Bibliid: 0350-2953 (2014) 40(3): 161-172
UDK: 631.312

Originalni naučni rad
Original scientific paper

POSTPROCESNA ANALIZA PODATAKA OTPORA VUČE RAONOG PLUGA SA ASPEKTA ODABIRA ADEKVATNE FREKVENCIJE MERENJA

POSTPROCESS ANALYSIS OF PLOW DRAFT WITH RESPECT TO OPTIMAL MEASURING FREQUENCY

Kostić M¹, Rakić D², Ličen H³, Meši M¹, Dedović N¹

¹Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad

²Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Bul. cara Lazara 1, Novi Sad, Srbija.

³TRCpro, Preradovićeve 31, Petrovaradin, Srbija.

e-pošta: markok@polj.uns.ac.rs

REZIME

U ovom radu je predstavljen novi uređaj za merenje vučnih otpora na vučenim, nošenim i polunošenim mašina za obradu kategorije II i III. Test je sproveden u poljskim uslovima tokom osnovne obrade raonim plugom. Cilj testa bio je potvrda pouzdanosti sistema i analiza metoda merenja sa aspekta frekvencije merenja. Tokom testa korišćen je trobojni plug radnog zahvata 1,05 m na dubini obrade od 0,25 m i traktor neto snage od 60 kW. Merenje otpora vuče je rađeno u 19 prohoda dužine 400 m od kojih su 17 urađena na delu parcele koji nije obrađen, a 2 prohoda na prethodno plitko obrađenom delu parcele sa diskosnom tanjiračom. Na neobrađenom delu parcele najmanja srednja vrednost otpora bila je 17,36 kN koja je dobijena u prvom proходу, dok je najveća vrednost od 19,94 kN dobijena u osmom proходу. Standardna devijacija otpora vuče bila je najveća u prvom proходу (3,31 kN) a rezultati ostalih prohoda ukazuju na veliku bliskost u ovom parametru koji ide od 1,58 kN u 16. proходу do 2,38 kN u 15. proходу. Kao što se i očekivalo, niže vrednosti sile otpora vuče snimljene su na obrađenom delu parcele (15,33 kN u prvom proходу i 16,03 kN u drugom proходу). Procenjena vrednost sile otpora za dubinu obrade plugom od 0,25 cm, radnu brzinu od 1,8 m/s i mehanički sastav parcele je 17,9 kN što je skoro jednako prosečnoj vrednosti sile otpora od 17,4 kN dobijene merenjem. Primenjeni metod merenja je proveravan poređenjem podataka dobijenih pri frekvenciji merenja (100 Hz) i simuliranim uzorcima. Simulacijom se postigao efekat merenja otpora vuče sa nižim frekvencijama s namerom da se odredi odgovarajuća frekvencija merenja za date uslove. Postupak simulacije je obavljen na taj način što su uzorci smanjivani po sistemu sistematskog uzorkovanja iz osnovnog skupa i međusobnim poređenjem srednjih vrednosti. Rezultati analize poređenja originalnih i simuliranih podataka pokazuju da nema statistički značajne razlike što govori o tome da je frekvencija merenja od 100 Hz bila prekomerna za uslove testiranja. Analiza spektralnih karakteristika signala u realnom vremenu potvrđuju rezultate analize „simuliranog uzorka“ koji jasno pokazuje da su frekvencije otpora u opsegu do 5 Hz.

Ključne reči: otpor vuče, merenje, obrada, frekvencija, merne ćelije, analiza podataka, akvizicija podataka, simulacija podataka.

1. UVOD

Za procenu fizičkog stanja zamljišnih slojeva, standardno se u terenskim uslovima koristi ručni penetrometar i sonda za uzimanje *in-situ* uzoraka zemljišta u neporemećenom stanju. Nedostaci ovih metoda jesu veliki utrošak vremena za dobijanje relativno malog broja diskontinualnih prostornih informacija. Nehomogena struktura, neujednačen sadržaj vlage u slojevima kao i nejednako sabijanje može proizvesti ekstremne vrednosti *in-situ* merenih parametara koji kao takvi ne predstavljaju realnu sliku stanja jer su suštinski odraz lokalnog stanja zemljišnog specifikuma. Obzirom da se radi o ručnim tehnikama merenja, neophodna je naknadna obradu podataka što dodatno povećava mogućnost nastajanja subjektivne greške (Campbell i O'Sullivan, 1991). Prednost je u tome što se početno stanje zemljišta minimalno narušava, tj. ostaje neporemećeno.

