

Vpliv globine obdelave tal z vrtavkasto brano na porabo energije in pripravo setvenega sloja pred setvijo koruze

Rajko BERNIK¹, Filip VUČAJNK¹

Received July 30, 2018; accepted November 23, 2018.

Delo je prispelo 30. julija 2018, sprejeto 23. novembra 2018.

IZVLEČEK

Na Laboratorijskem polju Biotehniške fakultete smo v letu 2012 izvedli poljski poskus, v katerem smo želeli ugotoviti vpliv obdelave tal na porabo energije, na fizikalno mehanske lastnosti tal v setveni posteljici in na vznik koruze. Za predsetveno pripravo tal smo uporabili vrtavkasto brano, s katero smo nastavili globino obdelave tal na 5 cm, 10 cm in 15 cm (dejansko dosežene globine tal 7,3 cm, 8,7 cm in 11,2 cm). Poskusna zasnova so bili slučajni bloki. V poskusu smo uporabili traktor z brezstopenjskim menjalnikom z imensko močjo 73 kW in vrtavkasto brano z delovno širino 2,5 m. Hitrost obdelave tal na traktometru je bila 5,0 km h⁻¹ in vrtilna frekvenca motorja 1900 min⁻¹. Poraba goriva na uro, poraba goriva na hektar ter poraba energije na hektar so naraščali s povečanjem nastavljenih globine obdelave tal z vrtavkasto brano od 5 do 15 cm. Pri nastavljenih globinah obdelave tal 10 in 15 cm je bila vertikalna upornost tal na globinah med 8 in 13 cm manjša kot pri globini obdelave tal 5 cm. Med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal z vrtavkasto brano ni bilo značilnih razlik v fizikalnih lastnosti tal v setveni posteljici in vzniku koruze. Globina obdelave tal 5 cm je bila najprimernejša, tako glede porabe goriva in porabe energije, kot tudi fizikalno mehanskih lastnosti tal v setvenem sloju in poljskega vznika koruze.

Ključne besede: obdelava tal; vrtavkasta brana; poraba energije; fizikalno-mehanske lastnosti tal; koruza

ABSTRACT

INFLUENCE OF SOIL CULTIVATION DEPTH ON ENERGY CONSUMPTION AND ON PREPARATION OF SEED BED USING ROTARY HARROW BEFORE MAIZE PLANTING

In 2012 on the Laboratory Field of Biotechnical Faculty the field trial was carried out, trying to establish the influence of the soil cultivation on the fuel consumption, on the physical-mechanical soil properties of the seed bed and at the end on the field emergence of maize. A rotary harrow was used for soil preparation just before maize planting and it was adjusted to the soil cultivation depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm. The trial was designed as random blocks. A tractor with stepless transmission and nominal power of 73 kW and a rotary harrow with working width of 2.5 m were used. The speed of soil cultivation was 5.0 km h⁻¹ on the tractometer and the engine rotational frequency was 1900 rpm. The fuel consumption per hour, the fuel consumption per hectare and the energy consumption per hectare increased by increasing the adjusted soil depth cultivation from 5 cm to 15 cm using the rotary harrow. At the adjusted soil cultivation depth of 10 and 15 cm, the vertical soil resistance at depths between 8 and 13 cm was lower than at the adjusted soil depths of 5 cm. No significant differences were found regarding the soil physical properties in the seed bed and the field emergence of maize among three adjusted soil cultivation depths. The soil cultivation depth of 10 cm proved to be the most appropriate in view of the fuel consumption, energy consumption as well as the physical-mechanical soil properties of the seed bed and plant emergence.

Key words: soil cultivation; rotary harrow; energy consumption; physical-mechanical soil properties; maize

¹ University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Agronomy Department, Jamnikarjeva ulica 101, SI-1111 Ljubljana, Slovenia, *corresponding author: filip.vucajnk@bf.uni-lj.si

1 UVOD

Z dopolnilno obdelavo tal poskrbimo, da je velikost talnih delcev v setveni plasti ustrezna in so s tem tla optimalno pripravljena za setev (Bernik, 2005). Obdelava tal je eden najpomembnejših, energetsko potratnih in dragih tehnoloških postopkov pri pridelavi rastlin. Ustrezen način obdelave tal je odvisen od rastlinske vrste, vremenskih razmer, fizikalno mehanskih lastnosti tal, obstoječih strojev za obdelavo tal in ostalih dejavnikov. Vsak način obdelave tal ima določene prednosti in slabosti. Pri konvencionalni obdelavi tal je večja možnost za doseganje večjih pridelkov in boljše kakovosti kot pri drugih načinih obdelave tal. Po drugi strani je zaradi slabe storilnosti strojev in potrebe po močnejših traktorjih konvencionalna obdelava tal dražja (Šarauski in sod., 2014). Isti avtorji so v poskusu primerjali globoko in plitvo oranje, globoko in plitko rahljanje tal ter direktno setev pri pridelavi koruze. Pri reducirani obdelavi tal brez oranja je bila poraba goriva 12-58 % manjša kot pri konvencionalni obdelavi tal, ki je vključevala oranje. Zaradi manjše porabe goriva so bili pri reducirani obdelavi tal manjši stroški in manjši izpusti CO₂. Pri uporabi kmetijskih strojev pri reducirani obdelavi tal znašajo izpusti CO₂ v okolje 107-223 kg ha⁻¹, medtem ko pri globokem oranju 253 kg ha⁻¹ CO₂.

Mileusnić in sod. (2010) so primerjali različne načine obdelave tal glede na porabo goriva. V poskusu so primerjali 4 različne traktorje s priključenimi stroji za konvencionalno ter konzervirajočo obdelavo tal ter direktno setev. Pri konvencionalni obdelavi tal je pri vseh uporabljenih traktorjih znašala energijska poraba goriva od 412 do 740 MJ ha⁻¹. V primeru konzervirajoče obdelave tal je le-ta segala od 183 do 266 MJ ha⁻¹, medtem ko je bila pri direktni setvi med 80 do 284 MJ ha⁻¹. Energijska poraba goriva (MJ ha⁻¹) se izračuna kot produkt porabljene količine nafte (kg ha⁻¹) in kurilne vrednosti plinskega olja (42 MJ kg⁻¹).

Deperon Júnior in sod. (2016) so analizirali stroje za obdelavo tal pri pridelavi koruze, in sicer diskasto brano, plug in rahljalik ter 4 stopnje zbitosti tal. Prva stopnja pomeni, da ni bilo prehoda traktorja, druga stopnja pomeni 3 prehode traktorja, tretja stopnja pomeni 6 prehodov traktorja in četrta stopnja pomeni 9 prehodov traktorja. Rezultati kažejo, da izbira stroja za obdelavo tal vpliva na volumsko gostoto tal in poroznost tal na globini 0-10 cm. Zaradi večje zbitosti tal se je povečala vertikalna upornost tal na globini 0-30 cm. Pri vertikalni upornosti tal nad 153 N cm⁻² se je linearno zmanjšal pridelek suhe snovi in pridelek zrnja. Če je bila vertikalna upornost tal večja kot 218 N cm⁻², se je zmanjšala tudi suha snov korenin.

