

# PRIMJENA NiBSi-WC PREVLAKE KAO ZAŠTITE OD TROŠENJA DIJELOVA POLJOPRIVREDNE MEHANIZACIJE

## APPLICATION OF NiBSi-WC COATING AS WEAR PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

Ivan Vidaković<sup>1</sup>, Goran Heffer<sup>1</sup>, Katica Šimunović<sup>2</sup>, Ivan Samardžić<sup>2</sup>, Vedrana Špada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31 000 Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

<sup>2</sup> Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35 000 Slavonski Brod, Sveučilište u Slavonskom Brodu

<sup>3</sup> Ustanova Centar za istraživanje materijala Istarske županije, Zagrebačka 30, 52 100 Pula, Istarsko veleučilište

**Ključne riječi:** trošenje u masi abraziva, NiBSi-WC, PTA prevlake, čelik 42CrMo4

**Key words:** wear by abrasive particles, NiBSi-WC, PTA coatings, steel 42CrMo4

**Sažetak:** U ovom radu predstavljeni su rezultati istraživanja abrazijskog trošenja NiBSi-WC prevlake nanesene postupkom naštrcavanja plazmom prenesenim lukom (PTA) na osnovni materijal od poboljšanog krom-molibden čelika 42CrMo4 + QT. Ispitivanje otpornosti na trošenje provedeno je gibanjem u masi abraziva pri brzini uzorka od 1,70 m/s i kutovima sudara abraziva i trošene površine od 45° i 90°. Provedena istraživanja popraćena su metalografskom analizom prevlake te sučelja prevlaka/podloga. Cilj istraživanja bio je usporedba otpornosti na trošenje navedene prevlake i osnovnog materijala bez prevlake u ovisnosti o kutu sudara abraziva i trošene površine te mogućnosti primjene navedene prevlake kao zaštite od trošenja dijelova poljoprivredne mehanizacije. Prilikom eksploracije radni dijelovi poljoprivredne mehanizacije izloženi su djelovanju abraziva (tla) različitog kemijskog sastava, pri čemu kvarc predstavlja najznačajniji abraziv; stoga je u pokusu kao abraziv primijenjen kvarcni pjesak granulacije 0,5 - 1,5 mm. Provedenim istraživanjem utvrđen je veći gubitak mase pri manjem kutu sudara abraziva i trošene površine, koji se smanjivao povećanjem kuta sudara. Također, utvrđen je značajno manji gubitak mase ispitivane prevlake u odnosu na osnovni materijal bez prevlake, što opravdava primjenu navedene prevlake u svrhu zaštite od trošenja dijelova poljoprivredne mehanizacije.

### 1 UVOD

Trošenju u masi abraziva izloženi su radni dijelovi mnogih poljoprivrednih, građevinskih ili rudarskih strojeva [1], uslijed kojega dolazi do oštećenja i ranijeg otkaza radnih dijelova. Kao negativne posljedice trošenja pojavljuju se značajni gubici materijala, koji uzrokuju finansijske troškove kao posljedicu ranije zamjene ili obnavljanja istrošenih dijelova [2]. U svrhu zaštite od trošenja primjenjuju se različiti postupci koji se odnose na promjenu strukture materijala ili promjenu vrste materijala radne površine alata [3]. Jedan od načina promjene vrste materijala radne površine alata je postupak naštrcavanja plazmom prenesenim lukom - PTA, koji je primijenjen u ovom istraživanju. Kao materijal prevlaka moguća je primjena različitih legura, a često su u istraživanjima primjenjene legure na bazi nikla [4-6], u koje se ubraja i NiBSi-WC legura, primjenjena u ovom radu.

