

UDK: 631.312.8

## MODEL OCENE KVALITETA OBRADE NA BAZI STATISTIKE ZEMLJIŠTA

Milan Đević, Zoran Mileusnić  
Poljoprivredni fakultet - Beograd

**Sadržaj:** Obrada izlaže zemljište uticaju različitih mehanizama fizičke dekompozicije, direktno ili indirektno, suštinski menjajući njegovu mehaničku strukturu. Između ostalih, jedan od mogućih pristupa u analizi kvaliteta svake predviđene operacije i procesa obrade u celini svodi se na uspostavljanje funkcionalnih veza između operativnih parametara primenjene mehanizacije i rezultujuće raspodele čestica obrađenog zemljišta. U ovom radu je, u svojstvu preliminarog koraka, predložena i eksperimentalno potvrđena primenljivost log-hiperboličke funkcije za opisivanje raspodela veličina čestica obrađenog zemljišta. Obrada zemljišta je mehaničko usitnjavanje zemljišnih frakcija. Stoga je kontrola kvaliteta oranja koncept koji podrazumeva analizu veličina čestica zemljišta i funkciju njihove raspodele koja je obično drugačija od normalane (Gausovog modela). Sledeći opštu praksu, u izvesnim situacijama koriste se faktori asimetrije  $S$  (SS) i zaravnjenja  $F$  (SF). U radu se analiziraju rezultati pet eksperimenata gde se koriste faktori  $F=F(S)$  i  $SF=SF(SS)$ , a rezultat modeliranja bi koristio za kontrolu kvaliteta rada.

**Ključne reči:** *struktura zemljišta, obrada zemljišta, log-hiperbolička funkcija, asimetrija, zaravnjenje.*

### UVOD

Savremenoj biljnoj proizvodnji su nametnuti oštri ekonomski, ekološki i kriterijumi održivosti. Pored niza standardnih nepovoljnih uticaja, opterećuju je i najnovije posledice globalnog zagrevanja planete i oštećenog ozonskog sloja, uz dodatne zahteve prouzrokovane priraštajem svetskog stanovništva, globalizovanom konkurencijom na svetskom tržištu itd. Opstanak i uspešno poslovanje u ovim uslovima su, pored ostalog, mogući samo uz precizno planiranje i izvođenje tehničko-tehnoloških procesa na kojima se biljna proizvodnja zasniva i što tačnijem predviđanju ishoda. Sve to je, uglavnom u poslednjem kvartalu prošlog veka, rezultiralo uvođenjem matematičkih metoda i u oblast poljoprivrede.

Ovaj rad opisuje skromni pokušaj u jednom od mnoštva mogućih pravaca matematičkog modeliranja rezultata mehanizovane obrade zemljišta. Ona se u značajnoj meri

svodi na mehaničko usitnjavanje čestica zemljišta u procesima rezanja i drobljenja sloja zemljišta zahvaćenog odgovarajućim radnim organima primenjene poljoprivredne mašine. U tom smislu, kvalitet obrade se (pored niza drugih relevantnih parametara), može oceniti na osnovu kvantitativnih informacija o rezultujućim raspedelama veličina čestica obrađenog zemljišta, izraženih u formi odgovarajućih statističkih tabela, histograma, statističkih ocena u formi momenata, u analitičkoj formi itd. Naša istraživanja su obuhvatila sve navedene pristupe, ali je pažnja fokusirana na dva poslednja.

## MATERIJAL I METOD RADA

### Matematičke osnove funkcije raspodele

Analitički pristup je, sa matematičke tačke gledišta, najsloženiji. Veliki je problem ne samo formulirati opšti oblik matematičke funkcije koja bi sa prihvatljivom tačnošću mogla opisati ove često veoma složene empirijske raspodele, već i razviti procedure za određivanje njihovih parametara. Uspeh celog postupka u izvesnim situacijama suštinski zavisi ne samo od suptilnosti primenjenog računskog postupka, već i od inventivnosti i mašte autora u "pogađanju" inicijalnih vrednosti parametara u početnim iteracijama proračuna.