Primenom on-the-go tehnike merenja otpora vuče na mašina za obradu, može se unaprediti i pojednostaviti proces prikupljanja poljskih informacija za potrebe naučnih istraživanja ili pak precizne poljoprivrede. Ako se prostorno konkretizuju podaci o otporu vuče, moguće je redukovati broj terenskih uzoraka. Informacija o otporu može se koristiti kao surogat informacija o stanju nekog poljoprivrednog zemljišta jer zavisi od njegovog fizičko-biološkog stanja (Lapen et al., 2001a). Veliki broj autora dokazuje u svojim istraživanjima da vlažnost, zapreminska masa, mehanički sastav, kao i druge fizičke osobine zemljišta, nedvosmisleno utiču na otpor vuče mašina za obradu (Rockström et al., 1999; Gaston et al., 2001; Mouazen et al., 2004; Kazuhiko 2008; Mzuku et al. 2005; Raper et al. 2005; Chung et al. 2006; Topakci et al., 2010). Otpor zemljišta, može biti korišćen kao alat za prepoznavanje različitih tipova zemljišta. Detaljne mape otpora daju jasnu sliku o prostornoj orijentaciji nepropusnih slojeva kao i drugih anomalija u zemljištu (Kostić et al., 2012). Osim toga, mape otpora vuče mogu se koristiti kao kriterijum za lociranje kritičnih područja koja zahtevaju posebne mere u okviru precizne poljoprivredne proizvodnje (Van Bergeijk et al., 2001; Hanquet et al., 2004).

Merenje otpora vuče u konkretnim zemljišnim uslovima je važan parametar za ocenu performansi konkretne mašine (Naderloo et al., 2009). Studije (Perfect et al., 1997) sa uspehom definišu potošnju energije na osnovu srednje vrednosti otpora zemljišta. Uštede energije pri promenljivoj obradi idu do 42,8%, tj. goriva do 28,4% (Gorucu et al., 2001). Malinović (2007) navodi da se primenom konzervacijskih sistema obrade zemljišta može uštedeti u proizvodnji pšenice od 0,76 h/ha do 1,01 h/ha. Ako se zna da troškovi nabavke mehanizacije značajno povećavaju troškove proizvodnje, podaci o otporu vuče mašina za obradu u različitim zemljišnim uslovima mogu pomoći proizvođačima kod racionalne nabavke traktora i mašina za obradu i njihove efikasne eksploatacije (Alimardani et al., 2008; Kheiralla et al., 2003; Onwualu et al., 1998; Sahu et al., 2006).

Veliki broj postojećih rešenja mernih sistema ne umanjuje potrebu za daljim produbljivanjem saznanja vezanih za problematiku merenja otpora vuče. Postoje i istraživanja koja ukazuju da veza između otpora obrade i osobina zemljišta ne mora biti potpuno određena (McLaughlin i Burt, 2000). Jedan od razloga je nekonzistentnosti metode merenja otpora vuče sa metodama merenja drugih fizičko-mehaničkih osobina zemljišta, neizvesna je relacija veličine koje se meri *in-situ* u anizotropnom medijumu kakvo je zemljište, sa veličinom otpora vuče dobijen obradom celokupne zapremine zemljišta nekom od mašina za obradu. Stoga, sve veći broj autora razvija multisenzitivne

sisteme, koji pored mehaničkih osobina zemljišta, prate druga svojstva (Sun et al., 2004; Mouazen i Herman 2006). Pored prethodno pomenutog, postavlja se pitanje koliko je tehnika merenja otpora vuče zaista pouzdana, a metoda adekvatna u datim zemljišnim uslovima. U tom smislu, razvoj sistema za merenje otpora predstavlja veliki izazov, jer osim projektovanja mehaničkog i mernog dela opreme, važno je odrediti karakteristike sistema i njegovu interakciju sa oruđima odnosno zemljištem, kako bi se primenio adekvatan metod merenja. Za određivanje karakteristika sistema koriste se standardne procedure za mernu opremu, dok za ispitivanje sadejstva mernog sistema, oruđa i zemljišta, potrebna su terenska ispitivanja i naknadna detaljna analiza podataka.

Savremena merna tehnika pruža mogućnosti prikupljanja podataka u velikom frekventnom opsegu, što je velika pogodnost za korisnika. Kada su u pitanju dinamična merenja, ide se na veće frekvencije zbog bolje rezolucije podataka. Protivno tome, visoka frekvencija merenja u slučaju da se ne primene adekvatne metode filtriranja, podrazumeva pojavu visokofrekventnih signala koji potiču od nepoznatih izvora, a dovode do izobličenja osnovnog signala otpora vuče (Chung i Suddth, 2004). Takođe, velika frekvencija merenja podrazumeva ogromnu količinu podataka što može dovesti do komplikacija u prenosu, čuvanju i obradi podataka pa čak i do gubitka.

Cilj ovog rada bio je ispitati uticaj frekvencije merenja na vrednosti sile otpora vuče, odnosno krajnji ishod merenja.

2. MATERIJAL I METOD

Merni sistem

Tokom testa korišćen je novi sistem za merenje vučnih otpora po principima precizne poljoprivrede (Kostić et. al. 2012, 2013). Uređaj je namenjen merenju otpora vuče pri radu sa nošenim, polunošenim i vučenim mašinama za obradu.