Z uporabo ustreznih strojev za obdelavo tal je mogoče zmanjšati stroške energije pri rastlinski pridelavi (Mani in sod., 2007; Ozkan in sod., 2007; Tabatabaeeefar in sod., 2009). Način obdelave tal vpliva na lastnosti tal, kot so volumska gostota tal, poroznost in zbitost tal (Strudley in sod., 2015). Vertikalna upornost tal služi kot indikator vpliva obdelave tal in števila prehodov tal s kmetijskimi stroji na talne lastnosti. Veliko raziskav je bilo narejenih o vplivu števila prehodov tal s kmetijskimi stroji na vertikalno upornost tal (Carrara in sod., 2007; Koch in sod., 2008). Ugotovljeno je bilo, da vertikalna upornost tal narašča s povečanjem števila prehodov (Barik in sod., 2014). Botta in sod. (2004) so ugotovili, da je zaradi večje vertikalne upornosti tal prišlo do zmanjšanja pridelka soje od 10 do 38 %. Pri konvencionalni obdelavi tal, ki vključuje oranje s plugom, je v zgornji plasti tal manjša vertikalna upornost tal za 230 N cm⁻² kot pri konzervirajoči obdelavi tal in tudi direktni setvi (Kuhwald in sod., 2016). Pri slednjih dveh obdelavah tal znaša vertikalna upornost tal 380 N cm⁻² v zgornjih 30 cm tal, medtem ko pri konvencionalni obdelavi tal le 150 N cm⁻². Na drugi strani nastane pri konzervirajoči obdelavi tal večje število por in večja hidravlična prevodnost na globini 30-35 cm kot pri konvencionalni obdelavi tal. Zaradi obračanja na koncu njive se tam pojavi največja vertikalna upornost tal, in sicer 600 N cm⁻².

Pred setvijo koruze je pomembna pravilna delovna globina predsetvene priprave tal, ki je odvisna tudi od priporočene globine setve koruze. Kot splošno priporočilo naj bi globina setve koruze znašala 5 cm, nikakor pa ne sme biti manjša kot 3,8 cm (Crop Focus, 2015). V setveni posteljici in tudi na površini tal ne sme biti prevelikih talnih delcev, ki bi lahko ovirali vznik rastlin.

V Sloveniji za predsetveno pripravo tal v mnogih primerih uporabljajo vrtavkasto brano. Njena uporaba je smiselna na srednje težkih do težkih tleh, pri katerih samo z rotirajočimi elementi dosežemo zadovoljivo drobljenje talnih delcev in optimalno pripravo setvene posteljice. Zaradi zgoraj naštetih dejavnikov smo se odločili za poskus, v katerem smo uporabili tri različne nastavitve globine obdelave tal, in sicer 5, 10 in 15 cm pri predsetveni pripravi tal z vrtavkasto brano za kasnejšo setev koruze. Namen dela je bil ugotoviti primerno delovno globino pri predsetveni pripravi tal za setev koruze za zrnje na težkih tleh. Pri tem nas je zanimala poraba energije, fizikalno-mehanske lastnosti tal v setvenem sloju, dejanska globina obdelave tal in na koncu tudi vznik koruze.

2 MATERIALI IN METODE

Poskusna zasnova so bili naključni bloki s štirimi ponovitvami. Obravnavali smo tri različne nastavljene globine obdelave tal pri delu z vrtavkasto brano pred setvijo koruze, in sicer 5 cm, 10 cm in 15 cm. Posamezna parcela je bila dolga 100 m in široka 2,5 m. V poskusu smo uporabili traktor imenske moči 73 kW in vrtavkasto brano delovne širine 2,5 m. Vrtilna frekvenca priključne gredi traktorja pri delu z vrtavkasto brano je bila 540 min^{-1} , medtem ko je bila vrtilna frekvenca nožev 284 min^{-1} . Nastavljena delovna hitrost na tempomatu je znašala $5,0 \text{ km h}^{-1}$. Za doseganje zelene globine obdelave tal 5, 10 in 15 cm smo postavili sornik na nosilcu stroja v 3 različne izvrtine. Dolžina nožev na vrtavkasti brani je znašala 280 mm. Porabo goriva na uro smo odčitali na traktometru vsakih 20 m na posamezni poskusni parceli. Na podlagi porabe goriva na uro in površinske storilnosti smo izračunali porabo goriva na hektar. Nato smo iz porabe goriva na hektar in kurilne vrednosti plinskega olja (42 MJ kg^{-1}) določili porabo energije na hektar.

Globino obdelave tal smo izmerili z merilnim trakom na petih naključnih mestih pri vsakem obravnavanju. Vertikalno upornost tal smo merili z vertikalnim hidravličnim penetrometrom.

Hitrost pomikanja konice potenciometra v tla je $1,8 \text{ cm s}^{-1}$, frekvenca meritev pa 10 Hz. Podatki meritev so se shranjevali v .txt datoteko. Podatki meritev se obdelajo v programu LabView. Program izračuna vertikalno upornost tal za vsak centimeter globine in tudi povprečno vertikalno upornost tal do globine 25 cm. Meritev velikosti talnih delcev smo opravili do globine obdelave tal, in sicer po en vzorec za vsako obravnavanje. Vzorec tal smo vzeli na naključnem mestu s posebno lopato in ga stresli na sita, ki so bila zložena eden na drugega. Mase s sit s talnimi delci smo stehali na elektronski tehtnici Kern. Sita so imela različne velikosti mrež, in sicer 50, 30, 10, 5, 3, 1 in 0,5 mm. Na podlagi mase posameznih frakcij talnih delcev

in skupne mase talnih delcev smo izračunali povprečni masni premer talnih delcev.

S Kopeckijevimi cilindri smo vzeli vzorce tal do globine obdelave tal z vrtavkasto brano. Vzorce smo po odvzemu najprej stehali, nato pa smo jih 24 ur sušili na $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Po koncu sušenja smo jih ponovno stehali in na izračunali volumsko gostoto tal, poroznost in masni odstotek vode.

