



Regresiona analiza fizičkih parametara zemljišta i otpora obrade zemljišta primenom statistike i geostatistike

Marko M. Kostić^{a*}, Dušan Z. Rakić^b, Nebojša M. Dedović^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni Fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

^bUniverzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Bul. Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: markok@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Uprkos svim tehnološkim i tehničkim inovacijama koje su uvedene u poljoprivredi, plodnost zemljišta ima tendenciju opadanja što je glavni razlog stagnacije proizvodnje njivskih kultura. Cilj ovog istraživanja je modeliranje osnovnih fizičkih pokazatelja stanja zemljišta korišćenjem podataka o otpornosti na obradu prikupljenih pomoću specijalizovanog senzorskog sistema, prema principima precizne poljoprivrede. Merenje otpora obrade zemljište i procena fizičkog stanja zemljišta obavljeno je 2012. godine na parceli od 0,78 ha, na zemljištu tipa karbonatni černozem. Godinu dana ranije, polje je bilo podeljeno na tri jednakе parcele u kojima su primenjene tri vrste obrade (oranje, tanjiranje i razrivanje) kako bi se povećale prostorne varijabilnosti time i bolji preduslovi za kvalitetnije modelovanje podataka. Fizička svojstva zemljišta su posmatrana u 30 lokacija koje su bile pravilno geometrijski raspoređene uz geopozicioniranje. Otpor obrade zemljišta se merio u realnom vremenu i prostoru tokom 30 prohoda korišćenjem standardnog traktora i raonog pluga. Tretmani obrade zemljišta koji su primenjeni u 2011. godini, rezultirali su razlikama u nekim od parametara zemljišta. Značajne razlike između tretmana su se pojavile u slučaju sabijenosti zemljišta, sadržaja vlage i otporna mehaničke obrade. Međutim, nije uočena razlika u pogledu teksture (peska, Silt + gline) i zapreminske mase. Analiza korelacije pokazala je veliku pozitivnu vezu između otpora zemljišta i sabijenosti zemljišta ($R = 0.82$) i negativne povezanosti između otpora zemljišta i sadržaja vlage ($R = -0.41$). Variogramsko modelovanje dalo je najveću grešku predviđanja za sabijenost zemljišta (13,9%), zatim za otpor obrade (9,32%), sadržaj peska (3,95%), sadržaj vlage (3,34%), zapreminsku masu (2,4%) i sadržaj sitne frakcije (prah+glina) (2,2%). Generisane prostorne karte pokazale su da je sabijenost zemljišta, sadržaj vlage i otpor zemljišta imao određene orientacije u odnosi na dispoziciju tretmana.

KLJUČNE REČI: Otpor zemljišta, osobine zemljišta, senzorsko merenje, geostatistika, OLS analiza