Senzori i akvizicija podataka

Senzori sile u donjim tačkama prikopčavanja traktora za ram su su „S“ tipa, mernog opsega 100 kN, rezolucije 0,1 N i tačnosti $\pm 0,5\%$, dok je senzor gornje uporne poluge kapaciteta 200 kN rezolucije 0,1 N i tačnosti $\pm 0,5\%$. Senzori sile su povezani na univerzalno merno pojačalo/sistem za akviziciju podataka (HBM-MX440A). Merna akvizicija je visoke rezolucije (24bit) sa mogućnošću podešavanja brzine uzorkovanja (do 19200 Hz). Komunikacija data akvizivije i PC-a je preko ethernet veze. Za merenje brzine agregata i određivanje geografske pozicije agregata korišćen je GPS uređaj Trimble EasyGuide 500 (EGNOS/WAAS) koji poseduje standardni izlazni port RS232 za komunikaciju i prenos podataka na PC. Podešena frekvencija očitavanja tokom testa bila je 100 Hz. Kako bi se eliminisala pojava lažnih očitavanja kao posledica pojave visokofrekventnih signala šuma, signal je propuštán kroz niskopropusni Bassel-ov filter koji eliminiše sve signale čija je učestanost veća od podešene (20 Hz).

Poljski test

Poljski eksperiment obavljen je Novembra 2011. godine u pokrajni Vojvodina, severna Srbija (19.6^0 E, 45.4^0 N) u Novembru 2011. godine na površini od 0,9 ha, 400 m dužine u 22 prohoda. Eksperimentalna parcela je na delu gde je zastupljeno glinovito-ilovasto zemljište sa minimalnim talasanjem površine. Predusev na parceli bio je

merkantilni kukuruz proizveden konvencionalnom tehnologijom. Za ocenu prethodnog stanja zemljišta korišćeni su uzorci uzeti sa slučajno odabranih lokacija na parceli. Na osnovu uzoraka određena je vlažnost, zapreminska masa i mehanički sastav zemljišta. Vlažnost zemljišta određena metodom sušenja u laboratorijskoj sušnici do konstantne mase na 105 °C. Prosečna vlažnost iznosila je $15,2 \pm 1,1\%$. Zapreminska masa određena pomoću Kopecki cilindara iz sloja 0-15cm i 15-30 cm. Mehanički sastav zemljišta određen je korišćenjem pipet metode iz prosečnog uzorka sa dubine do 20 cm.

Sl.3. Sabijenost zemljišta

Fig. 3. Soil compaction

Zemljište na parceli po mehaničkom sastavu sadrži 35,37% praha, 25,73% gline i 38,89% peska. Za određivanje intenziteta sabijenosti zemljišta korišćen je elektronski penetrometar proizvođača "Finland, Irvine Ltd." prečnika osnove konusa 12,83 mm i uglom od 30° koji je u saglasnosti sa ASAE Standardom S313.FEB1999(R2009). Brzina utiskivanja konusa u zemljište iznosila je 35 mm s⁻¹, a snimanje otpora obavljeno je na svakih 3,5 cm. Dijagram sabijenosti zemljišta po slojevima prikazan je na slici 2.

Neposredno pre testiranja merne opreme, jedan deo parcele je obrađen lakom tanjiračom do dubine 12 cm radi dobijanja dva različita početna stanja zemljišta. Neobrađeno polje je nazvano "polje A", a obrađeno "polje B".

Za potrebe poljskog testiranja korišćen je traktor MTZ 820 sa neto snagom motora od 61 kW i trobrazni raoni plug, radnog zahvata 1,05 m i ukupne mase 510 kg (slika 2). Dubina obrade (prosečno $0,25 \pm 0,05$ m), radni zahvat ($1,05 \pm 0,13$ m) i radna brzina ($6,48 \pm 0,3$ km/h) tokom ispitivanja bili konstantni. Prema tvrdnjama vodećih autora iz oblasti merenja mehaničkog otpora zemljišta (Adamchuk et al., 2001; Alihamsyah 1990) da se stanje zemljišta može ocenjivati otporom vuče samo ako je meren pri konstantnim radnim parametrima, krenulo se od hipoteze da ukoliko se oruđe vuče kroz zemljište na konstantnoj dubini i širini radnog zahvata, pri konstantnoj radnoj brzini, sila otpora biće u korelaciji sa fizičkim stanjem fizičkih zemljišta (Godwin et al., 2007; Sahu i Rahman 2006). Kontrola dubine obrade i širine radnog zahvata obavljana je na svakom proходу u deset ponavljanja. Istraživanja drugih autora pokazuju da nekontrolisana varijacija radnog zahvata prvog plužnog tela naročito ako se radi o višebraznom plugu, ne utiče značajno na promenu otpora vuče (van Bergeijk et al., 2001). Dubina obrade zadnjeg plužnog tela je limitirana pomoću on land wheel of plow, a prednjeg with lower links čiji je radni položaj ograničen dopunskim mehaničkim fiksatorom.

Sl. 2. Oprema korišćena tokom testa
Fig. 2. Measuring equipment used during field test

Analiza podataka

Tokom testa podaci su prikupljeni sinhrono na PC sa softverom za prikupljanje podataka (HBM-CatmanEasy-AP3.3.1.). Prvi korak u postupku obrade bio je eliminacija podataka koji se odnose na periode okretanja agregata (na krajevima parcele) i onih koji su prikupljeni na početku prohoda, pa sve do momenta postizanja stabilnih radnih parametara (brzine, radne dubine). Takođe su uklonjene greške iz signala sa GPS prijemnika koje su posledica kratkotrajnih smetnji u prijemu. Eliminacijom atipičnih vrednosti, dobijeni su signali sa davača za pojedinačne, susedne prohode.