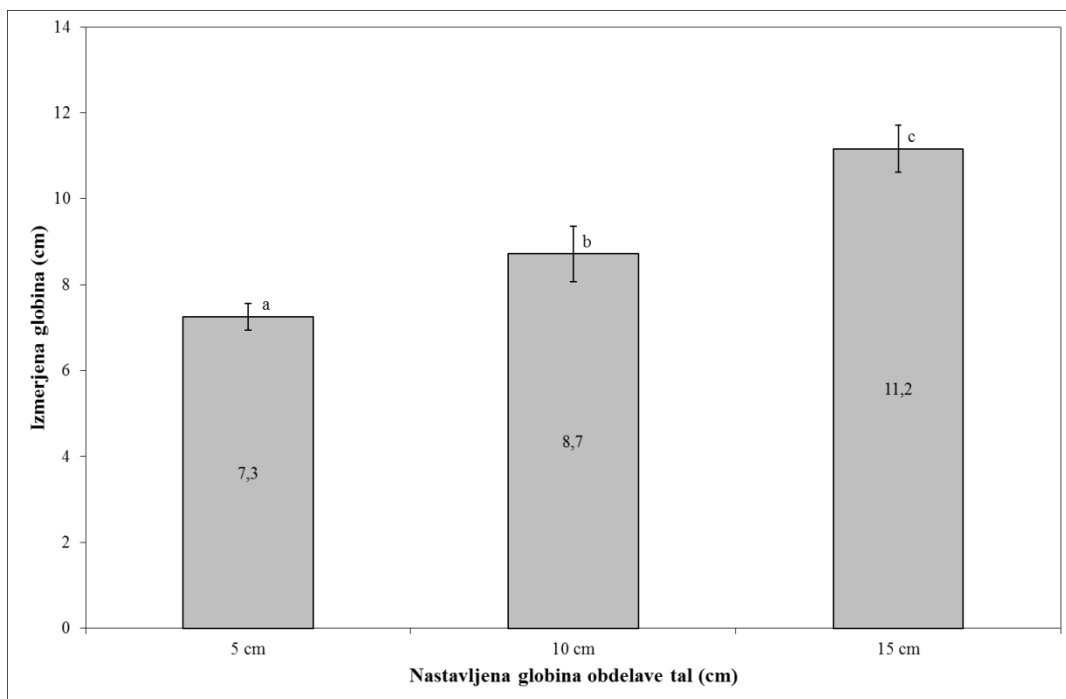
Koruzo smo posejali 12.05. 2012 s pnevmatsko nadtlačno sejalnico za presledno setev Becker Aeromat 2. Na sejalnici smo najprej nastavili medvrstno razdaljo na 70 cm. Sejalnico smo s potisnim kolesom nastavili na želeno globino setve 5 cm. V poskusu smo uporabili seme koruze proizvajalca Pioneer du Pont hibrid PR39B29, zrelostni razred FAO 180. Proizvajalec priporoča gostoto setve od 90000 do 95000 zrn na hektar. Sejalnico smo nastavili na razdaljo med semeni v vrsti 15,5 cm, kar je pomenilo gostoto 92166 semena na hektar. Vznik koruze smo določili 13 dni po setvi tako, da smo na naključnem mestu prešteli rastline na dolžini 15,5 m. Povprečna dnevna temperatura zraka je v obdobju od priprave tal do vznika znašala $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$, medtem ko je bila količina padavin v tem obdobju 84,9 mm (Meteo, 2018).

V programu Statgraphics Centurion 16 smo opravili analizo variance po postopku za slučajne bloke. Za ugotavljanje statističnih razlik med obravnavaji smo uporabili Duncanov test mnogoterih primerjav pri 5 % tveganju. Razlike med obravnavaji smo označili z različnimi črkami. Z regresijsko analizo smo ugotavljali odvisnost porabe energije na hektar od dejanske globine obdelave tal z vrtavkasto brano. Najprej smo preverili, kateri model je najprimernejši in nato izračunali ocene za posamezne parametre modela. Kasneje smo naredili analizo variance in izračunali F-statistiko, koeficient determinacije, koeficient korelacije in standardno napako regresije.

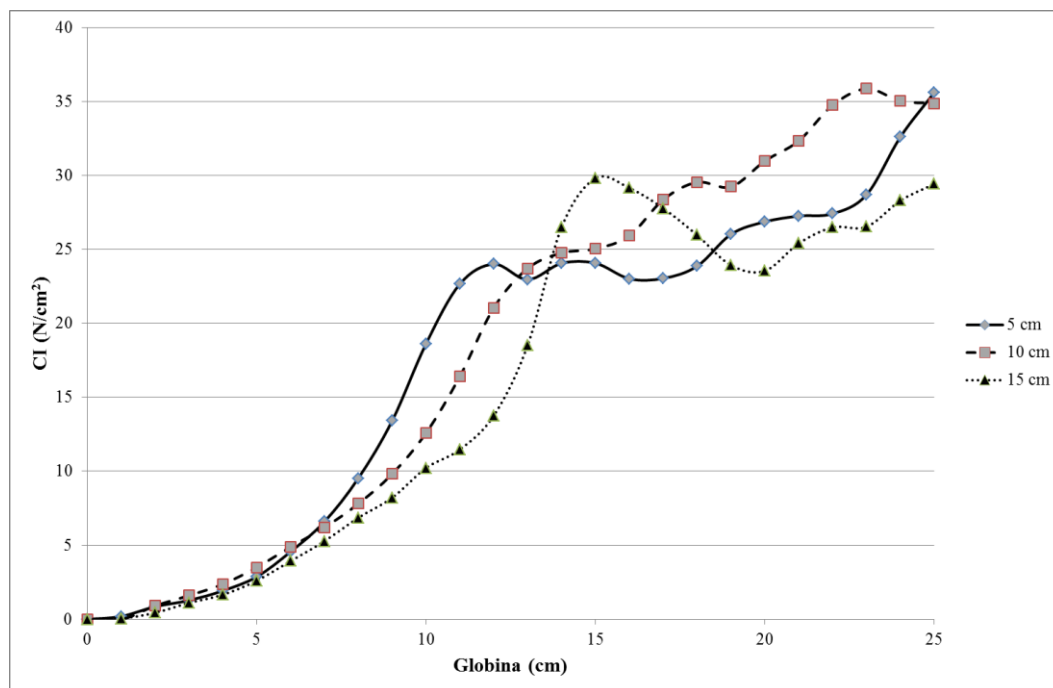
3 REZULTATI

Pri nastavljeni globini obdelave tal z vrtavkasto brano 5 cm je bila dejanska izmerjena globina nekoliko večja, in sicer 7,3 cm. Pri nastavljeni globini obdelave tal 10

cm in 15 cm je bila dejanska globina obdelave tal manjša, in sicer je znašala 8,7 cm oz. 11,2 cm (slika 1).



Slika 1: Izmerjena globina tal pri treh nastavljenih globinah obdelave tal z vrtavkasto brano
Figure 1: Measured values of soil depth at three adjusted soil depths using rotary harrow



Slika 2: Vertikalna upornost tal pri treh globinah obdelave tal z vrtavkasto brano
Figure 2: Vertical soil resistance at three soil cultivation depths using rotary harrow

Na sliki 2 je prikazana vertikalna upornost tal pri treh globinah obdelave tal z vrtavkasto brano. Do globine obdelave tal 7 cm ni bilo značilnih razlik v vertikalni upornosti tal med tremi nastavljenimi globinami

obdelave tal (Pregl. 1). Vertikalna upornost tal je na območju globine 0-7 cm znašala do $6,6 \text{ N cm}^{-2}$. Na 8 cm globine je bila pri nastavljeni globini 5 cm vertikalna upornost tal ($9,5 \text{ N cm}^{-2}$) značilno večja kot pri

nastavljeni globini obdelave 15 cm ($6,9 \text{ N cm}^{-2}$). Na globinah 9 in 10 cm je bila vertikalna upornost tal pri nastavljeni globini obdelave 5 cm značilno večja kot pri ostalih dveh nastavljenih globinah 10 in 15 cm. Na globini meritve 11 cm so bile med vsemi tremi nastavljenimi globinami značilne razlike. Pri nastavljeni globini obdelave tal 5 cm je bila največja vertikalna upornost tal ($22,7 \text{ N cm}^{-2}$), medtem ko je bila najmanjša vertikalna upornost tal pri nastavljeni globini 15 cm

($11,4 \text{ N cm}^{-2}$). Pri nastavljeni globini obdelave tal 10 cm je bila vertikalna upornost vmes med obema globinama obdelave tal 5 in 15 cm. Na globini meritve 12 cm je bila vertikalna upornost tal pri nastavljenih globinah 5 in 10 cm značilno večja kot pri globini meritve 15 cm. Na globinah meritve 13-15 cm ni bilo značilnih razlik med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal v vertikalni upornosti tal.