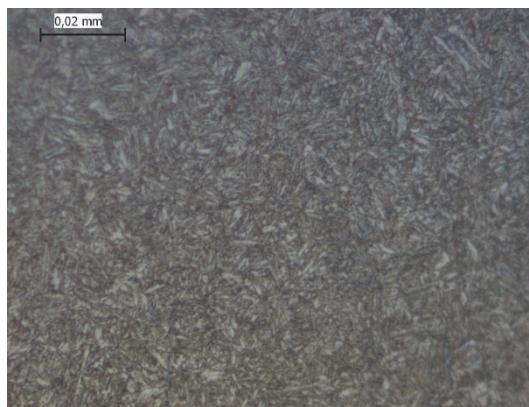
Dijelovi poljoprivredne mehanizacije tijekom eksploracije izloženi su djelovanju čestica abraziva, uslijed kojeg dolazi do oštećenja površine različitim mehanizmima trošenja, pri čemu je najdominantniji mehanizam trošenja abrazija. Kako bi se utvrdila primjenjivost legure na bazi nikla (NiBSi-WC) kao moguće zaštite od trošenja dijelova poljoprivredne mehanizacije, u ovom radu je provedeno istraživanje otpornosti na trošenje navedene legure u masi abraziva. Pregledom dosadašnjih istraživanja, utvrđeno je da je otpornost na trošenje legura na bazi nikla u masi abraziva istražena u manjem broju znanstvenih radova [7-9].

### 2 MATERIJAL I METODE

Istraživanje otpornosti na trošenje NiBSi-WC legure te opravdanost primjene navedene legure kao zaštite od trošenja dijelova poljoprivredne mehanizacije, provedena je ispitivanjem uzorka na uređaju za trošenje u masi abraziva, pri čemu je mjeru otpornosti na trošenje bio gubitak mase uzorka nakon prijeđenog ukupnog puta trošenja.

#### 2.1 Osnovni materijal

Kao osnovni materijal primijenjen je prethodno toplinski obrađeni (poboljšani) čelik, oznake 42CrMo4+QT. Ovaj čelik ubraja se u skupinu niskolegiranih čelika visoke čvrstoće, a namijenjen je za izradu visokopterećenih strojnih elemenata [10]. Na slici 1, prikazana je mikrostruktura osnovnog materijala, koja odgovara martenzitnoj mikrostrukturi.



Slika 1. Mikrostruktura osnovnog materijala (42CrMo4+QT), nagriženo u nitalu 3 %

Navedeni čelik odabran je iz razloga što se primjenjuje za izradu dijelova poljoprivredne mehanizacije, a u praksi je česta potreba nanošenja navedene prevlake na podlogu koja je već prethodno toplinski obrađena, osobito kod obnavljanja istrošenih dijelova.

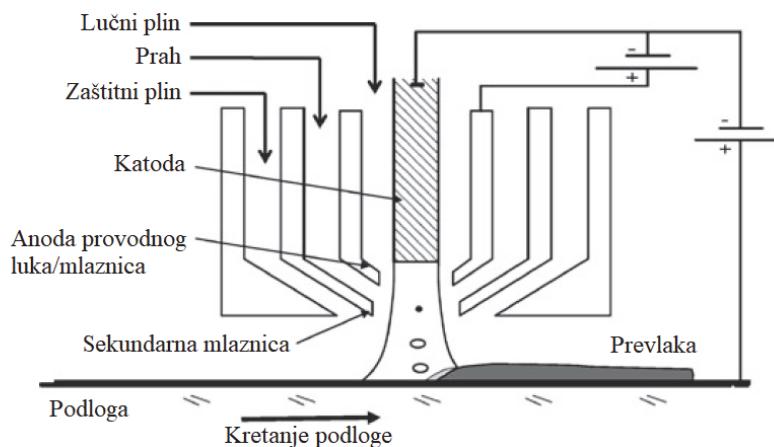
## 2.2 Materijal prevlake

Kao materijal prevlake, primijenjen je prah NiBSi-WC legure s omjerom NiBSi matrice i čestica volfram karbida u odnosu 40 % matrice i 60 % čestica karbida. U tablici 1, naveden je deklarirani kemijski sastav praha.