Ukupna sila otpora vuče računata je algebarskim sabiranjem izmerenih vrednosti na donjim davačima sile i korigovane vrednosti sa dinamometra u gornjoj upornoj poluzi. Vrednost sile u gornjoj poluzi korigovana je saglasno uglu koji je poluga zaklapala sa podlogom tokom merenja. Obzirom da je radnu brzinu tokom obrade nemoguće održati apsolutno konstantnom zbog proklizavanja točkova i nagle promene otpora, otpor je sveden na zajedničku brzinu kako bi se kompenzovao uticaj brzine na promenu otpora. Pošto se brzina menjala u uskim intervalima, korišćen je linearni obrazac (1) kojim se jednostavno mogu svesti vrednosti otpora za zajedničku brzinu. Procenjeni korekcionni faktor iznosi 5 kN/m² za svaki 1 m/s porasta brzine (*Summers 1986*). Za referentnu brzinu određena je vrednost koja odgovara prosečnoj brini tokom testa a to je 1,8 m/s.

$$F = F_0 + 5,0(1,8 - v) \quad (1)$$

gde je: F_0 specifičan otpor u kN/m² pri brzini v_0 od 1,6 m/s; F specifičan otpor vuče kN/m² pri brzini v ; a v je trenutna brzina u m/s.

Simulacijom smanjene frekvencije merenja želeo se postići efekat merenja sa manjom frekvencijom kako bi se utvrdilo da li je izabrana frekvencija merenja optimalna. Simulacija je rađena postupkom smanjivanja obima uzorka, pri čemu je vršeno poređenje procena otpora zemljišta i brzine traktora dobijenih iz početnog i redukovanih uzoraka. Takođe, međusobno su poređene i dobijene vrednosti iz uzoraka sa redukovanim obimom. Ovim su detaljno ispitane mogućnosti zamene početnog uzorka sa proizvoljnim uzorkom manjeg obima.

Skup uzoraka sa redukovanim obimom je formiran na sledeći način. Početni uzorak dobijen očitavanjem podataka na 20 ms označen je sa W. Uzimanjem podataka sa svake parne i svake neparne pozicije iz uzorka W dobijeni su uzorci H1 i H2 sa dvostruko

manjim obimom u odnosu na W, čime uzorci H1 i H2 odgovaraju uzimanju podataka na 40 ms. Takodje posmatrani su i uzorci dobijeni uzimanjem svakog četvrtog podatka iz W i oni su označeni sa Q1, Q2, Q3 i Q4, što odgovaraju uzimanju podataka na 80 ms. Procene za otpor zemljišta i brzinu traktora dobijene iz navedenih 7 uzoraka (W, H1, H2, Q1, Q2, Q3 i Q4) su poređene statističkim metodama analize varijansi (ANOVA), korelacija (korelaciona analiza) i Pirsonovog testa za poređenje raspodela. Kompletana analiza je prikazana za slučaj 2. prohoda. U ostalim slučajevima se dolazi do istih zaključaka, te su oni izostavljeni zbog njihovog velikog obima. Za statističku obradu korišćen je programski paket STATISTICA 12.

3. REZULTATI

Rezultati otpora vuče prikazani su u tabeli 1. u obliku srednja vrednost $\pm$ standardno odstupanje (Mean $\pm$ SD), koeficijent varijacije (CV) i minimalne (maksimalne) postignute vrednosti. Najniža prosečna vrednost otpora od 17,59 kN ostvarena je u 16. prohodu, dok je najviša dostignuta u 8. prohodu i iznosi 19,94 kN. Najniža prosečna brzina (1,751 m/s) je ostvarena u 9. prohodu, dok je najviša (1,863 m/s) bila u 17. prohodu. Među prosečnim vrednostima otpora i brzine u svim prohodima primetna je značajna bliskost. Standardno odstupanje je najveće u 1. prohodu (3,306 kN), dok u ostalim prohodima postoji značajna bliskost po ovom parametru i vrednosti se kreću od 1,58 kN u 16. do 2,38 kN u 15. prohodu. U slučaju brzine dobijena je još veća stabilnost među vrednostima srednje vrednosti i standardnog odstupanja po prohodima. Ipak, velike razlike među minimalnim i maksimalnim vrednosti sile po prohodima ukazuju na značajne promene u amplitudi sile tokom vremena što dobro ilustruje i grafik (slika 3).

Sl. 3. Postprocesni grafik signala otpora vuče prikazan realno u vremenu
Fig. 3. Postprocess real-time graph of draft signal during one pass

Tab. 1. Otpor vuče i brzina traktora (polje A)

Tab. 1. Draft resistance and tractor ground speed (field A)

