

## JAVŲ KOMBAINŲ ŠIAUDŲ SMULKINTUVO PEILIUKŲ TYRIMAS

**Robertas ABRUTIS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas [robertas.abrutis@vdu.lt](mailto:robertas.abrutis@vdu.lt)

Vytenis **JANKAUSKAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas [vytenis.jankauskas@vdu.lt](mailto:vytenis.jankauskas@vdu.lt)

### Santrauka

Javų kombainų šiaudų smulkintuvo peiliukų tyrimo tikslas – nustatyti peiliukų dilimui įtakos turinčius veiksnius. Išanalizuoti konstrukcinių parametrų, cheminės sudėties ir darbo pozicijos įtaką peiliukų dilimui. Tyrimas atliktas realiomis darbo sąlygomis, pasirinkus 6 gamintojų smulkinimo peiliukus ir sumontavus juos javų kombaino šiaudų smulkintuve. Rezultatai parodė, kad mažiausiai dilo didžiausio briaunos kietumo ( $568 \pm 11$  HV) peiliukai, jų kietumą lėmė tai, kad peiliukų pliene buvo didžiausias anglies kiekis (0,42 % C). Norint padidinti smulkintuvo peiliukų išdirbį tikslinga jų gamybai naudoti didesnio anglingumo spyruoklinius plienus (0,6–0,7 % C). Taip pat tyrimo duomenys atskleidė, kad šiaudų smulkinimo peiliukų pozicija smulkintuvo veleno turi įtakos jų dilimo dydžiui – apie 50 % smulkintuvo peiliukų dyla intensyviau ir pasiekia kritinę būklę greičiau už kitus 50 % peiliukų. Tokį netolygų dilimą lemia gamintojo numatytas peiliukų išdėstymas.

**Reikšminiai žodžiai:** dilimas, smulkinimo peiliai, smulkinimas, šiaudų smulkintuvas.

### Įvadas

Šiaudai – tai didžiausia javų nuėmimo „atlieka“. Šiaudų biomasė tiriama ir plėtojama kaip daug potencialo turinti, mažos emisijos atsinaujinanti žaliava, kuri kaip pagrindinis kuras naudojama kogeneracinėse elektrinėse (elektros ir šilumos gamybai) (Marks-Bielska R., 2019). Šiaudų naudojimo biokuro gamybai atveju pirmoji operacija yra smulkinimas, o tik po to granuliuojama (Shu Wang, 2022).

Šiaudai – svarbi žaliava biodujų (metano) gamyboje. Norint pasiekti spartų biomasės irimą (biologinį skaidymą) būtina susmulkinti lignoceliuliozę. Tyrimai rodo, kad susmulkinimas didina paviršiaus plotą, o tai teigiamai veikia metano gamybos greitį ir išėigą.

Šiaudų smulkinimas ir paskleidimas yra efektyvus būdas sumažinti augalinių atliekų kiekį ir pagerinti dirvožemio kokybę. Tyrimai rodo, kad šiauduose gausu azoto, fosforo, kalio ir kitų maistinių medžiagų, reikalingų pasėliams augti. Susmulkintus šiaudus įterpus į dirvožemį, jame didėja deguonies, humuso kiekis ir purumas, kas lemia didesnį mikroorganizmų kiekį jame (Chen L., 2022).

Kad šiaudai būtų kokybiškai susmulkinti, svarbu parinkti tinkamus kombaino šiaudų smulkintuvo peiliukus. Šiaudų nauda dirvai priklauso nuo to, į kokias frakcijas šiaudai susmulkinami ir paskleidžiami. Pjaustinių ilgiumi tiesioginė įtaką turi smulkintuvo veleno sukimosi greitis – greičiui didėjant, pjaustinių ilgis mažėja (Hashem F., 2022). Optimaliausias susmulkintų šiaudų ilgis, užtikrinantis geriausią jų įterpimą ir sumaišymą su dirvožemiu, yra iki 30 mm (Xu G., 2022).