Tablica 1. Kemijski sastav praha NiBSi-WC legure

Kemijski element, % mase	C	B	Si	Cr	Fe	O	S	Ni
0,1	2,47	3,47	0,2	0,69	0,0125	0,0005	osnova	

Navedena prevlaka je nanesena postupkom naštrcavanja plazmom prenesenim lukom - PTA, s uređajem Castolin EuTronic GAP 3001 DC. Prema katalogu proizvođača, ovim postupkom nanose se visokokvalitetne prevlake, bez pukotina i poroznosti, uz nisko miješanje osnovnog materijala i prevlake te male deformacije i zonu utjecaja topline u odnosu na neke druge postupke (npr. navarivanje). Također, proizvođač navodi visoku čistoću i dobra svojstva legure, dobru ponovljivost i mogućnost automatizacije postupka. Na slici 2, dan je shematski prikaz postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom.



Slika 2. Shematski prikaz postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom - PTA [11]

Ovaj postupak ubraja se u postupke navarivanja, ali se često ubraja i u postupke naštrcavanja, osobito kada se kao dodatni materijal koristi prah [11].

## 2.3 Pokus trošenja

Pokus trošenja izведен je na uređaju za trošenje u masi abraziva pod određenim kinematskim parametrima. Tijekom ispitivanja, ispitni uzorci gibaju se kružno unutar spremnika s abrazivom i u velikoj mjeri simuliraju realne uvjete slične onima u eksploataciji. Uređaj za trošenje u masi abraziva, prikazan je na slici 3.



*Slika 3. Izgled uređaja za trošenje u masi abraziva*

Uređaj posjeduje sljedeće mogućnosti:

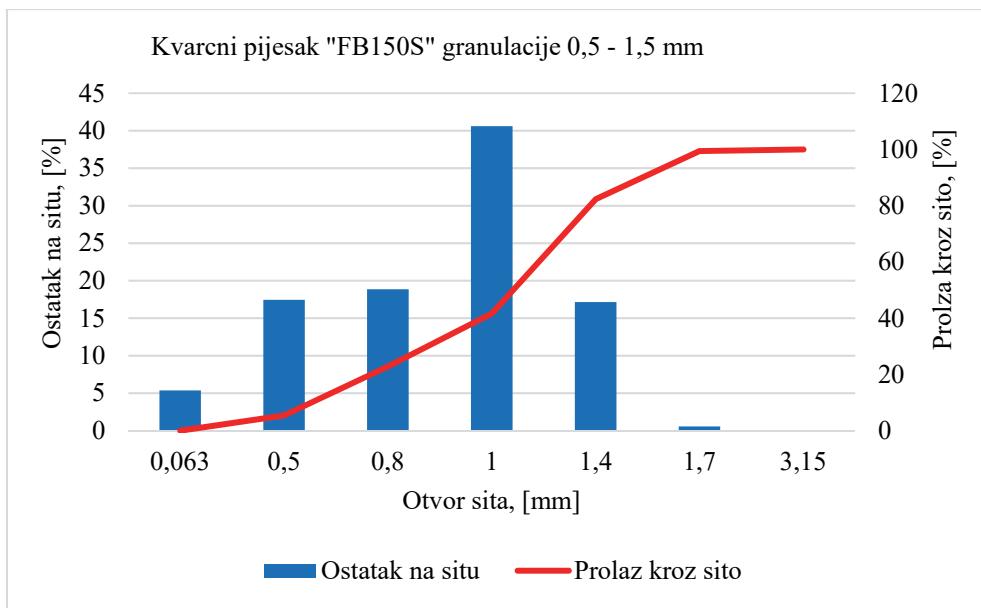
- primjena različite vrste abraziva (ovisno o granulaciji, obliku, vrsti materijala)
- primjena različitih vrsta uzoraka (materijal, oblik) u istim uvjetima ispitivanja
- mogućnost odabira različitih parametara ispitivanja (brzina uzorka, kut sudara)
- mogućnost ponavljanja ispitivanja s jednakim parametrima ispitivanja u cilju kvalitetne statističke obrade podataka.

#### 2.4 Abraziv korišten u pokusu

Budući su dijelovi poljoprivredne mehanizacije tijekom eksploatacije izloženi djelovanju abraziva (tla), a u sastavu tla se nalazi određeni postotak kvarca koji predstavlja najvažniji abraziv, kao abraziv u pokusu primjenjen je kvarčni pjesak trgovачke oznake „FB150S“. U tablici 2, naveden je kemijski sastav kvarcnog pjeska primjenjenog u istraživanju. Na slici 4 prikazana je sitena analiza kvarcnog pjeska.