Uvod

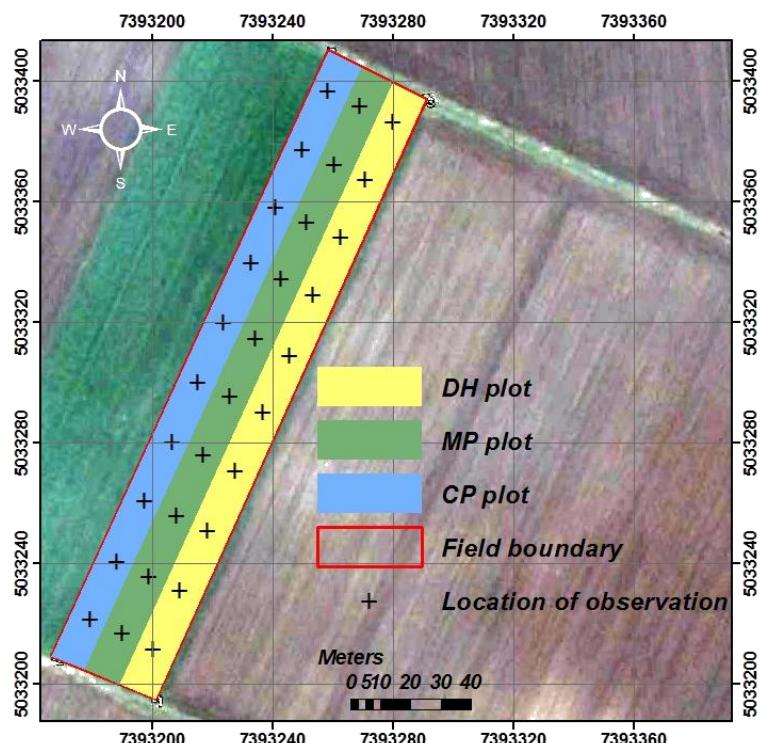
Savremene metode u ratarskoj proizvodnji imaju za cilj postizanje maksimalne produktivnosti po jedinici utrošenog sredstva i korišćene površine sa minimalnim negativnim posledicama po održivost biosistema. Da bi se to postiglo, svi proizvodni koraci moraju se podjednako optimizovati na svim delovima polja uzimajući u obzir posebne zahteve kulture koja se gaji (Hemmat et al., 2008). To nije lak zadatak s obzirom na heterogenost zemljišta (Hemmat et al., 2008). Prostorne varijabilnost zemljišta zavisi od tipa zemljišta, topografije i primenjene tehnologije. Tendencija proširenja polja jednostavnim brisanjem prethodne granice koje se koriste za podelu prirodno različite vrste zemljišta doprinosi povećanoj varijabilnosti (Oliver, 2010). Koncept „dubrenje biljaka umesto zemljišta“, tj. depozicija u trake uz red, dodatno povećava varijacije u sadržaju hranjivih materija u zemljištu (Hu et al., 2014). Stoga je za sprovođenje koncepta lokalno specifičnog menadžmenta potrebna dovoljna količina validnih informacija o prostornoj varijabilnosti za dobro donošenje odluka (Jabro et al., 2010). Kvalitet informacija zavisi od primenjene metode prikupljanja podataka. Većina standardnih metoda koje se koriste u određivanju osobina zemljišta su prostorno prekidne, dugotrajne i skupe i daju malo tačnih podataka (Oliver and Webster, 2014). Trenutni trend unapređenja sistema za prikupljanje podataka na terenu je razvoj mernih sistema u pokretu koji su opremljeni raznim senzorima za proksimalno detektovanje (Adamchuk et al., 2011, Pijuan et al., 2012, Hemmat et al., 2013, Askari et al., 2011, Agüera et al., 2013). S obzirom na činjenicu da te metode ne daju podatke velike tačnosti, proksimalni merni sistemi se koriste za brzo prikupljanje velike količine geopodataka. U svom istraživanju veliki broj autora koristi sisteme za merenje mehaničke otpornosti zemljišta kako bi procenili promenljivosti u fizičkim osobinama zemljišta (Raper et al., 2005; Chung et al., 2006; Topakci et al., 2010). Van Bergeijk et al. (2001) naznačili su da otpor obrade zemljišta može pružiti informacije o lokacijama različitih vrsta zemljišta. Lapen et al. (2002) zaključili su da ako postoji veza između otpora obrade zemljišta i sabijenosti, onda se karta otpornosti zemljišta može koristiti za mapiranje sabijenosti zemljišta. Razumevanje i modeliranje promenljivih svojstava zemljišta ima manje značaja za preciznu poljoprivredu, osim ako imaju neku korelaciju sa ključnim parametrima, kao što su vлага

zemljišta, vrsta zemljišta i plodnost zemljišta, itd. Mape otpora zemljišta mogu se koristiti kao kriterijum za lociranje kritična područja koja zahtevaju poseban tretman upravljanja specifičnim za lokaciju (Hanquet et al., 2004). Cilj rada bio je da se modelira prostorna zavisnost između baznih fizičkih parametara zemljišta i vrednosti otpor obrade zemljišta mereno posebno koncipiranim senzorskim sistemom prilagođenim za rad sa konvencionalnim oruđima u poljoprivredi.

Materijal i metod rada

Priprema eksperimenta

Pripreme za eksperiment započele su 2011. godine. Izabrano polje je smešteno u severnom delu Republike Srbije (45°02'09"N, 19°03'47"E) na zemljištu tipa karbonatni černozem. Struktura zemljišta i stabilnost agregata osiguravaju dobru propusnost. Ukupna poroznost je oko 50%, uključujući oko 20% makropora i 30% mikropora. Topografski gledano, polje je potpuno ravno bez nagiba, dužine 220 m sa površinom od 0,78 ha. Koristi se u tradicionalnoj rotaciji useva pšenice-kukuruza-soje sa oranjem kao primarne obrade zemljišta. U cilju povećanja prostornih razlika u svojstvima zemljišta i obezbeđivanja odgovarajućih uslova za eksperiment urađeni su neki preliminarni radovi. U oktobru 2011. godine polje je podeljeno na tri jednakе parcele (Slika 1) na kojima su primenjeni različiti sistemi za obradu zemljišta (oranje, tanjiranje i razrivanje).