Do danas, normalna Gausova funkcija raspodele gustine verovatnoće (Gausova f-ja u daljem tekstu) uspešno je primenjena u opisivanju relevantnih parametara mnogih slučajnih procesa. Značajan deo statističke teorije je zasnovan na ovoj funkciji. Ipak, u mnogim praktičnim situacijama ona ne daje zadovoljavajuće rezultate. Stoga su razvijeni i drugi modeli statističkih raspodela, te istraživači danas imaju relativno široku mogućnost izbora analitičkog modela u zavisnosti od svoje procene oblika raspodele verovatnoće.

Mi [7, 8] imamo dosta skromno, ali pozitivno iskustvo sa primenom log-hiperboličke funkcije *Barndorf-Nielsen 1977* u opisivanju raspodela brojčanih udela pojedinih agregata u ukupnom uzorku zemljišta. Mada je dokazala svoju primenljivost u više oblasti, u oblasti modeliranja frakcija zemljišta nismo pronašli takve radove. Hiperbolička funkcija gustine raspodele verovatnoće može se napisati u obliku

$$f(x, \alpha, \beta, \delta, \mu) = A(\alpha, \beta, \delta) \cdot e^{-\alpha \sqrt{\delta^2 + (x-\mu)^2} + \beta(x-\mu)} \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

gde  $\alpha > 0$ ,  $|\beta| < \alpha$ ,  $\delta > 0$  i  $\mu \in (-\infty, \infty)$  predstavljaju četiri parametra koji se određuju obradom eksperimentalnih podataka u svakom konkretnom slučaju. Ukoliko se funkcija (1) umesto na promenljivu  $x$  primeni na njen logaritam, nastaje log-hiperbolička funkcija raspodele gustine verovatnoće.

Konstanta  $A$  je zadužena za ispunjenje standardnog uslova teorije verovatnoće, prema kome je verovatnoća sigurnog događaja jednaka jedinici:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = 1 \quad (2)$$

Defisana je izrazom:

$$A = \frac{\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}}{2 \cdot \alpha \cdot \delta \cdot K_1(\delta \cdot \sqrt{\alpha^2 - \beta^2})} \quad (3)$$

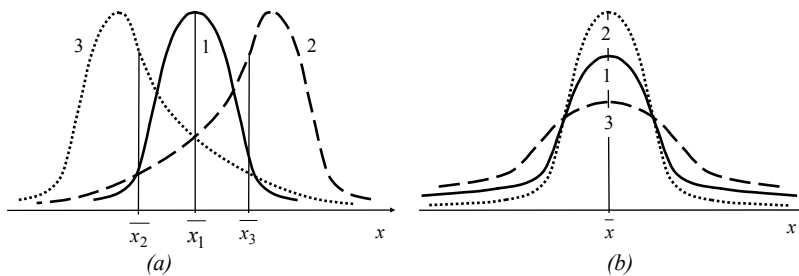
u kome  $K_1$  predstavlja Beselovu funkciju treće vrste i prvog reda. Lokacioni parametar  $\mu$ , parametar razmere  $\delta$  i moda  $v$  raspodele su povezani izrazom:

$$v = \mu + \frac{\delta \cdot \beta}{\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}} \quad (4)$$

U odnosu na simetričnu normalnu funkciju gustine raspodele verovatnoće, hiperbolička funkcija može biti ne samo simetrična ( $\beta=0$ ), već i asimetrična na desnu ( $\beta>0$ ) ili levu stranu ( $\beta<0$ ).