*Tablica 2. Kemijski sastav kvarcnog pjeska [12]*

Kemijski element, % mase	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
> 99	0,297	0,658	0,032	0,041	0,027	0,009	0,104	



*Slika 4. Sitena analiza kvarcnog pjeska primjenjenog u pokusu [12]*

Navedeni pjesak ima granulaciju 0,5 - 1,5 mm, ispran je od prašine i nečistoća te osušen na visokoj temperaturi; proizvođač pjeska je tvrtka Kema.

#### 2.5 Parametri izvodenja pokusa

Istraživanje trošenja uzorka provedeno je pri konstantnoj brzini uzorka od 1,70 m/s te pri kutovima sudara čestica abraziva i trošene površine od 45° i 90°, s ciljem utvrđivanja otpornosti na trošenje prevlake na bazi nikla u ovisnosti o

različitom kutu sudara u odnosu na osnovni materijal bez prevlake. Na osnovi pregleda literature [9] i pretpostavke o abrazivnosti primjenjenog kvarcnog pijeska, istraživanje je provedeno pri ukupnom putu trošenja od 20.000 metara.

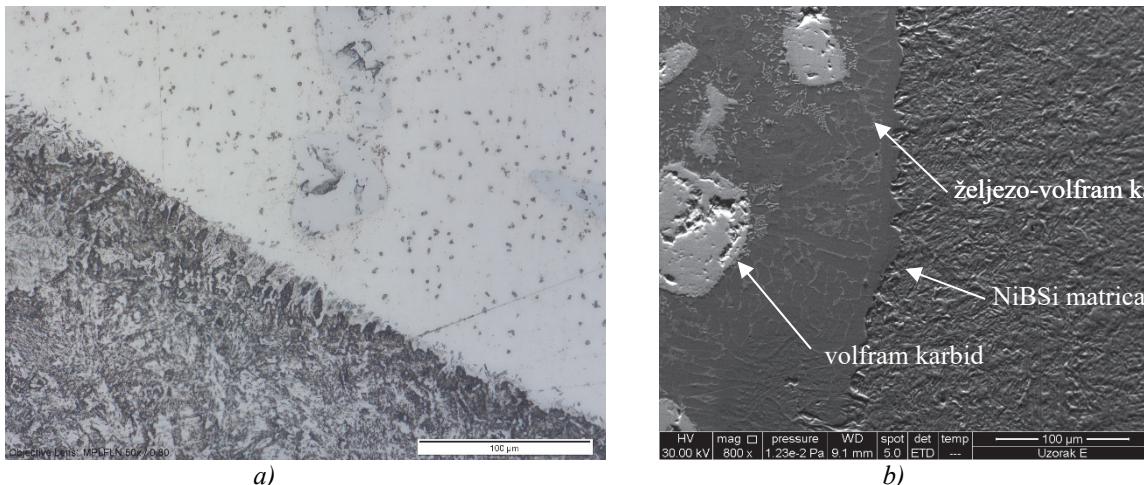
## 2.6 Utvrđivanje gubitka mase

Mjera otpornosti na trošenje bio je gubitak mase uzorka nakon prijeđenog ukupnog puta trošenja. Gubitak mase utvrđen je na osnovi razlike mase uzorka prije ispitivanja i nakon provedenog ispitivanja trošenja u masi abraziva. Mjerenje je provedeno u Laboratoriju za fitofarmaciju, Zavoda za fitomedicinu, Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, na analitičkoj vagi, preciznosti  $10^{-4}$  grama i mjernog intervala od 0 do 120 grama.

## 3 METALOGRAFSKA ANALIZA UZORAKA

Metalografska analiza uzorka provedena je s ciljem utvrđivanja mikrostrukturnih karakteristika prevlake i sučelja prevlaka/podloga te utvrđivanja utjecaja postupka naštrcavanja na podlogu. Provedena analiza obuhvatila je snimanje uzorka svjetlosnim optičkim mikroskopom te elektronskim pretražnim mikroskopom SEM. Navedena analiza napravljena je u laboratoriju Centra za istraživanje materijala Istarske županije METRIS u Puli. Prije metalografske analize napravljena je priprema uzorka koja je obuhvaćala zalijevanje uzorka u trokomponentnu akrilnu smolu, zatim brušenje i poliranje uzorka te nagrizanje u nitalu (2 %), ispiranje i sušenje uzorka.