Slika 1. Raspored tretmana u polju
Figure 1. Disposition of the field plots

Dubina tanjiranja se kretala u rasponu od 10-15 cm (DH parcela), dubina oranja je bila oko 25 cm (parcela MP), a razrivanje je izvedeno na 18-20 cm (parcela CP). U novembru 2012. procenjeni su fizički parametri zemljišta prema standardnim naučnim metodama sa georeferenciranjem lokacija na kojima su obavljene opservacije. Sledećeg dana celo polje je obrađeno plugom uz merenje mehaničkog otpora obrade zemljišta specijalnim uređajem. Trimble Juno SB sa modularnim sistemom PathFinder ProXT (<https://www.trimble.com/>) tačnosti 0,5-1 m, korišten je za terensku navigaciju tokom merenja i uzorkovanja. Redovni uzorak uzorkovanja rešetki primenjen je u ćelijama mreže 12 m x 20 m, što je standardni postupak u preciznoj poljoprivredi, jer je efikasan u obradi i mapiranju podataka (Viscarra-Rossel i McBratney, 1998).

Ocena fizičkog zemljišta stanja iz uzorka

Fizičko stanje zemljišta procenjeno je direktno merenjem nivoa sabijanja i indirektno na osnovu uzorka. Prvo je izmeren vertikalni otpor prodora konusa. Na svakoj kontrolnoj tački u zoni koja je bila

predviđena za kopanje profila ($0,5 \times 0,5$ m) izvršeno je šest merenja. Sabijenost zemljišta izmereno je prema standardnoj proceduri ASAE S313.3 (2011), korišćenjem ručnog penetrometra „Penetrologger 6.00“ (koji ima vrh konusa 1 cm^2 i vrh pod uglom na 60°). Vrednosti indeksa konusa odnose se na sloj iznad d (<https://en.eijkenkamp.com/>) ubine plužnog dona, koji je u ovom slučaju bio na dubini od 28 cm. Nakon toga, na istom mestu iskopani su profili za uzorkovanje. Zapreminska masa i vlažnost zemljišta određeni su iz neporemećenih uzoraka u skladu sa standardom (ISO 11272, 1998) korišćenjem čeličnih cilindara zapremine 100 cm^3 . Profili zemljišta podeljeni su u dva sloja, 0-15 cm i 15-30 cm, iz kojih su uzeti uzorci. Prsteni za uzorkovanje ubaćeni su u sredinu sloja u tri ponavljanja. Zapreminska masa je izračunata u odnosu na suvu osnovu. Gravimetrijski sadržaj vlage u zemljištu određivan je sušenjem uzoraka na 105°C u sušari do postizanja konstantne mase. Tekstura zemljišta određena je iz uzoraka koji su uzeti istovremeno sa uzorcima u neporemećenom stanju. Pipette metoda korišćena je za određivanje teksture zemljišta koja je naknadno klasifikovana prema ISSS - International Society of Soil Science. Na osnovu udela frakcija u zemljištu i kriterijuma navedenih u USDA-NRCS zemljište je klasifikovano kao glinovita ilovača.

Merenje mehaničkog otpora obrade zemljišta

Merenje otpora obrade zemljišta (STR) izvršeno je korišćenjem traktora MTZ 820 snage 61 kW i raonim, trobrazdnim plugom. Merenje je izvršeno tokom 30 prohoda. Radna dubina (u proseku $0,26 \pm 0,03$ m), radna širina ($1,08 \pm 0,04$ m) i radna brzina ($1,88 \pm 0,3$ m/s) tokom ispitivanja su bili konstantni. Naša hipoteza zasniva se na mogućnosti da ako se mašina kreće kroz zemljište na konstantnoj dubini, sa konstantnim radnom širinom i brzinom, da će sila otpora biti u korelaciji sa fizičkim svojstvima zemljišta (Godwin et al., 2007). Radna dubina i širina proveravali su se pri svakom prolazu u tri ponavljanja. Otpor obrade zemljišta meren je senzorskim sistemom (Slika 2) koji je u radu opisao Kostić et al. (2014). Prikupljanje podataka obavljeno je univerzalnim mernim modulom QuantumX MX440A (<https://www.hbm.com/en/>) visoke rezolucije. Brzina i geografski položaj određeni su GPS uređajem Trimble EasiGuide 500 (EGNOS/WAAS korekcija). Za prenos podataka na PC laptop korišćen je standardni komunikacioni port RS232. Podaci sa senzora i GPS-a su očitani na 10 Hz što se pokazalo kao adekvatno učestalost u istraživanju Kostić et al. (2014) i Hayhoe et al. (2002).