Labiausiai paplitę yra tiesūs, dviašmeniai peiliukai su karpytomis arba lygiomis briaunomis (Schumacher, 2022). Naudojant peiliukus, turinčius karpytą pjovimo briauną, smulkinimo procesui mažiau reikia energijos nei naudojant tiesių briaunų peiliukus. Mažiausiai energijos reikia pjovimui, kai peiliuko ašmenys su šiaudu susiduria 20–30° kampu (Hashem F., 2022). Tai lemia mažesnę javų kombaino apkrovą ir mažesnes degalų sąnaudas (Muthuswamy P., 2022).

Visais javų šiaudų panaudojimo atvejais (tręšimui, atsinaujinančiam biokuroi ir t. t.), pagrindiniu sėkmingo panaudojimo garantu yra smulkinimo technologijos reikalavimų laikymasis, t. y. patikimas ir efektyvus peiliukų darbas.

**Tyrimo tikslas** – ištirti konstrukcinius peiliukų dilimui įtakos turinčius veiksnius.

### Tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti galimą konstrukcinių parametrų įtaką peiliukų dilimui;
2. Parengti skirtingos cheminės sudėties ir mechaninių charakteristikų peiliukų komplektą tyrimui, sudaryti išdėstymo schemą smulkintuvo veleno, atlikti tyrimą ir išanalizuoti rezultatus.

### Tyrimų objektas ir metodai

Bandymui atlikti pasirinktas javų kombainas *Claas Tucano 450* (220 kW galios), sukomplektuotas su 9 m<sup>3</sup> talpos bunkeriu, APS kūlimo sistema, *Claas Vario V660* pjaunamąja. Smulkinimo velenas sukamas diržine pavara 3570 min<sup>-1</sup> sukimosi dažniu (peiliukų apskritiminis greitis 91,6 m/s).

Prie smulkintuvo veleno privirinta 40 peiliukų tvirtinimo kilpų, išdėstytų keturiomis eilėmis (kas 90°), kuriose šarnyriškai pritvirtinta 80 peiliukų. Du peiliukai tvirtinami viena ašimi, tarp peiliukų plokštumų išlaikant 25 mm arba 50 mm atstumą. Tiriamų smulkinimo peiliukų tipas (plieniniai, briaunos grūdintos kaitinant aukšto dažnio srovėmis,

173×50×4 mm): dviašmeniai, karpytomis briaunomis (1 a pav.).

Peiliukų dilimui įtakos turintiems veiksniams nustatyti panaudoti 55 gamintojo O (*Original*) ir dar penkių kitų gamintojų peiliukai (alternatyvos 5×5, žymima Alt. 1, ... Alt. 5), kurie atsitiktine tvarka išdėstyti ir sumontuoti smulkintuvo veleno. Subalansuojant veleną įvertinti peiliukų masių skirtumai. Alternatyvių gamintojų peiliukai vidutinėms dilimo vertėms nustatyti smulkinimo veleno išdėstyti taip: po vieną peiliuką įtvirtinta veleno pradžioje ir pabaigoje, vienas peiliukas – veleno centre, likę du peiliukai – ¼ veleno ilgio atstumu nuo veleno galų. Likusios pozicijos buvo užpildytos O gamintojo peiliukais.

Javų nuėmimas vykdytas Šakių raj. Šakių seniūnijos Bedalių k. esančiame ūkyje 2022 m. rugpjūčio mėn. 01–16 dienomis. Derlius nuimtas nuo 130 ha kviečių (veislės *Etana, Skagen*) ir 50 ha rapsų (*Dominator*) ploto. Vidutinis javų kombaino darbinis greitis buvo nedidelis (4 km/h) dėl javų išgulimo.