Na slici 5 a) prikazana je mikrostruktura sučelja NiBSi-WC prevlaka/podloga snimljena svjetlosnim optičkim mikroskopom. Iz slike se može uočiti da je prevlaka kompaktna, bez oštećenja i pukotina s jasno izraženom granicom između prevlake i podloge. Unutar prevlake nalaze se područja nepravilnog oblika za koje se pretpostavlja da su čestice volfram karbida. Na slici 5 b) prikazana je SEM mikrofotografija sučelja NiBSi-WC prevlaka/podloga. Iz slike je vidljivo da je prevlaka u osnovi sastavljena od tri faze. Pretpostavlja se da unutar prevlake, područje tamno sive boje predstavlja NiBSi matricu, unutar matrice velika područja nepravilnog oblika predstavljaju čestice volfram karbida, dok mala područja svjetlo sive boje predstavljaju čestice željezo-volfram karbida.



Slika 5. Mikrostruktura uzorka s NiBSi-WC prevlakom: a) sučelje prevlaka/podloga snimljeno svjetlosnim mikroskopom, b) SEM mikrofotografija sučelja prevlaka/podloga

Na slikama 5 a) i 5 b) ispod sučelja prevlaka/podloga vidljiva je struktura koja odgovara strukturi martenzita. Martenzitna struktura podloge koja je zadržana i nakon postupka naštrcavanja, dokaz je da unatoč visokoj temperaturi postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom dolazi do malog unosa topline u podlogu, što je u skladu s ranije provedenim istraživanjem [13].

## 4 REZULTATI I RASPRAVA

U cilju kvalitetne analize rezultata, pokus trošenja uzorka u masi abraziva izведен je za svaki kut sudara abraziva i trošene površine ( $45^\circ$  i  $90^\circ$ ) u dva ponavljanja. Ponavljanje je provedeno tako da je nakon ukupnog prijeđenog puta trošenja od 20.000 m i mjerena gubitka mase, ispitivanje provedeno na istom uzorku, što zapravo ne predstavlja ponavljanje već nastavak ispitivanja u jednakim uvjetima. Iz tog razloga trošenje je promatrano kao prosječni gubitak mase nakon prvog i drugog ponavljanja, prikazano u tablici 2.

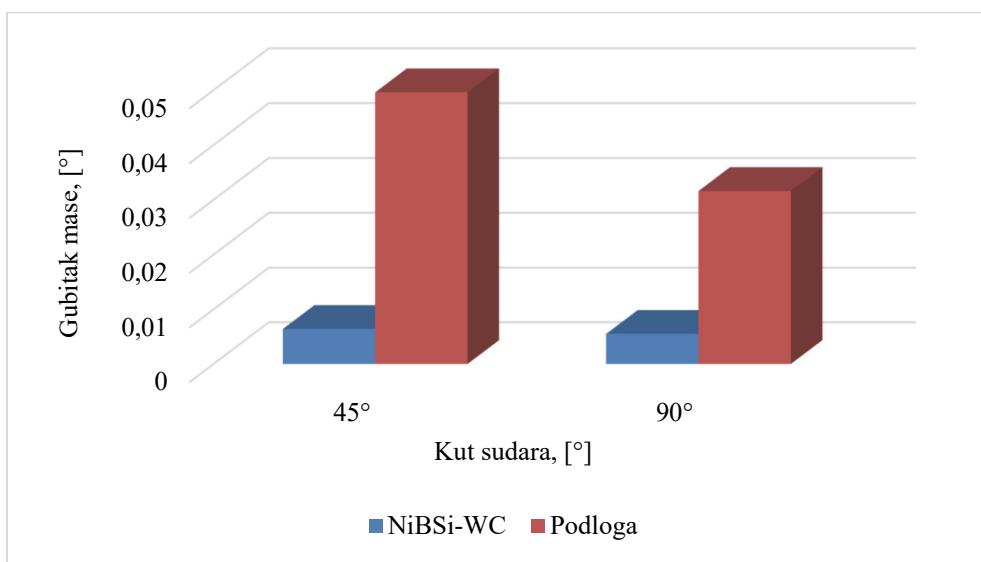
Analizom gubitaka mase prikazanih u tablici 2, vidljivo je da su svi uzorci imali veći gubitak mase prilikom prvog ponavljanja. Slično ponašanje uzorka, uočili su autori [14] koji navode da se uzorci u početku ispitivanja više troše dok se ne postigne razina "ustaljenog" trošenja, odnosno, dok se ne uklone površinske neravnine nakon čega dolazi do smanjenja trošenja.