Slika 2. Senzorski sistem za merenje mehaničkog otpora obrade zemljišta (Kostić et al., 2014)

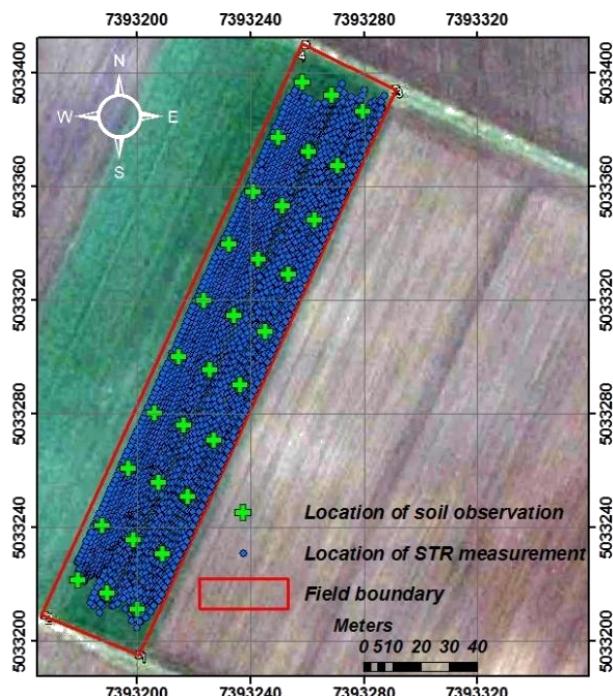
Figure 2. Measurement system for measuring soil tillage resistance (Kostić et al., 2014)

Poređenje podataka osnovnih pokazatelja zemljišta sa podacima o otporu obrade zemljišta

Podaci o otporu obrade zemljišta su prikupljeni sinhrono na računaru sa softverom za prikupljanje podataka (CatmanEasy-AP3.3.1.). Prvi korak u obradi podataka bio je uklanjanje podataka koji se odnose na trenutke okretanja traktora (na kraju polja) i podataka prikupljenih od početka rada pa sve dok radni parametri nisu postali stabilni (brzina i dubina). Takođe, eliminisani su signali greške sa GPS uređaja koji su nastali usled kratkih prekida u prijemu. Eliminisanje netipičnih vrednosti dalo je signale za pojedinačne, susedne prohode.

Da bi se smanjile fluktuacije amplitude signalna izazvanih krtom deformacijom zemljišnih agregata (Onwualu i Watts, 1998), vršeno je usrednjavanje u programu CatmanEasy AP (HBM). Uprosećeni podaci STR interpolirani su na učestanost od 1 Hz. Dobijeni podaci predstavljaju prosečni otpor pri obradi zemlje na dužini od $\approx 1,9$ m i širini od 1,08 m (prosečna radna širina pluga). Kako bi se uporedili podaci otpornosti zemljišta sa podacima o fizičkim svojstvima zemljišta, neki podaci otpora za obradu zemljišta su ručno izvučeni pomoću GIS programa ArcGis. Odabir je izvršen na mapi

izabiranjem podataka oko tačaka gde je obavljena opservacija u krugu od 5 m (Slika 3). Srednja vrednost otpora obrade zemljišta izračunata je korišćenjem podataka smeštenih unutar označenog kruga oko kontrolne tačke. Ta vrednost je kasnije poređena sa parametrima zemljišta na osnovu kriterijuma zajedničkog geografskog položaja.



Slika 3. Lokacije na kojima je obavljeno uzorkovanje (zeleni krstići) i merenje otpora obrade zemljišta (plave tačke)

Figure 3. Locations where soil physical properties were observed (green points) and positions showing the values of soil tillage resistance (blue points)

Obrada podataka

Da bi se potvrdio uticaj tretmana po parcelama, upoređene su srednje vrednosti parametara zemljišta. Frakcije zemljišta podeljene su u dve grupe, fina (glina + prah) i gruba (pesak), kako bi se dobio dosledniji odnos sa vrednostima STR. Podaci su analizirani izračunavanjem sledećih statističkih pokazatelja: prosek, minimalne i maksimalne vrednosti, koeficijenta varijacije i intervala poverenja. Određivanje statistički značajnih razlika između srednjih vrednosti grupa podataka izvršeno je primenom analize varianse (ANOVA), tj. Duncan-ovog testa sa nivoom pouzdanosti od 95%. Pearsonov koeficijent korelacije (R) izračunat je da bi opisao odnos između STR i drugih parametara zemljišta.