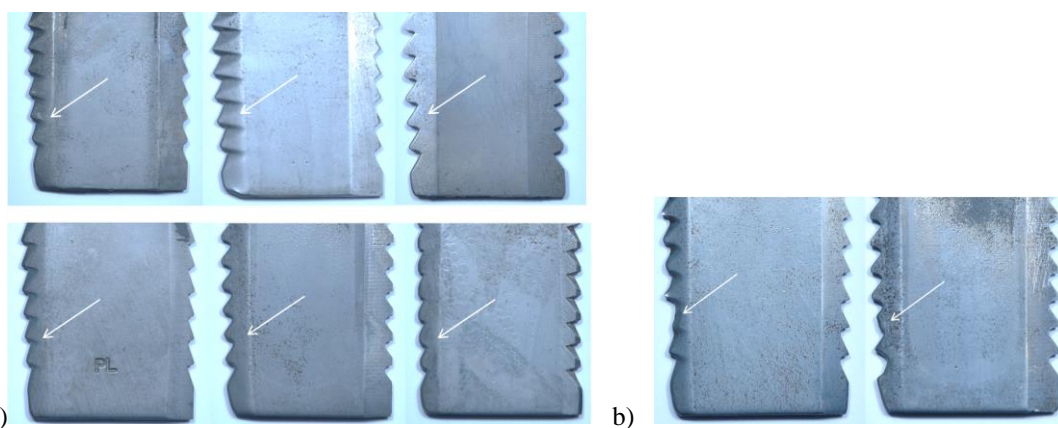
Peiliukų dilimas matuotas pagal masių pokytį svarstyklėmis KERN 420-3NM 0,001 g tikslumu; peiliukų cheminė sudėtis tirta spektriniu analizatoriumi *Oxford PMI-MASTER PRO*; kietumas matuotas kietmačiu TK-2M (skalė HRC, 150 kG); mikrokietumas – mikrokietmačiu PMT-3 (skalė HV, indentoriaus apkrova 0,4905 N, apkrovos išlaikymas 10 s). Mikrokietmačiu matuota ne mažesniu kaip 0,03 mm atstumu nuo mikrošlifo krašto. Matavimo zona tiriant kietmačiu TK-2 buvo 3–7 mm nuo peiliuko galo. Dėl pjovimo briaunos nuožulų matavimai atlikti tik peiliuko gale, kuris vizualiai paveiktas grūdinimo kaitinant ADS.

Bandiniai mikrošlifams atpjauti įrenginiu *Struers Secotom 5*, šlifuoti ir poliruoti įrenginiu *Struers Tegramin 20* naudojant deimantinę 3 μm poliravimo pastą. Poliruoti paviršiai šdinti HNO<sub>3</sub> 4 % rūgšties spiritiniu tirpalu.

## Rezultatai ir jų aptarimas

180 ha plote nuimamo derliaus šiaudus smulkinę smulkintuvo peiliukai pateikti 1 pav. Peiliukų nudilusi briauna (dešinioji) žymima rodykle. Antroji pjovimo briauna nedilusi. Naudojimo metu nuo peiliukų nudilo didžioji dalis apsauginio sluoksnio (dažų, terminio apdirbimo ar kt.). Peiliuko darbinį paviršių dengia neorganinių medžiagų dalelės, tikėtina, lignoceliuliozės ar kt. šiaudų sudedamųjų dalių. Peiliukų valymas organiniu tirpikliu šių apnašų nepašalina.

Du peiliukus pažeidė į kūlimo aparatą patekę metaliniai ar kt. daiktai. Jų nudilimas nėra tipinis ir į nudilimo vidurkį neįtraukti. Tyrimo metu pažeistų peiliukų pavyzdžiai matomi (1 b pav.)



**1 pav.** Tiriamieji smulkinimo peiliai: a) (nuo „O“ iki „Alt. 5“ iš kairės į dešinę), susmulkinus 180 ha plote javų bei rapsų šiaudų. → – dilusi (kairė) peiliuko briauna; b) mechaniškai pažeisti smulkinimo peiliukai.

**Fig. 1.** Tested chopping knives: a) (from "original" to "Alt. 5" from left to right), after chopping wheat and rapeseed straw on an area of 180 ha. → – worn (left) edge of the blade and b) mechanically damaged chopping blades during the test.