*Tablica 3. Prosječni gubitak mase ispitivanih uzoraka*

Uzorak	Kut sudara, [°]	Masa, [g]		
		Gubitak mase nakon 1. ponavljanja	Gubitak mase nakon 2. ponavljanja	Prosječni gubitak mase
NiBSi-WC	45	0,0082	0,0046	0,0064
NiBSi-WC	90	0,0077	0,0033	0,0055
Podloga	45	0,0512	0,0480	0,0496
Podloga	90	0,0338	0,0294	0,0316

Na slici 6, dan je usporedni dijagramske prikaz gubitka mase uzoraka s NiBSi-WC prevlakom i podloge bez prevlake u ovisnosti o kutu sudara abraziva i trošene površine. Iz tablice 2 i dijagramskega prikaza gubitka mase danog na slici 6, uočava se veći gubitak mase pri manjem kutu sudara ( $45^\circ$ ) u odnosu na kut sudara od  $90^\circ$  kod svih ispitnih uzoraka. Posljedica takvog rezultata je duži kontakt čestica abraziva i trošene površine pri manjem kutu sudara promatrano na razini jediničnog događaja. Pri manjem kutu sudara, čestice abraziva nakon kontakta s trošenom površinom nastavljaju kliziti po površini, dok se pri većem kutu sudara čestice abraziva više odbijaju od površine pa je to klizanje kraće.

Također, iz slike 6 može se uočiti da je prevlaka NiBSi-WC imala znatno manji gubitak mase u odnosu na podlogu bez prevlake pri oba kuta sudara. Posljedica takvog ponašanja je znatno veća površinska tvrdoća NiBSi-WC prevlake (51 HRC) u odnosu na podlogu bez prevlake (37 HRC).



*Slika 6 Usporedni dijagramske prikaz gubitka mase*

Analizom prosječnog gubitka mase iz tablice 2, pri kutu sudara od  $45^\circ$  prevlaka NiBSi-WC imala je 7,75 (0,0496/0,0064) puta manji gubitak mase u odnosu na podlogu bez prevlake, dok je pri kutu sudara od  $90^\circ$ , prevlaka NiBSi-WC imala 5,75 (0,0316/0,0055) puta manji gubitak mase u odnosu na podlogu. Ovakav rezultat ukazuje na opravdanost primjene NiBSi-WC prevlake kao zaštite od trošenja radnih dijelova poljoprivredne mehanizacije koji su tijekom eksploatacije izloženi djelovanju mase abraziva (tla).

## 5 ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata provedenog istraživanja utvrđeno je da NiBSi-WC prevlaka ima manji gubitak mase u odnosu na podlogu bez prevlake (čelik 42CrMo4+QT) pri oba kuta sudara ( $45^\circ$  i  $90^\circ$ ), što je posljedica značajno veće površinske tvrdoće prevlake u odnosu na podlogu bez prevlake. Ovakav rezultat ukazuje na opravdanost primjene navedene prevlake kao zaštite od trošenja radnih dijelova poljoprivredne mehanizacije.

Usporedbom gubitka mase ispitivanih uzoraka, utvrđen je veći gubitak mase pri manjem kutu sudara ( $45^\circ$ ) u odnosu na veći kut sudara ( $90^\circ$ ), kod svih ispitivanih uzoraka. Razlog takvog rezultata je veća duljina trajanja kontakta čestica abraziva i trošene površine pri manjem kutu sudara jer čestice abraziva nakon kontakta s trošenom površinom pri manjem kutu sudara nastavljaju kliziti po površini, dok se pri većem kutu sudara odbijaju od trošene površine.