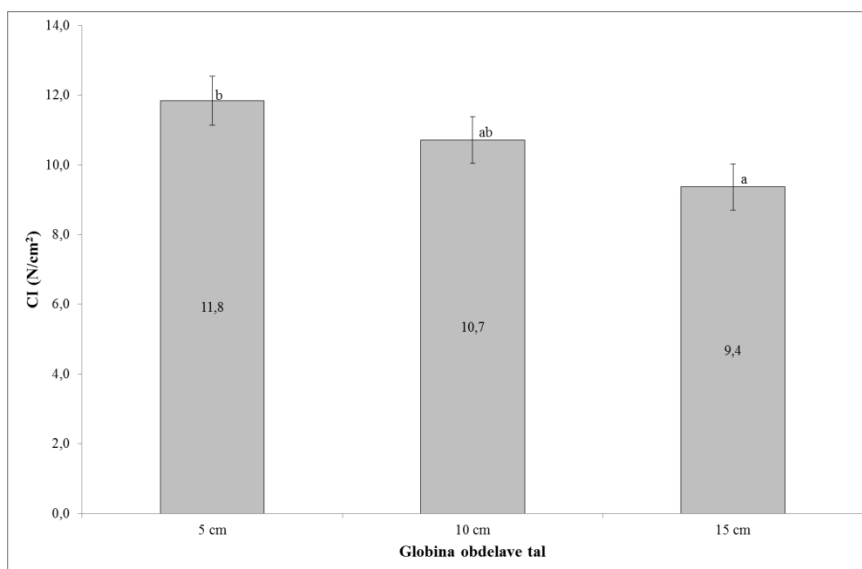
Preglednica 1: Razlike v vertikalni upornosti tal (CI) po globini meritev med posameznimi obravnavanji
Table 1: Differences in vertical soil resistance (CI) at measurement depths between individual treatments

Globina (cm)	Značilnost razlik	CI (N cm^{-2})		
		5 cm	10 cm	15 cm
1	p = 0,0783	0,2 a*	-0,02 a	0,19 a
2	p = 0,4034	0,9 a	0,9 a	0,4 a
3	p = 0,5015	1,3 a	1,6 a	1,1 a
4	p = 0,2764	1,9 a	2,4 a	1,7 a
5	p = 0,2525	2,9 a	3,5 a	2,6 a
6	p = 0,3669	4,6 a	4,9 a	3,9 a
7	p = 0,1935	6,6 a	6,2 a	5,3 a
8	p = 0,0236	9,5 b	7,8 ab	6,9 a
9	p = 0,0002	13,4 b	9,8 a	8,2 a
10	p = 0,0001	18,6 b	12,6 a	10,2 a
11	p = 0,0001	22,7 c	16,4 b	11,4 a
12	p = 0,0001	24,0 b	21,1 b	13,8 a
13	p = 0,0915	23,0 a	23,7 a	18,5 a
14	p = 0,7019	24,1 a	24,8 a	26,5 a
15	p = 0,1015	24,1 a	25,0 a	29,8 a

* različne črke v isti vrsti pomenijo statistično značilno razliko po Duncanov testu ($\alpha = 0,05$)

Izračunali smo tudi povprečno vertikalno upornost tal na območju globine 0-15 cm pri vseh treh nastavljenih globinah obdelave tal z vrtavkasto brano (Slika 3). Pri

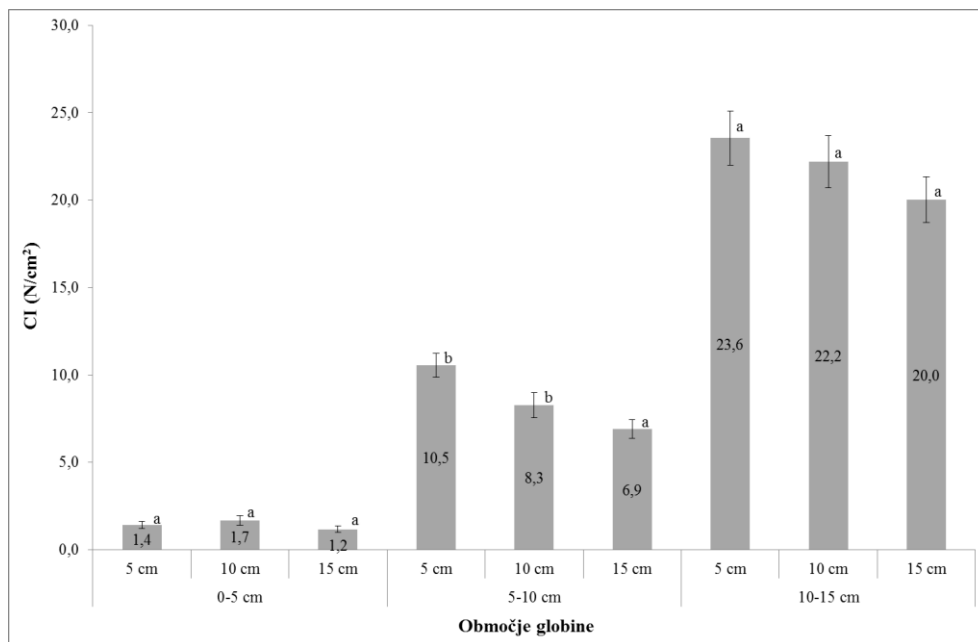
nastavljeni globini obdelave tal 5 cm je bila vertikalna upornost tal značilno večja kot pri globini obdelave tal 15 cm ($9,4 \text{ N cm}^{-2}$).



Slika 3: Povprečna vertikalna upornost tal za območje globine 0-15 cm
Figure 3: Mean vertical soil resistance at the depth area of 0 to 15 cm

Na območju globine 0-5 cm ni bilo značilnih razlik v povprečni vertikalni upornosti tal med tremi nastavljenimi globinami (slika 4). Pri nastavljeni globini obdelave tal 5 in 10 cm je bila vertikalna upornost tal na

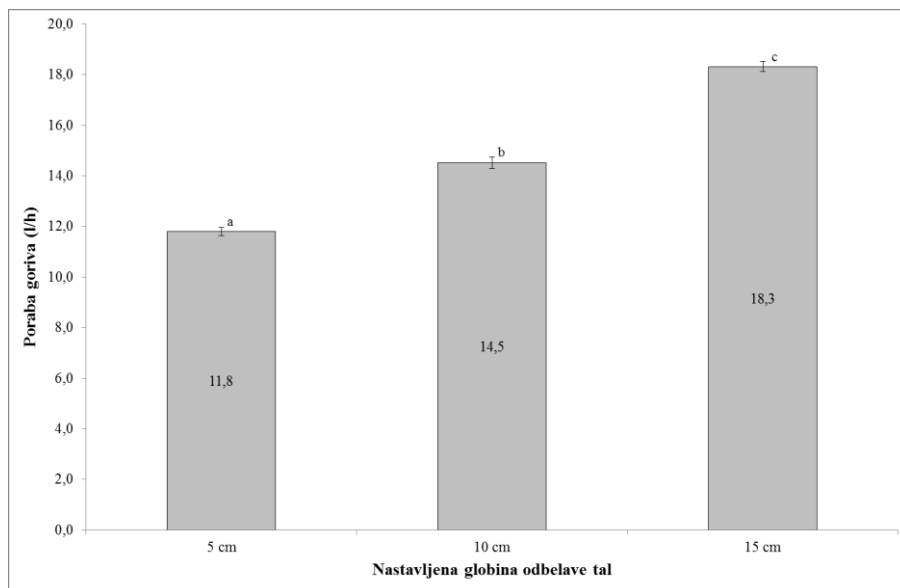
območju globine 5-10 cm značilno večja kot pri nastavljeni globini obdelave tal 15 cm. Na območju globine 10-15 cm ni bilo značilnih razlik med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal.