Prol Pass	Otpor vuče-Draft resistance				Brzina-Speed			
	Mean±SD	Min	Max	CV	Mean±SD	Min	Max	CV
1	17,358±3,306	6,400	28,352	19,044	1,814±0,094	1,518	2,125	5,188
2	18,467±1,828	11,982	25,355	9,901	1,768±0,077	1,548	1,996	4,337
3	18,543±1,900	11,794	25,573	10,248	1,786±0,093	1,518	2,135	5,198
4	18,968±1,803	12,432	26,363	9,508	1,780±0,087	1,528	2,032	4,876
5	19,477±2,158	10,131	27,841	11,079	1,792±0,094	1,554	2,125	5,217
6	18,580±1,673	12,453	26,288	9,006	1,815±0,079	1,605	2,063	4,352
7	17,894±1,735	12,425	25,338	9,696	1,799±0,083	1,507	2,084	4,635
8	19,936±1,959	12,818	28,573	9,827	1,777±0,097	1,374	2,027	5,443
9	19,381±2,013	12,656	26,669	10,385	1,751±0,079	1,538	1,97	4,485
10	18,612±2,065	11,047	28,108	11,095	1,855±0,089	1,584	2,135	4,804
11	19,039±1,939	11,136	26,567	10,183	1,802±0,093	1,451	2,053	5,164
12	19,120±1,823	11,482	25,867	9,536	1,809±0,081	1,564	2,13	4,451
13	19,434±1,873	12,828	26,499	9,639	1,826±0,085	1,523	2,047	4,646
14	19,886±1,741	12,965	26,259	8,755	1,806±0,088	1,507	2,135	4,852
15	19,126±2,382	11,579	28,356	12,452	1,799±0,102	1,512	2,15	5,65
16	17,590±1,580	11,331	23,383	8,982	1,844±0,081	1,6	2,094	4,378
17	18,387±1,867	9,54	27,356	10,152	1,863±0,107	1,348	2,145	5,74

Na drugoj, prethodno obrađenoj parceli, izvršeno je isto ispitivanje u 2 prohoda i rezultati su dati u tabeli 2. Merene su vrednosti otpora i brzine sa učestalošću od 100 Hz i dobijene su niže vrednosti otpora zemljišta (15,33 kN u prvom i 16,03 kN u drugom prohodu) u odnosu na vrednosti izmerene na prethodno neobrađivanoj njivi što je i očekivano, obzirom da je površinski, tvrdi sloj poremećen prethodnom obradom.

Tab. 2. Otpor vuče i brzina traktora (polje B)

Tab. 2. Draft resistance and tractor ground speed (field B)

Prol Pass	Otpor vuče-Draft resistance				Brzina-Speed			
	Mean±SD	Min	Max	CV	Mean±SD	Min	Max	CV
1	15,325±2,089	8,888	24,588	13,630	1,856±0,121	1,430	2,171	6,528
2	16,029±2,449	8,867	25,89	15,276	1,841±0,107	1,533	2,222	5,806

Pitanje je da li se promene otpora dešavaju sistemski, po nekim zakonitostima, ili se njihovo pojavljivanje može podvesti pod slučajnost. Na slici 4 je prikazana raspodela izmerenih vrednosti za otpor koja odgovara zakonitostima normalne raspodele, tj. ekstremne vrednosti se pojavljuju veoma retko. Na istoj slici vide se i pojave negativnih vrednosti otpora koje se odnose na trenutke okretanja traktora na kraju parcele, kao i vrednosti otpora bliske nuli u trenucima spuštenog pluga u stanju mirovanja traktora. Takođe, sa slike 3 vidimo da su se one pojavljivale tokom čitavog procesa merenja i nisu grupisane u pojedinačnim segmentima.

Sl. 4. Distribucija sile otpora tokom merenja za različite brzine
Fig. 4. Distribution of draft resistance during the measurement for different speeds

Za validaciju dobijenih vrednosti sile otpora korišćena je jednačina 1 kojom se dobija procenjena sila otpora na mašinama za obradu po standardu ASAE D497.6 (ASAE Standards 2009).

$$D = F_i [A + B (S) + C (S)^2] W \times T \quad (2)$$

gde je D horizontalna komponenta otpora vuče, F je parametar koji se odnosi na strukturu zemljišta, A, B i C su specifične vrednosti primenjenog oruđa za obradu (za raoni plug A = 652, B = 0, C = 5,1). S je brzina obrade (km/h), T je radni zahvat (m), W je radna dubina (m). Predviđena vrednost sile otpora za dubinu od 0,25 m, radnu brzinu 6,5 km/h i teksturu zemljišta iznosi 17,9 kN. Izmerena prosečna vrednost sile otpora na neobrađenom delu parcele iznosi 17,4 kN što je veoma blisko računatoj vrednosti. Ova činjenica govori da merni sistem sa velikom pouzdanošću generiše vrednosti otpora vuče.

U tabeli 3. su date procene otpora zemljišta i brzine traktora, dobijene iz svih 7 uzoraka, prikazane u obliku srednja vrednost ± standardno odstupanje. Sa N je označen obim datih uzoraka. U oba slučaja, otpora i brzine, primećuje se velika bliskost među srednjim vrednostima i standardnim odstupanjima u svih 7 uzoraka.