Smulkintuvo peiliukų vidutinis nudilimas bandant, kietumas ir cheminė sudėtis pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Smulkintuvo peiliukų vidutinis nudilimas bandant, kietumas ir cheminė sudėtis

**Table 1.** Average test wear, hardness and chemical composition of chopper blades

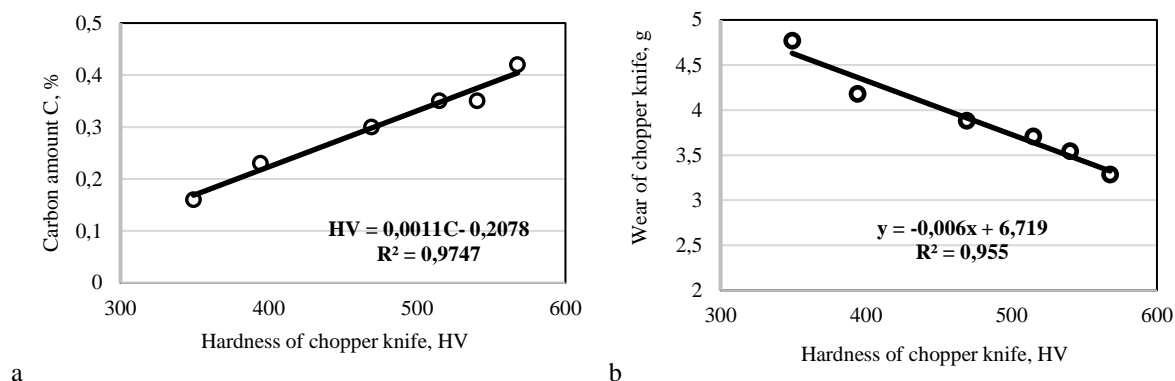
Bandinys	Vidutinis nudilimas I, g	Kietumas		Cheminė sudėtis pagal masę (%)								
		HV	HRC	Fe	C	Ni	Mn	Cu	V	Mo	Cr	Si
Original	3.71	515 ± 14	51	97.07	0.35	0.017	1.00	0.010	0.17	0.0030	1.03	0.26
Alt. 1	4.18	394 ± 12	41	97.46	0.23	0.030	0.89	0.009	0.12	0.0030	1.00	0.22
<b>Alt. 2</b>	<b>3.28</b>	<b>568 ± 11</b>	<b>53</b>	<b>97.17</b>	<b>0.42</b>	<b>0.030</b>	<b>0.89</b>	<b>0.017</b>	<b>0.13</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.98</b>	<b>0.24</b>
Alt. 3	3.88	469 ± 11	47	96.80	0.30	0.122	0.97	0.139	0.17	0.0310	1.03	0.22
Alt. 4	3.54	540 ± 12	52	96.97	0.35	0.047	0.97	0.039	0.13	0.0166	0.93	0.34
<b>Alt. 5</b>	<b>4.77</b>	<b>349 ± 9</b>	<b>37</b>	<b>97.95</b>	<b>0.16</b>	<b>0.030</b>	<b>0.90</b>	<b>0.005</b>	<b>0.04</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.49</b>	<b>0.24</b>

Kiti elementai (%): Ti 0.001–0.036, Nb 0.0035–0.0054, Co 0.002–0.0043, Sn 0.002–0.027, As 0.005–0.11, Al 0.011–0.046, B 0.001–0.0018, Zr 0.002–0.0061, Pb 0.01, S 0.002–0.0041, P 0.0055–0.022.

Nė vieno iš ištirtų peilių sudėtis nėra artima spyruoklinio plieno 65 Mn sudėčiai, kuri rekomenduojama darbe (Xu Licha, 2021).

Smulkinimo peiliukų *Alt.* 2 minimalaus nudilimo priežastis yra didžiausias briaunos kietumas ( $568 \pm 11$  HV), gautas grūdinant aukšto dažnio srovėmis dėl didžiausio anglies kiekio peiliukų pliene (0,42 % C). Peiliukų *Alt.* 5 didžiausio nudilimo priežastis yra mažiausias anglies kiekis gamybai naudotame pliene (0,16 % C), mažas chromo kiekis (tik 0,49 % Cr, kituose peiliukuose – apie 1,0 %) ir 3–4 kartus mažesnis vanadžio kiekis (1 lentelė).