Slika 4: Povprečna vertikalna upornost tal po globinah 0-5 cm, 5-10 cm in 10-15 cm
Figure 4: Mean vertical soil resistance at depths of 0-5 cm, 5-10 cm and 10-15 cm

Poraba goriva na uro je naraščala s povečanjem nastavljenih globine tal (Slika 5). Najmanjša poraba goriva na uro je bila pri nastavljeni globini obdelave tal 5 cm, in sicer 11,8 l h⁻¹. Pri nastavljeni globini obdelave

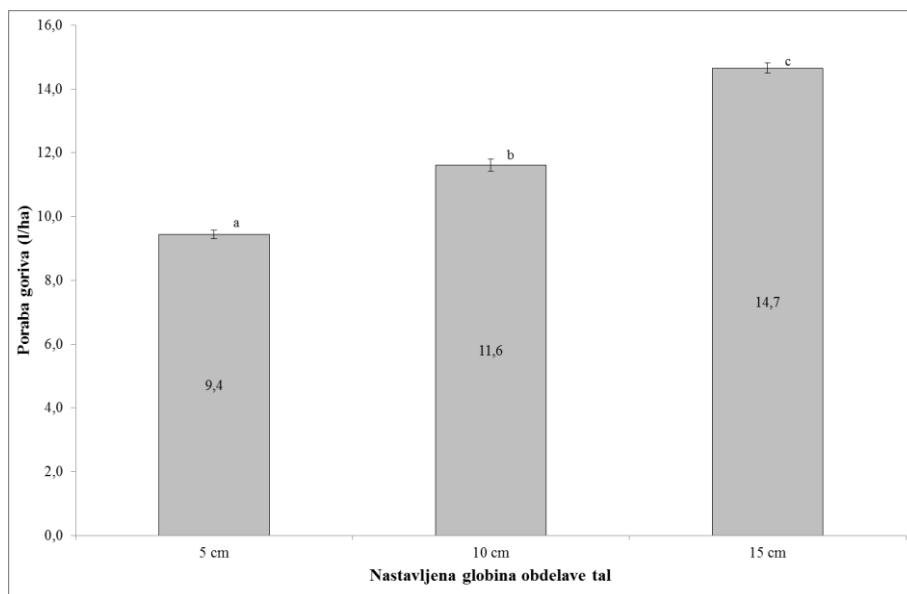
tal 15 cm smo dosegli največjo porabo goriva uro (18,3 l h⁻¹). Pri nastavljeni globini obdelave tal 10 cm je znašala poraba goriva 14,5 l h⁻¹, kar je bilo vmes med porabo goriva pri 5 in 15 cm nastavljenih globine.



Slika 5: Poraba goriva na uro pri treh nastavljenih globinah obdelave tal
Figure 5: Fuel consumption per hour at three adjusted soil cultivation depths

Izračunali smo tudi porabo goriva na hektar (Slika 6). Tudi poraba goriva na hektar je naraščala s povečanjem nastavljene globine obdelave tal z vrtavkasto brano. Najmanjša poraba goriva na hektar je znašala 9,4 l ha⁻¹ pri nastavljeni globini obdelave 5 cm, medtem ko je bila

največja poraba 14,7 l ha⁻¹ pri nastavljeni globini obdelave 15 cm. Pri globini obdelave 10 cm je znašala 11,6 l ha⁻¹ in je bila vmes med obema globinama 5 in 15 cm.



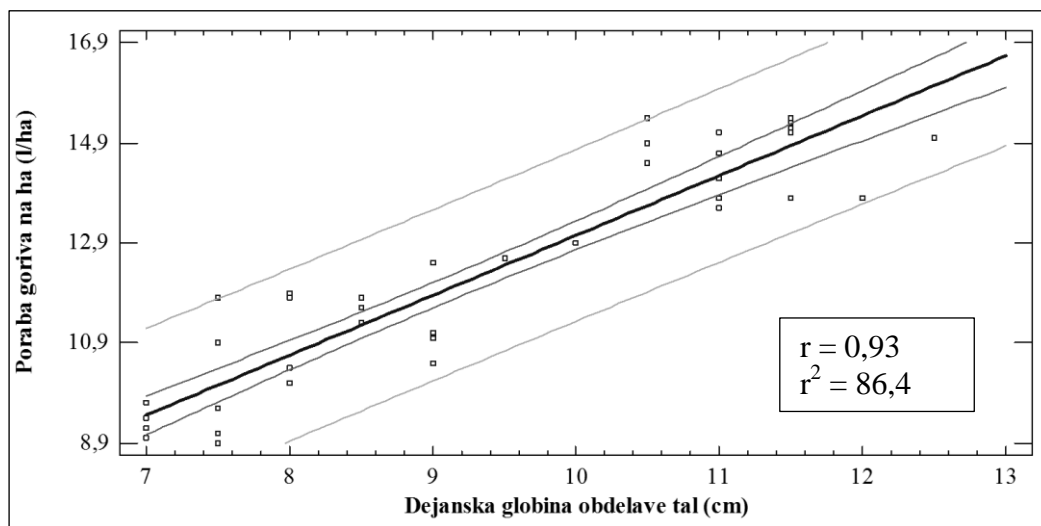
Slika 6: Poraba goriva na hektar pri treh globinah obdelave tal

Figure 6: Fuel consumption per hectare at three soil cultivation depths

Na sliki 7 je prikazana odvisnost porabe goriva na hektar od dejanske globine obdelave tal z vrtavkasto brano.

Če znaša globina obdelave tal z vrtavkasto brano 5,0 cm, bo predvidena poraba goriva znašala 7,1 l ha⁻¹. V kolikor bi bila globina obdelave tal 10 cm, bo napovedana poraba goriva znašala 13,0 l ha⁻¹. Za vsak cm v globini obdelave tal se poraba goriva poveča za 1,2 l ha⁻¹.