Regresija najmanjeg kvadrata (OLS) korišćena je za određivanje stepena uticaja parametara zemljišta na otpor obrade zemljišta (STR). Kroz OLS proverava se značaj svake prediktorske promenljive, zajedno sa normalnošću raspodele ostataka i pouzdanostu modela (Terron et al., 2011).

Sve geostatističke operacije sa podacima i njihova vizualizacija izvedene su u softveru ArcGis.

Rezultati i diskusija

Analiza stanja zemljišta na kontrolnim lokacijama

Rezultati analize fizičkih osobina zemljišta u odnosu na tretmane predstavljeni su u Tabeli 1. Upotrebom ANOVA-e za poređenje prosečnih vrednosti fizičkih svojstava zemljišta između različitih parcela zaključeno je da su tretirani obrade zemljišta primenjeni u prethodnoj godini doprineli razlikama u nekim, ali ne svim, analiziranim fizičkim karakteristikama zemljišta. Značajne razlike u indeksu konusa (CI dalje u tekstu) utvrđene su razlike u srednjim vrednostima CI između DH 1,62 (MPa) i MP (2,21 MPa), dok je srednja vrednost CI za CP plot (1,89 MPa) bila slična srednjim vrednostima DH i MP varijanti (Tabela 1). Najveća varijacija vrednosti CI zabeležena je za varijantu CP (15,59%), dok je bila slična za ostale parcele. Moglo bi se reći da je sistem obrade zemlje u 2011. uticao na CI parcela. Tabela 1 pokazuje da nije bilo značajnih razlika između srednjih vrednosti zapreminske mase (BD dalje u tekstu) kada su razmatrane različite parcele. Prema tvrdnjama

Strudley et al. (2008), ovo nije izuzetak. U ovom segmentu ispitivanja eventualni podaci o odnosu udela mikropora i makropora mogu dati konkretnije rezultate u pogledu uticaja tretmana. Razlike u srednjim vrednostima vlažnosti zemljišta (MC dalje u tekstu) na parcelama potvrđile su i ANOVA (Tabela 1). Najviša srednja vrednost MC od 18,55% i minimalna varijabilnost od 5,82% izmerene su za CP parcelu. Minimalni MC od 17,40% i najveća varijabilnost od 11,74% zabeleženi su za MP parcelu. Srednja vrednost MC za DH parcelu bila je 18,01%. Pored grupisanja frakcija zemljišta kao sitne (glina + prah) i grube (pesak), druge značajne razlike između parcela nisu utvrđene da bi ih prepoznao merni sistem i pokazao odnos sa STR. Najveća prosečna vrednost STR ($60,32 \text{ kN/m}^2$) i najniža CV dobijena su za MP parcelu. Značajna razlika u prosečnim vrednostima STR zabeležena je između parcele MP i druge dve parcele. Za parcele CP i DH dobijene su slične prosečne vrednosti, ali postojale su značajne razlike u CV parametru, što ukazuje na mogući uticaj prethodne obrade zemljišta na karakteristike zemljišta.

Parametri pomerenosti i oblika distribucije podataka pokazale su da su vrednosti BD i STR najbliže Gaussovoj normalnoj distribuciji.

Tabela 1.

Statistički pokazatelji osobina zemljišta prikazani za svako polje posebno

Table 1.

Statistical parameters of soil properties presented separately for the treated area

Parametar zemljišta	Polje	n	Proseč. k	Min	Max	95% Int. poverenja	CV	Skew.	Kurt.
CI, MPa	CP	10	1.89 ^{ab}	1.49	2.35	1.68	2.11	15.59	0.23
	DH	10	1.62 ^a	1.27	1.98	1.49	1.75	10.36	0.01
	MP	10	2.21 ^b	1.72	2.51	2.05	2.37	11.63	-0.83
BD, $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$	CP	10	1.45 ^a	1.36	1.53	1.42	1.48	3.02	-0.035
	DH	10	1.44 ^a	1.40	1.49	1.42	1.46	2.13	0.23
	MP	10	1.45 ^a	1.38	1.51	1.42	1.48	2.36	-0.34
MC, %	CP	10	18.55 ^c	16.67	20.30	18.04	19.06	5.82	-0.03
	DH	10	18.01 ^b	14.26	21.64	17.15	18.87	10.22	-0.74
	MP	10	17.40 ^a	14.24	20.00	16.44	18.35	11.74	-0.30
Pesak, %	CP	10	35.96 ^a	34.50	37.35	35.21	36.70	3.00	-0.33
	DH	10	37.09 ^a	34.75	40.58	35.66	38.51	5.37	0.53
	MP	10	37.80 ^a	35.82	39.90	36.92	38.68	3.24	0.39
Glinina+prah, %	CP	10	64.04 ^a	62.65	65.50	63.29	64.79	1.63	0.33
	DH	10	62.92 ^a	59.42	65.25	61.49	64.34	3.16	-0.53
	MP	10	62.20 ^a	60.10	64.18	61.32	63.08	1.97	-0.39
STR, kN/m^2	CP	121	56.86 ^a	41.00	77.54	7.48	9.64	14.81	0.29
	DH	113	55.54 ^a	35.86	69.32	6.33	8.23	12.89	-0.60
	MP	103	60.32 ^b	47.07	72.75	4.80	6.32	9.05	0.01

