W buvo apskaičiuojamas pagal nuvažiuotą atstumą:

$$W = \frac{\Delta m}{s};$$

čia:

W – peiliuko dilimas, mg/km;

Δm – peiliuko masės netekimas, mg;

s – roboto nuvažiuotas atstumas per tyrimo intervalą, km.

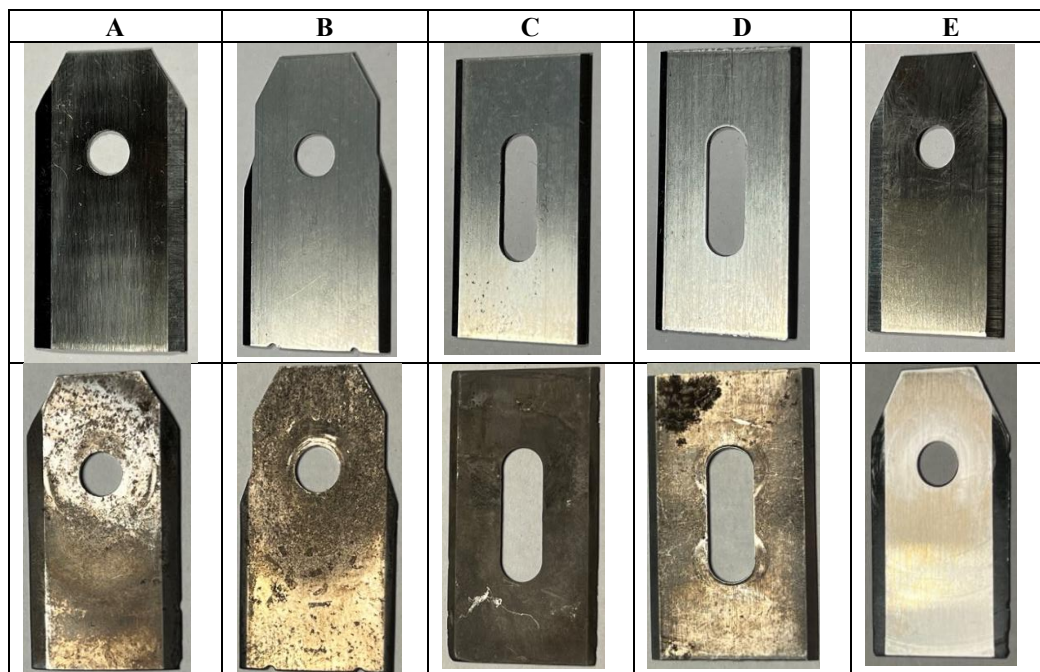
Kiekvienam robotui buvo skaičiuojamas trijų tuo pačiu metu naudotų peiliukų dilimo vidurkis. Papildomai peiliukų nusidėvėjimas buvo vertinamas vizualiai. Statistinė rezultatų analizė atlikta apskaičiuojant dilimo vidurkį, standartinį nuokrypį ir variaciją.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Roboto X zonoje gauti rezultatai (žr. 1 lentelę) parodė, kad didžiausias nusidėvėjimas nustatytas C tipo peiliukams – 0,129 mg/km. Kitų tipų peiliukų nusidėvėjimas buvo panašus ir svyravo nuo 0,0645 (A ir D peiliukai) iki 0,069 (B peiliukai) mg/km. Tai rodo, kad C tipo peiliukai šioje zonoje dėvėjosi beveik dvigubai greičiau nei kiti tirti peiliukai.

Roboto Y zonoje skirtumai tarp peiliukų buvo dar didesni. Didžiausias masės netekimas nustatytas C tipo peiliukams – 1,29 mg/km. Tai yra 15,7 karto didesnis nudilimas, lyginant su mažiausiai nudilusiais A peiliukais – 0,082 mg/km Y pjovimo zonoje. Apžiūrint peiliukus po eksperimento buvo pastebėta, kad jų pjovimo briaunos buvo stipriai

pažeistos ir vietomis aplūžinėjusios (žr. 1 pav.). Dėl šių mechaninių pažeidimų jų nusidėvėjimas galėjo būti gerokai didesnis.



Šaltinis: sudaryta autorių.
Source: Made by author.