Tab. 3. Otpor vuče i brzina traktora na uzorcima – ANOVA

Tab. 3. Tillage draft and tractor speed - ANOVA test

Uzorak Sample	N	Otpor vuče-Draft force (mean ± SD)	Brzina-Speed (mean ± SD)
W	10144	17,358±3,306 ^A	1,8144±0,0941 ^B
H1	5072	17,357±3,314 ^A	1,8147±0,0941 ^B
H2	5072	17,359±3,297 ^A	1,8141±0,0942 ^B
Q1	2536	17,344±3,320 ^A	1,8148±0,0940 ^B
Q2	2536	17,340±3,277 ^A	1,8139±0,0943 ^B
Q3	2536	17,369±3,309 ^A	1,8147±0,0942 ^B
Q4	2536	17,377±3,317 ^A	1,8142±0,0940 ^B

Dalje su srednja vrednost i disperzija za otpor zemljišta i brzinu traktora poređene uz pomoć analize varijansi (ANOVA). Sa veoma velikom pouzdanošću se može zaključiti da nema statistički značajnih razlika među srednjim vrednostima i disperzijama u svih 7 uzoraka i kada je u pitanju otpor zemljišta i brzina traktora. Rezultati ANOVE su prikazani u tabelama 3 i 4, gde je za poređenje srednjih vrednosti korišćen Takijev, a za poređenje disperzija Levenov test, sa rizikom od 5% u oba slučaja. U tabeli 3. su prikazane vrednosti dobijene za ceo model, dok su u tabeli 1. prikazani rezultati međusobnog poređenja procena srednjih vrednosti otpora i brzine u svih 7 uzoraka. Primećujemo da poređene vrednosti pripadaju istim klasama u svim slučajevima.

Tab. 4. Otpor vuče i brzina traktora za model – ANOVA

Tab. 4. Tillage draft and speed for a model - ANOVA

ANOVA	dF	Otpor-Draft		Brzina-Speed	
		F	p	F	p
Levene (otpor-draft)	6	0,022182	0,999953	0,071675	0,998588
Taki (otpor-draft)	6	0,043760	0,999658	0,038534	0,999764

Određene su i korelacije među uzorcima sa istim obimom (H1 i H2, odnosno Q1, Q2, Q3 i Q4), kao i Pirsonov test u kojem su raspodele uzoraka sa smanjenim obimom (H1, H2, Q1, Q2, Q3 i Q4) poređene sa raspodelom u početnom uzorku W. Pirsonovi koeficijenti korelacije među uzorcima Q1, Q2, Q3 i Q4 su prikazane u tabeli 5. Vrednosti u tabelama ukazuju na značajnu korelacionu vezu među posmatranim vrednostima u svim slučajevima. Najmanje vrednosti korelacije su 0,81 (0,91) između uzoraka Q1 i Q4 u slučaju otpora (brzine), što i dalje predstavlja značajnu korelacionu vezu. Takođe, među uzorcima H1 i H2 je koeficijent korelacije veoma visok i iznosi 0,947 u slučaju otpora, odnosno 0,972 za brzinu.

Tab. 5. Pirsonov koeficijent korelacije za otpor vuče među uzorcima

Tab. 5. Pearsons koefficient of correlation for draft force

Uzorak Sample	Otpor vuče-Draft force				Brzina-Speed			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Q1	1,000	0,948	0,867	0,806	1,000	0,969	0,944	0,920
Q2	0,948	1,000	0,946	0,867	0,969	1,000	0,976	0,951
Q3	0,867	0,946	1,000	0,947	0,944	0,976	1,000	0,975
Q4	0,806	0,867	0,947	1,000	0,920	0,951	0,975	1,000

Statistički značajna bliskost među raspodelama vrednosti otpora u uzorcima H1, H2, Q1, Q2, Q3 i Q4 u odnosu na raspodelu u uzorku W je potvrđena i korišćenjem Pirsonovog testa za poređenje raspodela sa rizikom 5%. Vrednosti Pirsonovog testa su date u Tabeli 6. Dobijene χ^2 vrednosti su u svim slučajevima manje od kritične vrednosti 16,92.

Tab. 6. Poređenje raspodela otpora vuče po uzorcima – Pirsonov test

Tab. 6. Comparison of draft distribution on samples – Pearsons test

Pirsonov test (kritična vrednost $\chi_{crit}=16,919$)						
Pearsons tets (critical value $\chi_{crit}=16,919$)						
	H1	H2	Q1	Q2	Q3	Q4
χ^2	4,418	4,418	4,753	6,217	6,019	5,366

Ako se uradi spektralna analiza signala dobijenog sa senzora, videće se da signali otpora dominantno javljanju sa frekvencijama do 10 Hz (slika 5). Činjenica da se spektralne gustine najviše javljaju pri niskim frekvencijama, dok sa povećanjem frekvencije spktralne gustine značajno opadaju (Hayhoe et al., 2002).

Sl. 5. Spektralna karakteristika signala otpora vule u vremenu

Fig. 5. Joint-time-frequency spectar of draft signal

To znači da u konkretnim uslovima u kojima je sproveden test, frekvencija merenja od 100 Hz je bila prekomerna jer je na taj način generisan veliki broj sličnih podataka koji u statističkom smislu imaju malu razliku, ali sa druge strane otežavaju proces obrade i analize. Ova konstatacija nije univerzalna i treba je uzeti sa rezervom jer frekvencija promene opterećenja zavisi od velikog broja faktora. Najviše utiču tip i stanje zemljišta, ali ne treba zanemariti ni brzinu obrade, vrstu oruđa za obradu, krutost celog sistema, itd. Shodno tome, poželjno je da se za svaki slučaj odredi odgovarajuća frekvencija uz kvalitetne filtere ili pak da se svesno ide sa povećanim frekvencijama, pa u postprocesnoj analizi primeniti odgovarajuće operacije filtracije i interpolacije kako bi se smanjio obim uzorka.