Napomena: Prosečne vrednosti unutar svake kolone koje se ne razlikuju među sobom prema Duncan testu sa verovatnoćom od 5% označene su istim slovom

Analiza korelacije između podataka STR (za sve parcele) i drugih svojstava zemljišta pokazala je da je STR parametar imao najveću pozitivnu korelaciju ($R = 0,82$) sa CI (Tabela 2). Slične rezultate istraživanja predstavili su i autori Desbiolles et al. (1999), Arvidsson i Keller (2011), i Khalilian et al. (2014). Niža negativna korelacija je određena između STR i MC ($R = -0,41$). Arvidsson i Keller (2011) su takođe zaključili da postoji negativna povezanost između ovih parametara. Povećana vлага zemljišta smanjuje kohezivne sile između čestica što olakšava obradu zemljišta. Kao što se može videti u Tabeli 1, niska varijabilnost BD (max. 3,02%) i udeo frakcije zemljišta (max. 5,37%) pokazali

su se neadekvatnim za utvrđivanje potencijalnih prostornih korelacija sa STR (Tabela 2). Male varijacije BD vrednosti nisu uticale na promene vrednosti STR.

Tabela 2.

Pirsonovi koeficijenti korelacijski dobijeni poređenjem vrednosti po kriterijumu zajedničke geolokacije

Table 2.

Pearson's correlation coefficients obtained by comparing the values from the same sampling location

STR, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$	BD, $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$	MC, %	CI, MPa	Sand, %	Clay+Silt, %
STR, kN m^{-2}	1.00	-0.08	-0.41	0.82	-0.20

OLS analiza

Rezultati OLS analize parametra STR kao pokazatelja fizičkog stanja zemljišta predstavljeni su u tabeli 3. R^2 vrednost za dobijeni model je 0,72, što implicira da prediktorske promenljive u njihovoj zajedničkoj interakciji imaju relativno dobar uticaj na STR promenljivu. Parametar Pesak nije korišćen u OLS analizi, jer ako se koristi istovremeno sa parametrom Gлина + Prah, onda je suvišna varijabla i faktor infiltracije varijance je visok ($VIF > 7,5$). Vrednosti date u koloni Koeficijent ukazuju na stepen i vrstu korelacije koja postoji između prediktorske varijable i zavisne varijable. Koeficijenti predstavljaju vrednost prema kojoj će se zavisna promenljiva (STR) promeniti kada se objašnjena promenljiva promeni za 1, a da drugi koeficijenti ne promene svoje vrednosti. Statistički značajne promenljive obeležene su zvezdicom ($p < 0,05$) i krstom ($p < 0,1$). Može se zaključiti da je samo varijabla CI imala značajan uticaj na STR. Ako se prag verovatnoće spusti na $p = 0,1$, tada bi i MC parametar bio statistički značajan. Na osnovu vrednosti dijagnostičkih parametara, koji su sastavni deo OLS analize (Koenkerov koeficijent $BP = 0,62$), zaključeno je da je model stacionarni, odnosno da su promenljive konzistentne u geografskom i numeričkom prostoru.

Tabela 3.

Parametri OLS analize poređenja otpora obrade zemljišta i fizičkih parametara zemljišta

Table 3.