1 pav. Skirtingų gamintojų autonominių vejapjovių peiliukai prieš ir po bandymo.

Fig. 2. Blades of autonomous lawn mowers from different manufacturers before and after testing.

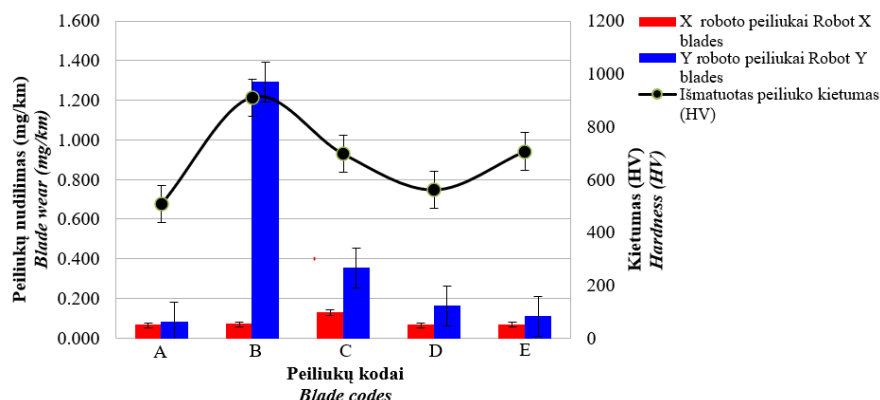
Kitų tipų peiliukai šioje Y zonoje nudilo daugiau nei A peiliukai, tačiau taip pat mažiau nei B peiliukai. C tipo peiliukų masės netekimas siekė 0,352 mg/km, D tipo – 0,16 mg/km, E tipo – 0,108 mg/km. Tai rodo, kad A tipo peiliukai buvo atspariausi dilimui iš visų tirtų variantų, būtent Y zonoje.

1 lentelė. Skirtingų gamintojų peiliukų masės praradimas ir kietumas.

Table 1. Mass loss and hardness of blades from different manufacturers.

Peiliuko kodas Blade code	Nusidėvėjimas X zonoje (mg/km) Wear in zone X (mg/km)	Nusidėvėjimas Y zonoje (mg/km) Wear in zone Y (mg/km)	Kietumas HV Hardness (HV)
A	0,065	0,082	506
B	0,069	1,290	910
C	0,129	0,352	696
D	0,065	0,160	561
E	0,068	0,108	706

2 paveiksle pateiktos peiliukų nudilimo ir kietumo reikšmės.



Šaltinis: sudaryta autorių.
Source: Made by author.

2 pav. Skirtingų gamintojų autonominių vejapjovių peiliukų nusidėvėjimo ir kietumo palyginimas.

Fig. 2. Comparison of wear and hardness of autonomous lawnmower blades from different manufacturers.

Teoriškai didesnio kietumo peiliukai paprastai nusidėvi mažiau. Tokia priklausomybė minima ir mokslinėje literatūroje, kur nurodoma, kad didesnis medžiagos kietumas dažniausiai didina atsparumą abrazyviniam dilimui (Malvajerdi et al., 2023; Wang et al., 2023).

Tačiau tyrimo metu pastebėta, kad mechaniniai pjovimo briaunos pažeidimai gali padidinti nusidėvėjimą net ir pakankamai kietų peiliukų atveju. Panašius rezultatus pateikia ir kiti tyrimai, kuriuose nurodoma, kad pjovimo įrankių nusidėvėjimą gali stipriai paveikti kontaktas su kietomis dalelėmis ar kitais objektais eksploatacijos metu (Lau, 2000; Refai et al., 2023).

Statistinė analizė buvo atlikta naudojant mažiausio reikšmingo skirtumo (LSD) metodą. Ji parodė, kad dalis skirtumų tarp skirtingų peiliukų tipų yra statistiškai reikšmingi. Tai reiškia, kad nustatyti nusidėvėjimo skirtumai nėra atsitiktiniai ir yra susiję su skirtingomis peiliukų savybėmis.