### Ocena raspodele na osnovu faktora asimetrije i zaravnjenja

Jednostavan i široko rasprostranjeni pristup za kvantifikovanje oblika raspodele zasnovan je bezdimenzijskim parametrima, kao što su faktori asimetrije  $S$  i zaravnjenja  $F$ . Za normalnu Gausovu raspodelu, teorijske vrednosti su:  $S=0$  i  $F=3$ . Sa povećanjem razlike između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti ovih faktora, raste i odstupanje oblika empirijske raspodele od normalne. Zato se njihove vrednosti mogu koristiti za preliminarnu ocenu oblika raspodele. Povećanje reda ovih bezdimenzijskih statističkih momenata poboljšava njihovu osetljivost na odstupanja oblika empirijskih raspodela od teorijske normalne. Zato se u izvesnim situacijama koriste i faktori superasimetrije  $SS$ , superzaravnjenja  $SF$ , hiperasimetrije  $HS$  i hiperzaravnjenja  $HF$ . Međutim, momenti višeg reda zahtevaju veće uzorke za ostvarenje konvergencije svojih vrednosti. To predstavlja manje matematički, a više praktičan problem sakupljanja i pripreme (prosejavanja) vrlo osetljivog i nestabilnog uzorka.



Sl. 1. Slika koja definiše različite oblike unimodalnih raspodela: (a) faktor asimetrije  $S$  je nula za simetričnu funkciju (1), negativan za levo-asimetričnu (2) i pozitivan za desno-asimetričnu funkciju (3); (b) faktor zaravnjenja  $F$  je 3 za srednje zaravnjenu Gausovu raspodelu (1),  $F>3$  za uske (2) i  $F<3$  za ravne raspodele.

### Ekperimentalni uslovi

U prvoj fazi su numerički obrađeni i analizirani rezultati konvencionalne obrade zemljišta, u okviru koje je prvo izvršena osnovna obrada plugom, a zatim i dopunska obrada tehničkim sredstvima prikazanim u tabeli 1 (Dević i sar. 2001).

U toku tanjiranja eksperimentalnog zemljišta,

- radni otpori su varirali u granicama od 11,77 kN do 14,71 kN, uz ostvarenu radnu brzinu od 8-9 km/h,
- nivo klizanja pogonskih točkova traktora bio je 10 %,
- broj obrtaja motora 2000  $^{\circ}$ /min.

Pri tome, temperatura atmosferskog vazduha bila je stabilna, održavajući se na nivou  $31 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , a higroskopska vlažnost zemljišta na dubini orničnog sloja je iznosila 14-16%.

Radni otpori agregata su izmereni dinamografom *Alfred-Amsler & Co Schaffhausen* (Schweiz No 239, Presstopf 288/278), a zapreminska masa zemljišta cilindrima *Kopeckog*. Strukturna analiza zemljišta izvršena je metodom *Savinova* (v. *Korunović i Stojanović 1989*), a higroskopska vlažnost zemljišta na dubini oraničnog sloja određena je primenom metode *Kačinskog* (v. *Kačinski 1958*). Eksperiment je izvršen na oglednoj parceli Instituta za kukuruz u Zemun Polju, Beograd.

Tab. 1. Karakteristike primenjene tehnike

Tehničke karakteristike traktora JD 4440		Tehničke karakteristike pluga i tanjirače		
			Plug Panter	Tanjirača Drava
Snaga motora- [kW]	114	Broj radnih tela	3	36
Max. broj obrtaja [o/min]	2200	Radni zahvat plužnog tela [cm]	35	-
$M_{\max}/n_{M\max}$ [Nm/ o/min]	-	Radni zahvat [cm]	105	450
q [g/kWh]	265	Dubina obrade [cm]	do 40	10-15
Specifična masena snaga [kW/t]	20,55	Klirens [cm]	81	-
Specifična masa bez balasta [kg/kW]	48,64	Način agregatiranja	Nošeni	Vučeni
Specifična masa sa balastom [kg/kW]	59,82	Masa [kg]	900	3200
Masa - bez balasta	5545	Rastojanje radnih organa	90	25
- sa balastom	6820			