Model: Poraba na ha (l ha⁻¹) = 1,06815 + 1,19812*izmerjena globina (cm)

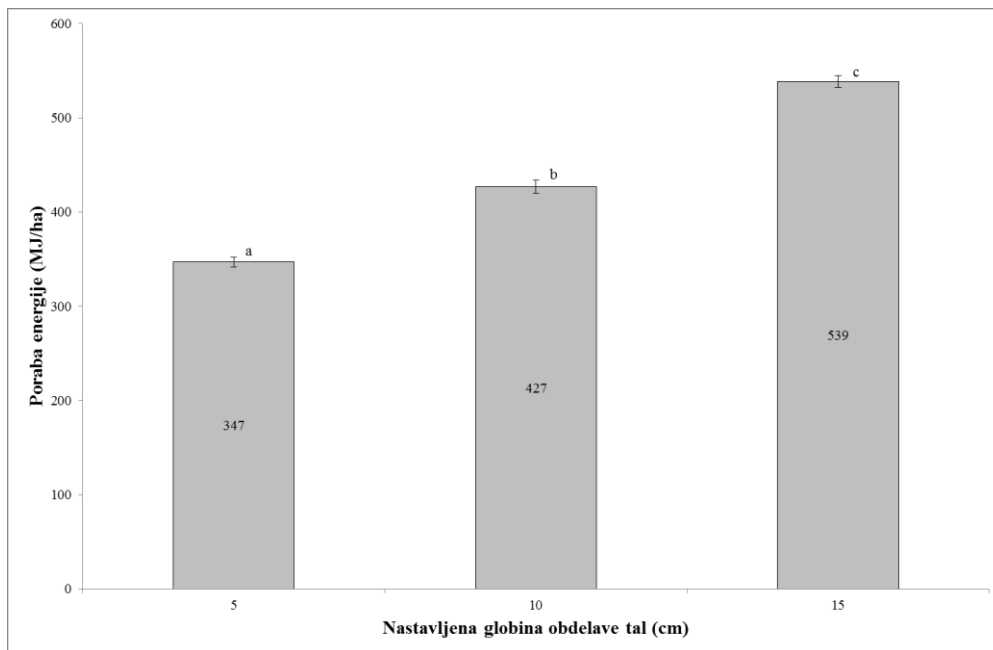


Slika 7: Linearni regresijski model za odvisnost porabe goriva na hektar od dejanske globine obdelave tal z intervali zaupanja za povprečno (notranji hiperboli) in posamezno napoved (zunanji hiperboli)

Figure 7: Linear regression model for the relationship between the fuel consumption per hectare and the actual soil cultivation depth with confidence intervals for the mean prediction (i.e. the inner bounds)

Poraba energije pri obdelavi tal z vrtavkasto brano na globini 5 cm je znašala 347 MJ ha⁻¹ in je bila najmanjša med vsemi tremi nastavljenimi globinami obdelave tal z vrtavkasto brano. Pri nastavljeni globini obdelave tal 15

cm je bila poraba energije največja in je znašala 539 MJ ha⁻¹ (Slika 8), medtem ko je pri nastavljeni globini obdelave tal 10 cm znašala 427 MJ ha⁻¹.



Slika 8: Poraba energije pri treh nastavljenih globinah obdelave tal z vrtavkasto brano

Figure 8: Energy consumption at three adjusted soil cultivation depths using rotary harrow

Med obravnavanji ni bilo ugotovljenih razlik v volumski gostoti tal, poroznosti, masnem odstotku vode in povprečnem masnem premeru talnih delcev. Volumska gostota tal je bila med 1,12 in 1,16 g cm⁻³,

medtem ko je poroznost znašala med 56,4 in 57,8 %. Masni odstotek vode se je gibal med 31,7 in 33,3 %, povprečni masni premer talnih delcev pa med 7,7 in 9,1 mm (Pregl. 2).

Preglednica 2: Volumska gostota tal, poroznost, masni odstotek vode v tleh in povprečni premer talnih delcev

Table 2: Soil density, soil porosity, soil water content and mean diameter of soil particles

Nastavljena globina	Volumska gostota tal (g cm ⁻³)	Poroznost (%)	Masni odstotek vode (%)	Povprečni premer talnih delcev (mm)
0 cm	1,12 a	57,8 a	33,3 a	7,7 a
5 cm	1,16 a	56,4 a	31,7 a	8,1 a
10 cm	1,15 a	56,4 a	32,5 a	9,1 a

Med nastavljenimi globinami setve ni bilo razlik v poljskem vzniku koruze. Le ta je znašal od 96,0 do 97,7 %.

Preglednica 3: Vznik koruze pri treh nastavljenih globinah obdelave tal

Table 3: Maize emergence at three adjusted soil cultivation depths

Nastavljena globina	Vznik (%)
0 cm	97,7 a
5 cm	96,3 a
10 cm	96,0 a

4 RAZPRAVA

Dejanska globina obdelave tal je bila za 2,3 cm večja od nastavljenih globin 5 cm. V tem primeru bi morali sornik na vrtavkasti brani prestaviti za 1 izvrtino nižje na nosilcu in s tem bi zmanjšali globino obdelave tal. Nastavljena globina 10 cm je bila za 1,3 cm manjša, kar pomeni, da bi morali sornik prestaviti za 1 izvrtino višje in s tem bi globino obdelave približali 10 cm. Pri nastavljeni globini 15 cm je bila dejanska globina za 3,8 cm manjša, kar pomeni, da bi morali sornik prestaviti za 2 luknji višje na nosilcu, s tem bi povečali delovno globino. Rezultati kažejo, da je dejansko globino obdelave tal težko natančno nastaviti predvsem pri večjih globinah.

Značilne razlike v vertikalni upornosti tal so se med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal z vrtavkasto brano 5 cm, 10 cm in 15 cm pojavile na globinah od 8-12 cm. Na globinah 8 cm, 9 cm in 10 cm je bila pri nastavljeni globini obdelave tal 5 cm večja vertikalna upornost tal, kot je bila pri nastavljenih globinah 10 cm in 15 cm. Ti rezultati so bili pričakovani, saj so noži pri nastavljenih globinah 10 cm in 15 cm rahljali zemljo na globinah od 8-10 cm, medtem ko se pri nastavljeni globini 5 cm to ni zgodilo. Na globinah 11 in 12 cm je bila pri nastavljeni globini obdelave tal 15 cm manjša vertikalna upornost tal kot pri ostalih dveh nastavljenih globinah obdelave tal 5 in 10 cm, kar je bilo pričakovano. Podobne razlike smo pričakovali tudi na globinah 14 in 15 cm, vendar je bila dejanska globina delovanja nožev pri nastavljeni globini 15 cm manjša. V poskusu se je izkazalo, da je izredno težko nastaviti natančno dejansko globino delovanja nožev, kljub temu da smo pred izvedbo poskusa te nastavitve izvedli na sosednji parceli. Neposrednih primerjav iz tujih raziskav ni. Večina raziskav glede vertikalne upornosti tal pri pridelavi koruze se nanaša na različne načine obdelave tal. Zeyada in sod. (2017) pišejo, da je v tleh z majhno do srednje veliko vertikalno upornostjo tal (od 60 do 165 N cm⁻²) najprimernejša globina obdelave tal z diskasto brano 10 cm. Na tleh z veliko vertikalno upornostjo tal (od 165 do 230 N cm⁻²) pa je potrebno tla obdelati do globine 20 cm. Podatki iz njihove raziskave se navezujejo na vertikalno upornost tal pred dopolnilno obdelavo tal, kar pa ni direktno primerljivo z našim poskusom, saj mi nismo merili vertikalne upornosti pred dopolnilno obdelavo tal. V našem poskusu je bila izmerjena vertikalna upornost tal bistveno manjša, in sicer ni preseгла 30 N cm⁻² na globini 15 cm, kolikor je znašala globina obdelave tal. Tako lahko trdimo, da je bila setvena posteljska zelo rahla in praktično nič zbita. Povprečna vertikalna upornost na globini 0-15 cm ni preseğala 12 N cm⁻². Kuhwald in sod. (2016) so ugotovili manjšo vertikalno upornost tal v zgornji plasti tal pri konvencionalni obdelavi tal v primerjavi s konzervirajočo obdelavo tal in neposredno setvijo.