Gauti rezultatai leidžia įvertinti ir praktinę skirtingų peiliukų naudojimo reikšmę. Peiliukai, kurie nusidėvi lėčiau, gali būti naudojami ilgiau, juos reikia rečiau keisti, todėl mažėja eksploatacinės išlaidos. Tuo tarpu greičiau nusidėvintys peiliukai gali trumpiau tarnauti ir reikalauti dažnesnės priežiūros, o vejos pjovimo kokybė bus prastesnė. Panašios išvados pateikiamos ir kituose tyrimuose, kuriuose pabrėžiama, kad atsparumas dilimui yra svarbus veiksnys, lemiantis žemės ūkio technikos darbo efektyvumą ir eksploatacines sąnaudas (Wang et al., 2023).

Išvados

1. Įvertinus autonominių vejapjovių peiliukų nusidėvėjimą pagal masės netekimą nustatyta, kad atliekant bandymą dviejuose skirtinguose pjovimo plotuose, mažiausias peiliukų nudilimas buvo A ir D peiliukų X pjovimo plote, o Y pjovimo zonoje – A peiliukų. Didžiausias gautas peiliukų nudilimas X pjovimo zonoje yra C pjovimo peiliukų, o Y zonoje – B peiliukų.

2. Atliekant peiliukų nudilimo ir jų kietumo priklausomybės vertinimą, pastebėta, kad Y pjovimo zonoje gautas maksimalus masės netekimas (B peiliukai) nėra susijęs vien tik su dilimo procesu. Po bandymo šie peiliukai turėjo vizualiai matomus mechaninius pažeidimus (ištrupėjimus), todėl jų nusidėvėjimą reikėtų sieti ir su smūginiais pažeidimais. Tai rodo, kad didesnio kietumo peiliukai (B – 910 HV) gali būti mažiau atsparūs mechaniniams smūgiams. Mažiausio kietumo (A – 506 HV) peiliukai parodė mažiausią nudilimą.

3. Peiliukų nudilimas, apskaičiuotas įvertinus roboto nuvažiuotą atstumą, skirtingų gamintojų peiliukams skiriasi, todėl šis rodiklis leidžia objektyviau palyginti jų atsparumą nusidėvėjimui realiomis eksploatacijos sąlygomis.

Literatūra

1. Abrutis, R., & Jankauskas, V. (2023). Javų kombainų šiaudų smulkintuvo peiliukų tyrimas. *20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos straipsnių rinkinys*, 231–236.
2. Lau, K. H. (2000). Wear characteristics and mechanisms of a thin edge cutting blade in a grass cutting operation. *Wear*, 239(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00332-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00332-9)
3. Malvajerdi, A. S., & Ghasemi Varnamkhasti, M. (2023). Wear and coating of tillage tools: A review. *Heliyon*, 9(11), e21079. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21079>
4. Refai, M., ElShal, A., & Abd ElRahman, M. (2023). Wear behavior and CO₂ emissions analysis of drum mower blades. *SN Applied Sciences*, 5, 282. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05516-3>
5. Wang, Y., Li, X., Zhang, H., & Liu, J. (2023). Research progress on the wear resistance of key agricultural machinery components. *Materials*, 16(24), 7646. <https://doi.org/10.3390/ma16247646>

AUTONOMOUS LAWN MOWER BLADE WEAR RESEARCH

Abstract

Autonomous robotic lawn mowers are increasingly used for lawn maintenance; therefore, it is important to evaluate the durability and wear resistance of their cutting elements. The aim of this study was to evaluate the wear of blades from different manufacturers used in autonomous lawn mowers under real operating conditions. The study was carried out using two robotic lawn mowers “Husqvarna Automower 450X NERA”, which operated in two separate mowing areas. The experiment was conducted from July 14 to August 18, 2025, and was divided into five eight-day intervals, during which blades from five different manufacturers were used. Blade wear was evaluated based on mass loss and the wear intensity was calculated in mg/km according to the distance travelled by the robot. The results showed that blades from different manufacturers exhibited different resistance to wear. It was also determined that mechanical damage to the cutting edge can significantly increase blade wear. The obtained results indicate that the hardness of the blades have a significant influence on their operational durability.

Keywords: autonomous lawn mowers, blade wear, robotic lawn maintenance, cutting tools, material hardness.