Smulkintuvo peiliukų anglies kiekio įtaka pjovimo briaunos kietumui ir kietumo (pagal HV parametą) įtaka peiliukų nudilimams pateikta 2 paveiksle.



**2 pav.** Smulkintuvo peiliukų plieno anglingumo įtaka pjovimo briaunos kietumui (a) ir kietumo įtaka peiliukų dilimui (b)  
**Fig. 2.** The effect of carbonization of the steel of the chopper blades on the hardness of the cutting edge (a) and the effect of hardness on the wear of the blades (b)

Kuo peiliukų gamybai buvo naudotas didesnio anglingumo plienas (1 lentelė), tuo jo pjovimo briaunos grūdinant gautos kietesnės. Anglies kiekis (nuo 0,06 iki 0,42 %) pliene turi tiesioginės įtakos pjovimo briaunos kietumui, kas reiškia potencialiai didesnę išdirbį ir mažesnes eksploatacines išlaidas (Saastamoinen, 2020).

Tyrimas parodė, kad esamas konstrukcinis smulkintuvo variantas (peiliukų išdėstymas išilgai ašies) neužtikrina vienodo jų dilimo, o atitinkamai ir kritinės būklės pasiekimo. Kraštiniai smulkinimo veleno peiliukai nudilo daug (4,8–5,0 g). Kiti du – mažiau (apie 3,0–3,6 g), kiti du – daugiau (apie 4,0–4,8 g), kiti du mažiau ir t. t. Tai sinusoidės dėsningumu kintantis dydis, kuriam, tikėtina, daugiausia įtakos turėjo netolygus šiaudų pasiskirstymas smulkintuvo veleno ašine kryptimi, šiaudams judant kratikliais.

Vertinant skirtingų gamintųjų peiliukų vidutinius nudilimus ir nudilimo sklaidos intervalus, šie nudilimo skirtumai yra reikšmingi. Galima daryti prielaidą, kad dėl veleno konstrukcijos atsirandantis netolygus dilimas ilgai sukels smulkintuvo veleno disbalansą. Didėjant smulkintuvo išdirbiui, apie 50 % smulkintuvo peiliukų dyla intensyviau ir pasiekia kritinę būklę, o kiti 50 % peiliukų dar gali būti naudojami.

Smulkintuvo peiliukų ir šiaudų masės sąveikos rezultatus (dilimą) galima paaiškinti tribologiniu aspektu. Peiliukų ir šiaudų mechaninės savybės skiriasi radikaliai, todėl tiesiogiai šiaudų sukeliamas dilimas būtų itin mažas (Hutchings I., 2017). Tačiau dilimas yra, o jį sukelia ne šiaudų ir peiliuko tiesioginė sąveika, bet dulkės, dengiančios šiaudus. 2022 m. javai buvo stipriai išguldyti, todėl ir padengti dulkėmis bei smulkiomis dirvožemio dalelių frakcijomis. Todėl peiliukus, judančius ~92 m/s greičiu veikia mikroabrazyvo dalelių erozija (Kleis I., 2008). Taigi dilimo procesus grindžiant abrazyvinio dilimo procesu (*Solid particle erosion-wear*) dėsniais (Zhang G., 2021), tikslinga peiliukus gaminti iš didesnio anglingumo (lyginant su tyrimu vertintu) spyruoklinių ar įrankinių plienų.

## Išvados

- ✓ Šiaudų smulkinimo peiliukų pozicijos smulkintuvo veleno turi įtakos jų dilimo dydžiams, todėl apie 50 % peiliukų kritinį nudilimą pasieks anksčiau nei kiti 50 % peiliukų;
- ✓ Peiliukų pjovimo briaunos kietumas yra atvirkščiai proporcingai dilimą įtakojantis veiksnys ( $I = -0,0058 HV + 6,67$ ,  $R^2 = 0,928$ );
- ✓ Siekiant padidinti smulkintuvo peiliukų išdirbį, tikslinga jų gamybai naudoti didesnio anglingumo spyruoklinius plienus (0,6–0,7 % C).