4. ZAKLJUČAK

Novi merni uređaj koji je namenjen za merenje otpora vuče na mašinama za obradu zemljišta je potpuno konstrukciono i funkcionalno zadovoljio uslove u kojima je obavljeno njegovo testiranje. Merna oprema ima visoku tačnost i širok spektar mogućnosti obrade dobijenih podataka. Kao takav, sistem je pogodan za rad sa velikim brojem nošenih i polunošenih mašina II i III kategorije. Prikopčavanje mašina za merni ram je jendostavno, a transportovanje bezbedno. Statička kalibracija mernog sistema potvrdila je odličnu linearnu zavisnost očitane sile i stvarne. Izmerene vrednosti sile otpora vuče su očekivano bile veće na polju gde nije bilo pretodne obrade u odnosu na parcel gde je prethodno obavljeno plitko tanjiranje. Srednja vrednost otpora vuče u potpunosti odgovara očekivanoj računatoj vrednosti prema standard ASAE D497.6. Raspodela izmerenih vrednosti sile otpora vuče u funkciji brzine odgovara zakonitostima normalne raspodele. Joint-time-frequency analysis je obavljena posmatranjem spectra signala u vremenu i uočeno je da su najveće spektralne gustine su bile do 5 Hz. Simulacijom promene frekvencije merenja, pri kojoj su posmatrani uzorci manjeg obima, uočeno je da se u odnosu na validnost osnovnih statističkih parametara mogla primeniti višestruko manja frekvencija.

5. LITERATURA

- [1] Adamchuk, V. I., M. T. Morgan, and H. Sumali. 2001. Application of a strain gauge array to estimate soil mechanical impedance on-the-go. *Trans. ASAE* 44(6): 1377-1383.
- [2] Alihamsyah, T., E. G. Humphries, and C. G. Bowers. 1990. A technique for horizontal measurement of soil mechanical impedance. *Trans. ASAE* 33(1): 73-77.
- [3] Alimardani R, Fazel Z, Akram A, Mahmoudi A, Varnamkhasti M G. 2008. Design and development of a three-point hitch dynamometer. *Journal of Agricultural Technology*, 4: 37-52.
- [4] ASAE Standards, 2010. ASAE D497.6 JUN2009: Agricultural Machinery Management Data
- [5] ASAE Standards, 2010. S217.12 DEC2001 (R2007): Three-Point Free-Link Attachment for Hitching Implements to Agricultural Wheel Tractors
- [6] ASAE Standards, 2010. S313.3 FEB1999 (R2009): Soil cone penetrometer.
- [7] Campbell D J, O'Sullivan M F The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction and tillage. In: *Soil Analysis: Physical Methods*. (Smith K A; Mullins C E, eds). New York: Marcel Dekker Inc., 1991.
- [8] Chung S O, Sudduth K A, Hummel J W. 2006. Design and validation of an on-the-go soil strength profile sensor. *Transactions of ASBE*, 49(1):5-14.
- [9] Chung S O, Sudduth K A. 2004. Characterization of cone index and tillage draft data to define design parameters for an on-the-go soil strength profile sensor. *Agric. Biosystems Eng.* 5(1):10-20.
- [10] Gaston L A, Locke M A, Zablotowicz R M, Reddy K N. 2001. Spatial variability of soil properties and weed populations in the Mississippi delta. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (65):449-459.
- [11] Godwin R J, O'Dogherty M J, Saundersb C, Balafoutis A T. 2007. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems engineering*, 97(2007):117 – 129.
- [12] Gorucu S, Khalilian A, Han Y J, Dodd R B, Wolak F J, Keskin M. 2001. Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in Coastal Plain region of South Carolina. ASAE Paper No. 011016. St. Joseph, MI., USA.
- [13] Hanquet B, Sirjacobs D., Destain M. F. 2004. Analysis of Soil Variability measured with a Soil Strength Sensor. *Precision Agriculture*, 5, 227-246, 2004.
- [14] Hayhoe, H. N. Lapen, D. R. and McLaughlin, N. B. 2002. Measurements of Mouldboard Plow Draft: I. Spectrum Analysis and Filtering. *Precision Agriculture*, 3:225-236.
- [15] Kazuhiko O. 2008. Application of GIS for investigating soil compaction. *Járművek és Mobilgépek*, 1(2008):26-34.
- [16] Kheiralla A F; Yahya A; Zohadie M; Ishak W. 2003. Design and development of a three-point auto hitch dynamometer for an agricultural tractor. *AJSTD*, 20(3-4):271-288.
- [17] Kostić M, Malinović N, Meši M. 2011. Razvoj uređaja za dinamičko merenje mehaničkog otpora zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 37(3): 295-304.
- [18] Kostić M, Malinović N, Meši M, Belić M. 2012. Primena GPS i GIS tehnologije u postupku merenja mehaničkog otpora zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 38 (3):219-229.
- [19] Kostić M, Ponjičan O, Radomirović D, Malinović N, Radulović M. 2013. Merenje vučnih otpora na plugu sa standardnom i rešetkastom plužnom daskom na zemljištu tipa ritska crnica. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 39(1):21-32.
- [20] Lapen, D. R., Topp, G. C., Hayhoe, H. N., Gregorich, E. G. and Curnoe, W. E. 2001a. Stochastic simulation of soil strength/compaction and assessment of corn yield risk using threshold probability patterns. *Geoderma* 104, 325-343.
- [21] Leonard J J. 1980. An extended-octagon rigid drawbar dynamometer. *Agricultural Engineering Australia*, 9: 3-8.
- [22] Mouazen A M, Ramon H, De Baerdemaeker J. 2003. Modelling compaction from on-line measurement of soil properties and sensor draught. *Precision Agric.* 4(2): 203-212.
- [23] Mouazen A M, Ramon H. 2006. Development of on-line measurement system of bulk density based on on-line measured draught, depth and soil moisture content. *Soil & Tillage Research* 86 (2006) 218-229.
- [24] Mzuku M, Khosla R, Reich R, Inman D, Smith F, MacDonald L. 2005. Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (69):1572-1579.
- [25] Naderloo, L., R. Alimadani, A. Akram, P. Javadikia and H.Z. Khanghah. 2009. Tillage depth and forward speed effects on draft of three primary tillage implements in clay loam soil. *J. Food Agric. Environ.* 7: 382-385.
- [26] Palmer A L. 1992. Development of a three-point linkage dynamometer for tillage research. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52:157-167.