Parameters of OLS analysis of soil resistance (STR, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$) and individual physical properties of soil

Promenljiva	Koeficijent	Stand. Greška	t-vrednost	Verovatnoća	VIF
Presek na y osi	89.8693	27.9096	3.2200	0.003538*	-
BD, $\text{M g}\cdot\text{m}^{-3}$	-1.79889	12.6694	-1.4199	0.1680	1.1382
MC, %	-1.1588	0.6480	-1.7882	0.0859†	1.1433
CI, MPa	10.0077	1.4789	6.7670	<0.0001*	1.1102
Clay+silt, %	0.1354	0.2214	0.5824	0.6121	1.0986

*Statistički značajan na 0,05 nivou; †Statistički značajan na 0,1 nivou; VIF veće od 7,5 pokazuje redundantnost u promenljivoj

Zaključci

Statističkom analizom postignuta je najjača korelacija između otpora zemljišta i sabijenosti zemljišta. Dobijena je niska, ali još uvek značajna korelacija između otpornosti zemljišta i sadržaja vode do dubine od 30 cm. Parametar mehaničke otpornosti zemljišta nije pokazao osetljivost na parametre zapreminske mase i sadržaj frakcija zemljišta što je uglavnom posledica male varijabilnosti tih parametara u polju.

Geostatističke procedure potvrdile su korelaciju dobijenu standardnom statistikom. OLS analiza linearne korelacije dala je objektivan i prostorno konzistentan model sa nivoom objašnjenja od 72% i potvrdila da je otpor konusa imao najznačajniji uticaj na izmereni otpornost na obradu tla.

Prikazani rezultati su potvrdili da merni sistem i merna metoda imaju visok nivo pouzdanosti kada se radi sa komercijalnim mašinama u realnim proizvodnim uslovima, što ne zahteva dalje modifikovanje mehaničko-merne infrastrukture mernog sistema. Daljim istraživanjima može se značajno doprineti optimizaciji korišćena mašina za obradu sa aspekta intenziteta obrade zemljišta time i potrošnje energije. Mapiranje otpora obrade zemljišta tokom redovne operacije može doprineti sagledavanju prostornih distribucija sabijenih slojeva gde bi eventualno mogla da se primeni selektivno meliorativna mera, kao što je podrivanje, drenaža ili đubrenje organiskim đubrvima.

Zahvalnica

Ovu studiju je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat: TR-31046).