U drugoj fazi rada, analizirani podaci prošireni su podacima iz novog dodatnog eksperimenta, obavljenog u aprilu 2005. godine u ritskoj crnici obrađenoj traktorom "JD 8520" i germinatorom tipa "Franqet". Temperatura je bila stabilna, u opsegu  $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , a relativna vlažnost 65%. Higroskopska vlažnost obrađenog sloja, određena metodom *Kačinski 1958*, iznosila je 18%. Sile otpora primenjenog agregata, merene dinamografom, varirale su od 35 do 45 kN, pri operacionoj brzini od 12-15 km/h. Gustina zemljišta iznosila je  $1.3 \text{ g/cm}^3$ , a merena je *Kopeckij* cilindrima, dok je metod *Savinova* (vidi *Korunović i Stojanović 1989*) primenjen za analizu strukture obrađenog zemljišta.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Obrada zemljišta nije kraj sam po sebi, nego je u velikoj meri integralni element kompleksnih proizvodnih procesa koje određuju brojni ekonomski i ekološki zahtevi koji se često menjaju što je posledica promenljivih uslova poljoprivredne i socijalne politike. Bez obzira da li je u pitanju zemljište, voda ili klimatska zaštita, "ekološka" proizvodnja ili redukcija proizvodnih troškova, ključ uspeha je u izboru odgovarajuće tehnike obrade zemljišta.

Osnovni cilj obrade zemljišta je stvaranje ornice, koja obezbeđuje najpovoljnije uslove za rast i razvoj poljoprivrednih useva. Važan zahtev koji treba da ispuni obrada je dobijanje povoljne strukture orničnog sloja, što obezbeđuje optimalne uslove za kulturne biljke i mikroorganizme u smislu vodno-vazdušnog, toplotnog i hranidbenog režima zemljišta. Postavljeni zadaci se rešavaju sistemima obrade.

### Priprema eksperimentalnih podataka za numeričku obradu

Tabela 2 prikazuje rezultate prosejavanja dve probe varijeteta černozeza gustine 1,15 [g/cm<sup>3</sup>], obrađenog tanjiračom "OLT Drava". Forma izvornih podataka, prikazanih u kolonama broj 2, 3 i 4, tabele 2 nije bila pogodna za direktnu numeričku obradu, te je izvršeno prilagođavanje.

U cilju povećanja tačnosti merenja mase obrađenih uzoraka zemljišta, a time i proračuna, ukupna prosejana masa svake (*i*-te) frakcije (kolona 5) je određena kao aritmetička sredina masa dve pripadajuće "probe" predstavljene u kolonama 3 i 4:

$$\bar{M}_i = \frac{M_{1i} + M_{2i}}{2}; (i = 1,2,3,\dots,7) \quad (5)$$

Ovaj pristup je statistički opravdan – greška određivanja aritmetičke sredine uzorka je manja od grešaka pojedinačnih merenja na osnovu kojih je izračunata. Da bi se masa prosejanih frakcija prevela u odgovarajući broj čestica, pretpostavljen je idealizovani sferni oblik čestica zemljišta i uveden pojam tzv. ekvivalentnog prečnika  $D_{e_i}$  (*i*-te) frakcije (kolona br. 6). Računat je u formi aritmetičke sredine graničnih dimenzija kvadratnih otvora sita (podaci iz kolone br. 2) kojima je izdvojena odgovarajuća frakcija (agregat) zemljišta:

$$D_{e_i} = \frac{L_{\min_i} + L_{\max_i}}{2}. \quad (6)$$

Pri tome je, očigledno,  $L_{\max_{i-1}} = L_{\min_i}$ , ( $i=2,3,4,\dots,7$ ).