## Literatūra

1. Marks-Bielska R., Bielski S., Novikova A., Romaneckas K. 2019. Straw stocks as a source of renewable energy. A case study of a district in Poland. *Sustainability*, Vol. 11(17), ID 4714.
2. Paddle knife fitting instructions. Radura. [Žiūrėta internete 2023.01.17]  
[https://www.radura.info/fileadmin/images/Produkte/Radura\\_Paddle\\_knife\\_fitting\\_instructions.pdf](https://www.radura.info/fileadmin/images/Produkte/Radura_Paddle_knife_fitting_instructions.pdf)
3. Chen L., Sun S., Yao B., Peng Y., Gao C., Qin T., Zhou Y., Sun C., Quan W. 2022. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: A review. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.986763>

4. Xu G., Xie Y., Matin M.A., He R., Ding Q. 2022. Effect of straw length, stubble height and rotary speed on residue incorporation by rotary tillage in intensive rice–wheat rotation system. *Agriculture*, Vol. 12, ID 222.
5. Muthuswamy P. 2022. Investigation on sustainable machining characteristics of tools with serrated cutting edges in face milling of AISI 304 Stainless Steel. 29th CIRP Life Cycle Engineering Conference. *Procedia CIRP*, Vol. 105, p. 865–871.
6. Saastamoinen A. 2020. Processing and microstructure of direct-quenched and tempered ultra-high strength steels. Saastamoinen, A. (2020). *Processing and microstructure of direct-quenched and tempered ultra-high strength steels* (Doctoral dissertation, University of Oulu)
7. Xu, L., Che, Y., Zhu, R., Zhu, J., Zhang, R. 2021. Design and Simulation of Chopping Device of Straw Returning Machine. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1748, No. 6, p. 062066. IOP Publishing.
8. Hashem F. R., Ibrahim M. M., Nasr G. M. 2022. Modification of a machine for chopping rice straw using circular saw. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Vol. 24(4), p. 230–243.
9. Hutchings I., Shipway P. 2017. Friction and Wear of Engineering Materials. *Wear by hard particles*, p. 165–236. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100910-9.00006-4>
10. Kleis I., Kulu P. 2007. Solid Particle Erosion: Occurrence, Prediction and Control. London: Springer-Verlag, 215 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-029-2>
11. Zhang G., Sun Y., Gao H., Zuo D., Liu X. A. 2021. theoretical and experimental investigation of particle embedding and erosion behaviour of PDMS in micro-abrasive air-jet machining. *Wear*. Vol. 486, 204118. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204118>
12. Wang, S., Yin, C., Jiao, J., Yang, X., Shi, B., Richel, A. 2022. StrawFeed model: An integrated model of straw feedstock supply chain for bioenergy in China. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 185, 106439. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106439>

## **A STUDY OF COMBINE STRAW CHOPPER BLADES WEAR**

### **Summary**

The purpose of the study of straw chopper blades of grain harvesters is to investigate the factors influencing blade wear. To analyze the influence of structural parameters, chemical composition and working position on blade wear. The research was carried out under real working conditions, after selecting the shredding blades of 6 manufacturers and installing them on the straw chopper of the grain harvester. The obtained results show that the blades with the highest edge hardness ( $568 \pm 11$  HV) showed the least wear, the hardness was determined by the fact that the steel of the blades had the highest carbon content (0.42% C). To increase the output of chopper blades, it is appropriate to use spring steels with a higher carbon content (0.6-0.7% C) for their production. Also, research data reveals that the position of the straw chopping blades in the chopper shaft affects their wear rates, about 50% of the chopper blades wear more intensively and reach critical condition faster than the other 50% of the blades. This uneven wear is influenced by the arrangement of the blades intended by the manufacturer.

**Keywords:** wear, chopping blades, chopping, straw chopper.