- [27] Raper R L, Schwab E B, Dabney S M. 2005. Measurement and variation of site-specific hardpans for silty upland soils in the Southeastern United States. *Soil Till. Res.* 84:7–17.
- [28] Rockström J, Barron J, Brouwer J, Galle S, de Rouw A. 1999. On-farm spatial and temporal variability of soil and water in pearl millet cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (63):1308–1319.
- [29] Sahu R K, Rahman H. 2006. Draught Prediction of Agricultural Implements using Reference Tillage Tools in Sandy Clay Loam Soil. *Biosystems Engineering*, 94(2): 275–284.
- [30] Summers J D; Khalilian A; Batchelder D G (1986). Draft relationships for primary tillage in oklahoma soils. *Transactions of the ASAE*, 29(1), 37-39
- [31] Sun Y R, Lammers P S, Ma D K. 2004. Evaluation of a combined penetrometer for simultaneous measurement of penetration resistance and soil water content. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, (167):745–751.
- [32] Topakci M, Unal I, Canakci M, Celik H K, Karayel D. 2010. Design of a horizontal penetrometer for measuring on-the-go soil resistance. *Sensors*, 10:9337-9348.
- [33] Van Bergeijk J, Goense D, Speelman L. 2001. Soil tillage resistance as a tool to map soil type differences. *J. agric. Engng Res.* 79(4):371-387.

POSTPROCESS ANALYSIS OF PLOW DRAFT WITH RESPECT TO OPTIMAL MEASURING FREQUENCY

Kostić M¹, Rakić D², Ličen H³, Meši M¹, Dedović N¹

ABSTRACT

This paper presents testing of a new three-point-hitch system for measuring draft of tillage implements of II and III category. The tests were performed in both laboratory and field conditions in order to confirm the reliability of the measuring system and to analyze the measuring method from the aspect of sampling frequency. Field testing was performed in 19 passages which were 400 m long, out of which 17 were on the part of the plot that was not tilled and 2 were on the part of the plot where shallow tillage was previously performed with a disc harrow. On the untilled part of the plot, the lowest average value of draft was 17,36 kN measured in the first passing, and the highest draft of 19,94 kN was recorded in the eighth passing. Standard deviation of draft was the biggest in the first passing (3,31 kN) and the results for the rest of the passages showed similarities in this parameter with values ranging from 1,58 kN in the 16th to 2,38 kN in the 15th passing. As it was expected, some lower values of draft were recorded in the tilled part of the plot (15,33 kN in the first and 16,03 kN in the second passing) in comparison to the untilled part. The estimated draft force at a depth of 0,25 m, working speed of 1,8 m s⁻¹ and soil texture was 17,9 kN, which was almost the same as the average value of 17,4 kN. Measuring method was checked based on the frequency of sensor readings and it was done on the simulated samples. Simulation was used to produce the effect of less frequent measuring in order to determine whether the selected frequency (100 Hz) was satisfactory. The simulation process was carried out by reducing the sample size and comparing the draft. The results and analyses of comparison of original and simulated data showed no statistical differences, thus proving the measuring frequency to be more than sufficient for the testing conditions. Joint-time-frequency analysis of the signal in a real time conditions confirmed the results of analysis of 'simulated samples' which clearly showed that spectral densities were at frequencies of up to 5 Hz.

Key words: Tillage draft, measurement, tillage, soil, frequency, transducers, data analysis, data acquisition, data simulation.

Napomena: Rad je nastao kao rezultat ispitivanja na projektu TR31046, „Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine“, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Primljeno: 18. 08. 2014. god.

Prihvaćeno: 30. 08. 2014. god.