Tab. 2. Pregled veličina i broja čestica po frakcijama uzorkovanog zemljišta  
(Petrović i sar., 2005)

R.B.	Frakcija	Ukupna masa frakcije			Ekv. prečnik	Broj ekv. čestica	Ceo broj ekv. čestica
<i>i</i> [-]	Prečnik otvora sita $L_i$ [mm]	Uzorak 1 $M_{1i}$ [g]	Uzorak 2 $M_{2i}$ [g]	Sr. vrednost $\bar{M}_i$ [g]	$D_{e_i}$ [cm]	$n_i$ [-]	$n_{e_i}$ [-]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	50-100	500	800	650	<b>7.5</b>	2.56	<b>3</b>
2	25-50	1400	1500	1450	<b>3.75</b>	45.66	<b>46</b>
3	19-25	750	600	675	<b>2.2</b>	105.28	<b>105</b>
4	16-19	400	300	350	<b>1.75</b>	108.46	<b>108</b>
5	9.5-16	1000	700	850	<b>1.275</b>	681.07	<b>681</b>
6	5-9.5	3800	2400	3100	<b>0.725</b>	13509.84	<b>13510</b>
7	0-5	1500	2400	1950	<b>0.25</b>	207260.77	<b>207261</b>
	<b>Σ</b>	<b>9350</b>	<b>8700</b>	<b>9025</b>		<b>221713.64</b>	<b>221714</b>

Na osnovu izmerene gustine uzoraka varijeteta černozeza od  $\rho=1.15$  [g/cm<sup>3</sup>], srednje mase  $\bar{M}_i$  i odgovarajućeg ekvivalentnog prečnika  $D_{e_i}$  svake (*i*-te) frakcije, izračunat je broj čestica  $n_i$  (kolona 7) i zaokružen na celobrojnu vrednost  $n_{e_i}$  (kolona 8). Zapremina jedne ekvivalentne čestice (grumena) koja pripada *i*-toj frakciji zemljišta može se predstaviti uvođenjem ekvivalentnog prečnika  $D_{e_i}$  čestice zemljišta u formulu za izračunavanje zapremine lopte:

Elementarnom transformacijom izraza dobijena je konačna formula za izračunavanje brojeva ekvivalentnih čestica svake od 7 prosejanih frakcija zemljišta, prikazanih u koloni 7:

$$n_i = \frac{6 \cdot \overline{M}_i}{\rho \cdot \pi \cdot D_{e_i}^3} \cdot \quad (7)$$

odnosno njihovih zaokruženih celobrojnih vrednosti  $n_{e_i}$ , prikazanih u koloni 8.

Eksperimentalni podaci (tabela 2) su dati kao masene raspodele  $m_i$  frakcija zemljišta, definisanih dimenzijama kvadratnih otvora sita, donjom  $L_{i,min}$  i gornjom  $L_{i,max}$ . Smatrali smo da su čestice svake frakcije idealnog sfernog oblika sa ekvivalentnim prečnikom računatim po formuli (6). Problemi konvergencije numeričke procedure su nas naterali da pri modeliranju raspodela log-hiperboličkom funkcijom koristimo brojeve čestica izračunate primenom izraza (7). Ipak, sa agrotehničke tačke gledišta, pogodnije je koristiti masene udele određenih frakcija (Đević i sar., 2001) što je i urađeno u ovom slučaju – pri proračunu faktora zaravnjenja i asimetrije:

$$p_{m_i} = m_i / \sum_{i=1}^7 m_i = m_i / m \cdot \quad (8)$$

Tab. 3. Veličina i broja čestica po frakcijama uzorkovanog zemljišta (Petrović i sar., 2006)

	Dim. mrežice (frakcije)	Ekv. prečnik	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$i$ [-]	$L_{min} - L_{max}$ [mm]	$D_e$ [mm]	$m$ [g]	$m$ [g]	$m$ [g]
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(8)
1.	50 – 100	75.00	200	350	300
2.	26 – 50	38.00	550	600	600
3.	19 – 25	22.00	400	550	450
4.	16 – 19	17.50	250	350	350
5.	9.5 – 16	12.75	650	1050	900
6.	5 - 9.5	7.25	750	850	850
7.	0 – 5	2.50	4950	5600	5150
	$\Sigma$		7750	9350	8600

Drugi stepen obrade podataka je obuhvatio proračun statističkih parametara, kao što su prosečni prečnik čestice, standardna devijacija, faktor asimetrije, zaravnjenja, superasimetrije i superzaravnjenja, respektivno.