Na temelju rezultata istraživanja, uočena je potreba nastavka ovog istraživanja u smislu utvrđivanja ovisnosti gubitka mase o brzini uzorka (budući je ispitivanje provedeno pri istoj brzini), zatim o različitoj granulaciji abraziva te o vrsti prevlake.

## ZAHVALA

Ovo istraživanje provedeno je u okviru projekta "Materijali i tehnologije u funkciji povećanja trajnosti poljoprivredne tehnike", podržanog od strane Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek u okviru istraživačkog tima AgroGIT - Tehnički i tehnološki sustavi biljne proizvodnje, GIS i zaštita okoliša.

## 6 LITERATURA

- [1] Ivušić, V. (1998). Tribologija. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 86 str.
- [2] Narayanaswamy, B., Hodgson, P., & Beladi, H. (2016). Effect of particle characteristics on the two-body abrasive wear behaviour of a pearlitic steel. *Wear*, 354-355, 41-52.
- [3] Vidaković, I., Heffer, G., Šimunović, K., & Rozing, G. (2021). Application of heat treatment in wear protection for working parts of agricultural machinery. *10<sup>th</sup> International Conference Mechanical Technologies and Structural Materials 2021*, 23-24 September, 2021, Split, Croatia, 159-165.
- [4] Kesavan, D., & Kamaraj, M. (2011). A Study on Influence of Aging Treatment on Sliding Wear Resistance of a Nickel Based Hardfacing Alloy. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 64(4-5), 453-460.
- [5] Reinaldo, P. R., & Oliveira, A. S. C. M. D. (2013). NiCrSiB Coatings Deposited by Plasma Transferred Arc on Different Steel Substrates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(2), 590-597.
- [6] Maslarevic, A., Bakic, G. M., Djukic, M. B., Rajcic, B., Maksimovic, V., & Pavkov., V. (2019). Microstructure and Wear Behavior of MMC Coatings Deposited by Plasma Transferred Arc Welding and Thermal Flame Spraying Processes. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73, 259-271.
- [7] Brezinová, J., Landová, M., Guzanová, A., Dulebová, L., & Draganovská, D. (2018). Microstructure, Wear Behavior and Corrosion Resistance of WC-FeCrAl and WC-WB-Co Coatings. *Metals*, 8(6), 399.
- [8] Sari, N. Y., & Yilmaz, M. (2006). Investigation of abrasive + erosive wear behaviour of surface hardening methods applied to AISI 1050 steel. *Materials and Design*, 27, 470-478.
- [9] Heffer, G., Samardžić, I., Schauperl, Z., & Vidaković, I. (2018). Wear of Induction Cladded Coating in the Abrasive Mass at Various Speeds and Impact Angles. *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 25(6), 1776-1782.
- [10] Dizdar, S., Skoglund, P., & Bengtsson, S. Process, quality and properties of high-density P/M gears. *Höganäs AB, Research and Development*. Höganäs, Sweden, 10 str.
- [11] Fauchais, P. L., Heberlein, J. V. R., & Boulos, M. I. (2014). Thermal Spray Fundamentals, From Powder to Parts. New York, Heidelberg, Dordrecht, London, Springer, 1566 str.
- [12] KEMA tehnički list za pijesak FUGA SAND, Baumit Crna Gora d.o.o., Podgorica, 2015.
- [13] Bakić, G. M., Maksimović, V., Maslarević. A., Djukić, M. B., Rajičić, B., & Djordjević, A. (2015). Microstructural characterization of WC and CrC based coatings applied by different processes. *Proceedings and Book of Abstracts, Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe 2015*, 4-5 June, 2015, Belgrade, Serbia, 195-201.
- [14] Ratia, V., Valtonen, K., & Kuokkala V. -T. (2013). Impact-abrasion wear of wear resistant steels at perpendicular and tilted angles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: Journal of Engineering Tribology*, 227, 868-877.