Rezultate drugih raziskav o vertikalni upornosti tal ne moremo neposredno primerjati z našimi, saj gre za različne globine meritev vertikalne upornosti tal, različni čas meritev, različne načine obdelave tal, različne traktorje, stroje za obdelavo tal, različne vremenske razmere, itd.. Zaradi navedenega so vrednosti vertikalne upornosti v teh raziskavah precej večje od naših. Ker je neposrednih primerjav zelo malo, smo navedli nekatere rezultate raziskav. Deperon in sod. (2016) so ugotovili zmanjšanje pridelka koruznega zrnja in pridelka suhe snovi, če je znašala vertikalna upornost tal več kot 153 N cm⁻² pred dopolnilno obdelavo tal. Leghari in sod. (2016) trdijo, da je bila pri direktni setvi ugotovljena največja vertikalna upornost tal v primerjavi z konvencionalno in konzervirajočo obdelavo tal, in sicer je znašala 80 N cm⁻². Veliko je bilo raziskav o vplivu števila prehodov s kmetijskimi stroji, v katerih so ugotovili povečanje vertikalne upornosti tal s povečanjem števila prehodov po polju (Barik in sod., 2014; Koch in sod., 2008). Te rezultate ne moremo neposredno primerjati z našimi, saj mi števila prehodov v poskusu nismo obravnavali.

Poraba goriva na uro je naraščala s povečanjem globine obdelave tal z vrtavkasto brano, kar je bilo pričakovano. Bolj poglobljeno sliko glede porabe goriva nam pokaže poraba goriva na hektar. S povečanjem nastavljenih delovnih globin je značilno naraščala poraba goriva na hektar in to od 9,4 l ha⁻¹ pri nastavljeni globini 5 cm do 11,6 l ha⁻¹ pri nastavljeni globini 10 cm in na koncu do 14,7 l ha⁻¹ pri nastavljeni globini 15 cm. Naši rezultati glede porabe goriva na hektar pri delu z vrtavkasto brano so primerljivi z rezultati, ki jih navaja KTBL (2012), kjer znaša poraba goriva 10,4 l ha⁻¹, le da je v njihovem primeru delovna širina vrtavkaste brane znašala 3 m. Tudi Brehm (2010) je pri preizkušanju 3 m vrtavkaste brane na delovni globini 8 cm ugotovil porabo goriva 11,0 l ha⁻¹, kar je popolnoma primerljivo z našimi rezultati. Poraba goriva (l h⁻¹) je odvisna od imenske moči traktorja (kW) in specifične porabe goriva (g kWh⁻¹). Če primerjamo traktorja z isto imensko močjo, ki poganjata vrtavkasto brano iste delovne širine pri isti vozni hitrosti, bo poraba goriva na hektar manjša pri traktorju z manjšo specifično porabo goriva. V kolikor bi uporabili traktor z večjo imensko močjo in večjo specifično porabo goriva od našega v poskusu pri isti vozni hitrosti, bi bila poraba goriva na hektar večja kot je bila v našem poskusu. Traktor Fendt 210 Varjo, ki je bil uporabljen v poskusu, ima pri imenski moči 70 kW specifično porabo goriva 210 g kWh⁻¹, kar pomeni zelo majhno specifično porabo goriva. Odvisnost porabe goriva na hektar od dejanske globine obdelave tal z vrtavkasto brano smo potrdili z linearnim regresijskim modelom. 86,4 % variabilnosti porabe goriva na hektar pojasni dejanska globina

obdelave tal, ostali del ostane nepojasnen. Koeficient korelacije znaša 0,99, kar pomeni močno povezavo med porabo goriva na hektar in dejansko globino obdelave tal.

Mileusnić in sod. (2010) so izračunali energijsko porabo goriva pri različnih načinih obdelave tal (MJ ha^{-1}) kot produkt porabljenega količine plinskega olja (kg ha^{-1}) in kurilne vrednosti plinskega olja (42 MJ kg^{-1}). Če naše podatke o porabi goriva v litrih na hektar pretvorimo v kg ha^{-1} in pomnožimo s 42 MJ kg^{-1} , dobimo energijsko porabo goriva na hektar. Pri nastavljeni globini obdelave tal 5 cm z vrtavkasto brano znaša poraba energije 347 MJ ha^{-1} , pri nastavljeni globini 10 cm znaša 427 MJ ha^{-1} in pri nastavljeni globini 15 cm znaša 539 MJ ha^{-1} . Rezultati kažejo, da poraba energije na hektar značilno narašča z nastavljeno globino obdelave tal. Direktno primerljivih rezultatov z našo raziskavo ni. Po ugotovitvah Mileusnića in sod. (2010) je znašala poraba energije pri konvencionalni obdelavi tal med 412 in 740 MJ ha^{-1} . V tej energiji je zajeta energija za oranje, pripravo tal in setev, česar mi v našem poskusu nismo merili. V poskusu smo mi analizirali le porabo energije pri predsetveni pripravi tal, nič pa porabo energije za samo oranje in setev. Vsekakor naši podatki kažejo, da je pri nastavljeni globini 15 cm poraba energije na hektar nekoliko prevelika za predsetveno pripravo tal za koruzo. Veliko avtorjev navaja, da se pri konzervirajoči obdelavi tal in pri direktni setvi poraba energije na hektar zmanjša (Šaraukis in sod., 2014; Stajanko, 2017), a tega mi v poskusu nismo ugotavljali.

Med fizikalnimi lastnostmi tal ni bilo ugotovljenih razlik pri različnih nastavljenih globinah obdelave tal z vrtavkasto brano pred setvijo koruze, kar ni bilo v skladu s postavljeno hipotezo. Predvidevamo, da se razlike niso pojavile, ker je bila razlika v globini odvzema vzorcev tal S Kopeckijevimi cilindri zelo majhna (od 5 do 10 cm). Pri večjih globinah obdelave tal se fizikalne lastnosti tal na tako ozkem območju globine niso spremenile. Če bi bile te razlike med globinami obdelave tal večje, se bi pojavile tudi razlike v fizikalnih lastnostih tal. Volumska gostota tal je znašala od $1,12$ do $1,16 \text{ g cm}^{-3}$. Tla, ki imajo volumsko gostoto manjšo od $1,40 \text{ g cm}^{-3}$, kot je bilo v našem poskusu, veljajo po Mrharju (1995) za malo zbita. Vsekakor je bila v našem poskusu precej manjša volumska gostota tal, kot navajajo Leghari in sod. (2016). V njihovem poskusu z različnimi načini obdelave tal pri koruzi je volumska gostota tal pri direktni setvi znašala med $1,4$ in $1,5 \text{ g cm}^{-3}$. Pri

konvencionalni in konzervirajoči obdelavi tal je bila volumska gostota tal manjša kot pri neposredni setvi. Tudi v poroznosti tal in masnem odstotku vode ni bilo značilnih razlik med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal z vrtavkasto brano. Poroznost tal je v neposredni povezavi z volumsko gostoto tal, saj se s povečanjem zbitosti tal zmanjša poroznost tal zaradi zmanjšane deleža makropor (Sommer, 1974). Po navedbah Sommerja in Zacha (1986) znaša poroznost za poljska tla med 40 in 50 %. V našem poskusu je bila poroznost nad 56 %, kar pomeni, da je bil delež makropor v tleh velik, zato so nastale ugodne razmere za izmenjavo zraka in vode v setveni posteljici ter kasneje tudi za rast korenin. Prav tako nismo ugotovili razlik v povprečnem premeru talnih delcev (MWD) in odstotku talnih delcev po frakcijah med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal z vrtavkasto brano. MWD je znašal med 7,7 in 9,1 mm. Direktnih primerjav s tujimi raziskavami nimamo. Brehm (2010) navaja, da je po obdelavi tal z vrtavkasto brano povprečni premer na ilovnatem pesku znašal 9,6 mm, kar je nekoliko več kot v našem poskusu. Bernik (2005) navaja, da naj bi v srednji Evropi povprečni premer talnih delcev v setveni posteljici znašal med 8 in 10 mm, kar smo mi v našem poskusu potrdili.