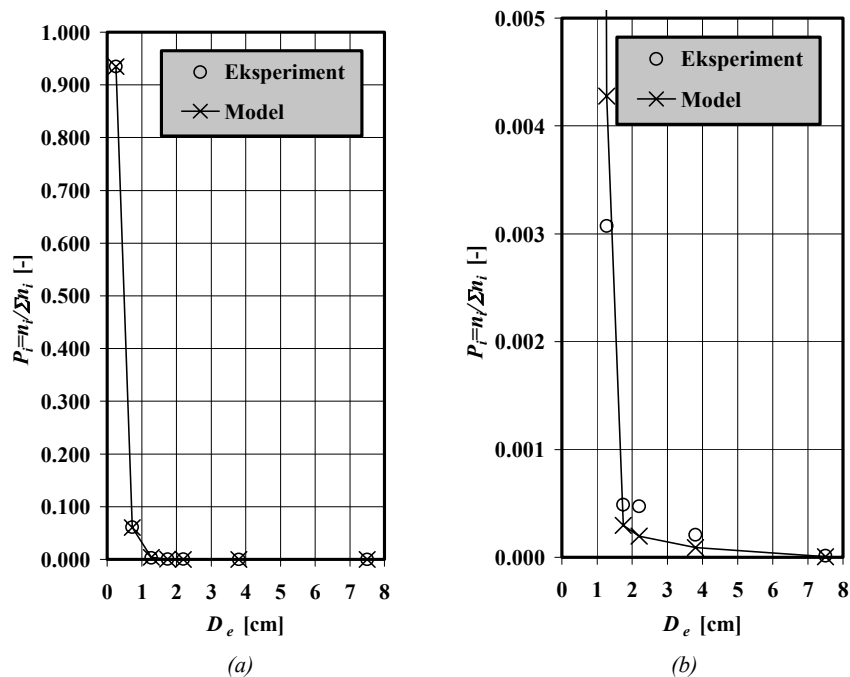
$$\overline{D}_e = \sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot D_{e_i}, \quad \dots \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot (D_{e_i} - \overline{D}_e)^2}, \quad (9) - (10)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot (D_{e_i} - \overline{D}_e)^3}{\sigma^3}, \quad F = \frac{\sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot (D_{e_i} - \overline{D}_e)^4}{\sigma^4}, \quad (11) - (12)$$

$$SS = \frac{\sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot (D_{e_i} - \overline{D}_e)^5}{\sigma^4}, \quad SF = \frac{\sum_{i=1}^7 p_{m_i} \cdot (D_{e_i} - \overline{D}_e)^6}{\sigma^5}. \quad (13) - (14)$$