Literatura

- Adamchuk, I.V., Viscarra Rossel, R.A., Marx, D.B., Samal, A.K., 2011. Using target sampling to process multivariate soil sensing data. *Geoderma* 163, 63–73.
- Agüera J., Carballido J., Gil J., Gliever C. J., Perez-Ruiz M., 2013. Design of a Soil Cutting Resistance Sensor for Application in Site-Specific Tillage. *Sensors*, 13:5945-5957.
- Arvidsson, J., Keller, T., 2011. Comparing penetrometer and shear vane measurements with measured and predicted mouldboard plough draught in a range of Swedish soils. *Soil. Till. Res.* 111(2), 219-223.
- Askari, M., Komarizade, M. H., Nikbakht, A. M., Nobakht, N., Teimourlou, R. F., 2011. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements, *Res. Agr. Eng.* 57(4):128–136.
- Chung, S.O., Sudduth, K.A., Hummel, J.W., 2006. Design and validation of an on-the-go soil strength profile sensor. *T. ASABE*, 49(1), 5-14.
- Desbiolles, J.M.A., Godwin, R.J., Kilgour, J., Blackmore, B.S., 1999. Prediction of tillage implement draught using cone penetrometer data. *J. Agr. Eng. Res.* 73, 65-76.
- Godwin, R.J., O'Doghertya, 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. *Biosyst. Eng.* 97, 117-129.
- Hayhoe, H.N., Lapan, D.R., McLaughlin, N.B., 2002. Measurements of Mouldboard Plow Draft: I. Spectrum Analysis and Filtering. *Precis. Agric.* 3, 225-236.
- Hemmat, A., Binandeh, R., Ghaisari, J., Khorsandi, A., 2013. Development and field testing of an integrated sensor for on-the-go measurement of soil mechanical resistance. *Sensor Actuator*, 198:(2013)61– 68.
- Hemmat, A., Adamchuk, V.I., Jasa, P., 2008. Use of an instrumented disc coulter for mapping soil mechanical resistance. *Soil Till. Res.* 98(2):150-163.
- Hu, W., Schoenau, J., Bing, C.Si., 2014. Representative sampling size for strip sampling and number of required samples for random sampling for soil nutrients in direct seeded fields. *Prec. Agric.* 2014, 9384.
- Jabro, J.D., Stevens, W.B., Evans, R.G., Iverson, W.M., 2010. Spatial variability and correlation of selected soil properties in the Ap horizon of a CRP grassland. *Appl. Eng. Agric.* 26(3), 419-428.
- Khalilian, A., Han J.Y., Marshall, W.M., Gorucu S., Abbaspour-Gilandeh Y., Kirk R.K., 2014. Evaluation of the Clemson instrumented subsoiler shank in coastal plain soils. *Comput. Electron. Agr.* 109, 46-51.
- Kostić, M., Rakić, D., Ličen, H., Malinović, N., 2014. Design and construction of three point hitch device for measuring draft of tillage implement. Data acquisition and post processing analysis. *J. Food. Agric. Environ.* 12(2), 1300-1307.
- Lapan, D.R., Hayhoe, H.N., Topp, G.C., McLaughlin, N.B., Gregorich, E.G., Curnoe, W.E., 2002. Measurement of mouldboard draft. II. Draft-soil-crop and yield-draft associations. *Precis. Agric.* 3, 237–257.
- Oliver, M., 2010. An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture. In: *Geostatistical application for precision agriculture*, pp.1-34.
- Oliver, M.A., Webster, R., 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging. *Catena*, 113 (2014), 56–69.
- Onwualu, A.P., Watts, K.C., 1998. Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. *Soil Till. Res.* 48(4):239-253.
- Pijuan, J., Berga, J., Cornellà, M., Potau, X., Roca, J., 2012. A three-point hitch dynamometer for load measurements between tillage implements and agricultural tractors during operation. *Cigr-AgEng*, July 8-12, 2012. Valencia, Spain.
- 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.
- Standard ASABE, 2011. ASAE S313.3: Soil Cone Penetrometer. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph.
- Standard ISO 11272:1998. Soil quality – Determination of dry bulk density.
- Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough, II J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.* 99(2), 4-48.
- Terrón, J.M., Marques, da Silva, J.R., Moral, F.J., García-Ferrer, A., 2011. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping. *Precis. Agric.* 12, 750–761.
- Topakci, M., Unal, I., Canakci, M., Kursat, Celik, H., Karayel, D., 2010. Design of a Horizontal Penetrometer for Measuring On-the-Go Soil Resistance. *Sensors* 10, 9337-9348.
- Van Bergeijk, J., Goense, D., Speelman, L., 2001. Soil tillage resistance as a tool to map soil type differences. *J. Agric. Eng. Res.* 79(4), 371–387.
- Viscarra-Rosset, R.A., McBratney, A.B., 1998. Soil chemical analytical accuracy and costs: Implications from precision agriculture. *Aust. J. Exp. Agric.* 38, 765–775.

Spatial regression analysis of soil physical properties and soil tillage resistance using statistics and geostatistics

Marko M. Kostić^{a*}, Dušan Z. Rakić^b, Nebojša M. Dedović^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

^bUniversity of Novi Sad, Faculty of Technology, Bul. Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: markok@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Despite all technological and technical innovations introduced in agriculture, the fertility of arable soils tends to decline which is the major reason of stagnation of field crop production. The aim of this research is to model basic soil physical indicators using soil tillage resistance data collected by on-the-go sensor system respecting precision agriculture principles. The tillage resistance measurement and soil evaluation were performed in 2012 on a field of 0.78 ha, with calcic chernozem type of soil. The year before, the field was divided into three equal plots where three types of tillage were applied (moldboard plowing, disc harrowing and chisel plowing) in order to increase spatial soil differences and to ensure more reliable testing. Soil physical properties were observed at 30 points that were arranged on the nodes of a rectangular grid all over the field along with their geopositioning. Soil tillage resistance was measured in real time and space, during 30 passes that were made on the entire field by a standard tractor and plow. The tillage management applied in 2011 resulted in the differences of some soil parameters. Significant differences between the field plots arose with respect to cone index, moisture content and soil tillage resistance. However, no differences arose regarding the texture (sand, silt+clay content) and bulk density. The correlation analysis showed a high positive correlation between soil resistance and cone index ($R=0.82$) and a negative correlation between soil resistance and moisture content ($R=-0.41$). Fitting of variograms in the modeling of spatial correlation gave the highest prediction error for cone index (13.9%), then for tillage resistance (9.32%), sand content (3.95%), moisture content (3.34%), bulk density (2.4%), and finally clay+silt content (2.2%). The generated maps showed that the soil compaction, moisture and tillage resistance had certain orientations with respect to the field plots.

KEY WORDS: Soil resistance, soil properties, sensing, geostatistics, OLS analysis

Primljen: 20.09.2019.

Prihvaćen: 17.11.2019.