Med tremi nastavljenimi globinami obdelave tal ni bilo razlik v poljskem vzniku koruze. Ta je znašal od 96,0 do 97,7 %. Rezultati kažejo, da je bila setvena posteljica pri vseh treh nastavljenih globinah dobro pripravljena, kar je omogočilo dober vznik rastlin. Lütke Entrup in sod. (2013) navajajo, da lahko pride do zaskorjenja površine tal, kar privede do zmanjšane vznika rastlin. Do zaskorjenja lahko pride, če takoj po dopolnilni obdelavi tal pade večja količina dežja, nato pa nastopi daljše sušno obdobje brez padavin. Takrat se tla zaskorjijo še posebej, če so bila preveč intenzivno obdelana in ni bilo na površini tal večjih talnih agregatov. Ti bi povzročili, da bi bila površina bolj hrapava in ne bi prišlo do zaskorjenja tal. Predvidevamo, da bi lahko tudi v našem poskusu v primeru ekstremnih vremenskih razmer prišlo do zaskorjenja.

Glede na dobre fizikalno-mehanske lastnosti tal pri vseh treh nastavljenih globinah obdelave tal z vrtavkasto brano predvidevamo, da bi lahko izbrali večjo delovno hitrost od 5 km h^{-1} , ki je bila v poskusu (npr. 8 km h^{-1}). Tako bi dosegli manjšo porabo goriva na hektar in prav tako tudi manjšo porabo energije na hektar pri pripravi tal z vrtavkasto brano. Ta dejavnik hitrosti obdelave tal bo potrebno vključiti v nadaljnje poskuse

5 ZAKLJUČEK

Rezultati kažejo, da se je pri predsetveni pripravi tal z vrtavkasto brano za setev koruze, tako glede porabe goriva kot tudi fizikalno mehanskih lastnosti tal, kot najprimernejša izkazala nastavljena globina obdelave tal 5 cm.

6 VIRI

- Barik K., Aksakal E. L., Islam K. R., Sari S., Angin I. (2014). Spatial variability in soil compaction properities associated with field traffic operations. *Catena*, 120, 122-133. doi:10.1016/j.catena.2014.04.013
- Bernik R. (2005). *Tehnika v kmetijstvu: obdelava tal, setev, gnojenje*. Predavanja za študente agronomije in zootehnike. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 138 str.
- Botta G.P., Jorajuria D., Balbuena R., Rosatto H. (2004). Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil & Tillage Research*, 78, 53-58. doi:10.1016/j.still.2004.01.004
- Brehm D. (2010). Amazone KE 3000 Super. DLG-Prüfbericht 5897 F. Groß-Umstadt, DLG e.V. *Teestzentrum Technik und Betriebsmittel*: 6 str. <http://www.dlg-test.de/tests/5897F.pdf> (19. 3. 2018)
- Carrara M., Castrignanò A., Comparetti A., Febo P., Orlando S. (2007). Mapping of penetrometer resistance in relation to tractor traffic using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 142, 294-307. doi:10.1016/j.geoderma.2007.08.020
- Crop Focus. (2015). *Planting depth and spacing*. https://growersunited.files.wordpress.com/2014/03/c_depth-considerations.pdf (22.1.2018)
- Deperon Júnior A. M., Nagahama H. J., Olszewski N., Cortez J. W., De Souza E. B. (2016). Tillage machinery and compaction level influence on soil physical properties and corn agronomic aspects. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 36, 367-376.
- Dyer J.A., Desjardins R. L. (2003). The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emission from Canading agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 59-47. doi:10.1300/J064v22n03_07
- Filipović D., Košutić S., Gospodarić Z., Zimmer R., Banaj D. (2006). The possibilities of fuel savings and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 290-294. doi:10.1016/j.agee.2005.12.013
- Koch H. J., Heuer H., Tomanová O., Märlander B. (2008). Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural two tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 101, 69-77. doi:10.1016/j.still.2008.07.008
- KTBL (2012). *Betriebsplanung Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft*, Darmstadt, 824 str.
- Kuhwald M., Blaschek M., Minkler R., Nazemtseva Y., Schwanebeck M., Winter J., Duttman R. (2016). Spatial analysis of long-term effects of different tillage practices based on penetration resistance. *Soil Use and Management*, 32, 240-249. doi:10.1111/sum.12254
- Laghari N., Mughal A. Q., Laghari K. Q., Farhad W., Mohkum Hammad M. and H. (2016). Effect of various tillage practices on soil properties and maize growth. *Pakistan Journal Botany*, 48(3), 1173-1182.
- Lütke Eintrup N., Schwarz F.J., Heilmann H. (2013). *Handbuch Mais*. Frankfurt am Main, DLG Verlag: 442 str.
- Meteo (2018). <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9icIFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf;>
- Mileusić Z.I., Petrović D.V., Đević M.S. 2010. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. *Energy*, 35, 221-228. doi:10.1016/j.energy.2009.09.012
- Mrhar M. (1995). *Racionalna obdelava tal*. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 109 str.
- Ozkan B., Fert C., Karadeniz C. F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, 32, 1500-1504.
- Sommer C. (1974). *Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden*. Dissertation. Braunschweig, Technische Universität: 158 str.

- Sommer C., Zach M. (1986). Bodenverdichtungen und deren Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung und den Ertrag. V: *Bodenverdichtungen beim Schlepper- und Maschineneinsatz und Möglichkeiten zu ihrer Verminderung*. KTBL-Schrift, 308, 73-88.
- Stajanko D. (2017). *Obdelovanje tal in protierozijska zaščita na vodovarstvenih območjih*. Maribor, Univerzitetna založba Univerze v Mariboru: 100 str. doi:10.18690/978-961-286-066-0
- Strudley M. W., Green T. R., Ascough I. I., James C. (2008). Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. *Soil and Tillage Research*, 99, 4-48. doi:10.1016/j.still.2008.01.007
- Šarauski E., Buragiene S., Masionytė L., Romaneckas K., Avižienytė D., Sakalauskas D. (2014). Energy balance, costs and CO₂ analysis of tillage technologies in maize cultivation. *Energy*, 69, 220-235. doi:10.1016/j.energy.2014.02.090
- Tabatabaeefar A., Emamzadeh H., Gasemi Varnamkhasi M., Rahimizadeh R., Karimi M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34, 41-45. doi:10.1016/j.energy.2008.09.023
- Zeyada A. M., Al-Gaadi K. A., Tola E., Madugundu R., Kayad A. G. (2017). Impact of soil firmness and tillage depth on irrigated maize silage performance. *Applied Engineering in Agriculture*, 33, 491-498. doi:10.13031/aea.11641