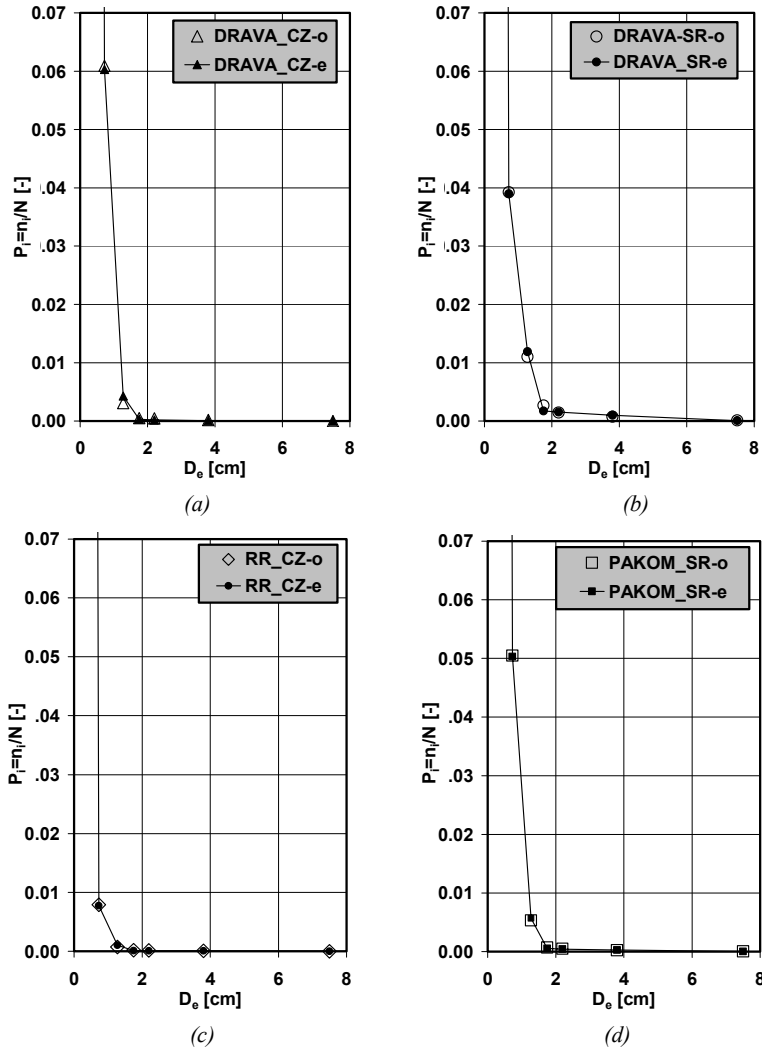
### Rezultati modeliranja

Izvorni eksperimentalni podaci, transformisani primenom algoritma, predstavljani u kolonama broj 6 i 8 tabele 2, softverski su obrađeni sledeći pristup koji su opisali *Bhatia and Durst 1988*. Dobijeni su sledeći parametri rezultujuće log-hiperboličke funkcije raspodele gustine verovatnoće:  $\alpha=2.340864224$ ,  $\beta=-1.700983132$ ,  $\delta=-.1977921779E-06$ ,  $\mu=1.434262816$  i normalizaciona konstanta  $A=.5348612497$ .



Sl. 2. Uporedni pregled raspodela relativnih učestanosti ekvivalentnih prečnika čestica određeni eksperimentalno i primenom log-hiperboličkog modela (Petrović i Mileusnić, 2004)

Obe slike prikazuju identične podatke, s tim što grafik (2b) na desnoj strani predstavlja u uvećanoj razmeri raspodelu čestica prečnika većih od 1 [cm]. Njihova relativna učestanost pojave u celokupnom uzorku je veoma niska, te se odgovarajuće razlike eksperimentalnih i modeliranih podataka slabo uočavaju na slici 2a. Rezultati modeliranja, ilustrovani slikom 2, potvrđuju primenljivost log-hiperboličke funkcije u opisivanju raspodela relativnih učestanosti ekvivalentnih prečnika čestica frakcija zemljišta uzorkovane na parceli černozeza dodatno obrađenoj tanjiračom. Pored raspodele prikazane na slici 2, uspešno su modelirana još tri uzorka oranice. Uporedni prikaz svih podataka je dat na slici 3.



Sl. 3. Raspodele čestica obrađenog zemljišta (eksperim. podaci –“o” modelirani podaci –“e”): (a) tanjirača + černožem, (b) tanjirača + ritska crnica, (c) setvospremač + rotositnilica + černožem (d) Pakomat + ritska crnica. (Petrović i sar., 2005)

Osnovni statistički parametri, koji karakterišu masene distribucije različitih frakcija oranice uzorkovanih u toku pet nezavisnih eksperimenata, prikazani su u tabeli 4. Prosečni ekvivalentni prečnici  $\overline{D_e}$  i standardne devijacije  $\sigma$  (kolone 4 i 5) predstavljaju važnu bazu informaciju za procenu kvaliteta obrade. Prvi varira od 0.97 do 3.69 [cm], dok je drugi u opsegu od 1.27 do 2.89 [cm]. Njihove varijacije, zavisno od tipa oranice i primenjenih sredstava mehanizacije, su evidentne. Istovremeno, faktori asimetrije  $S$  i

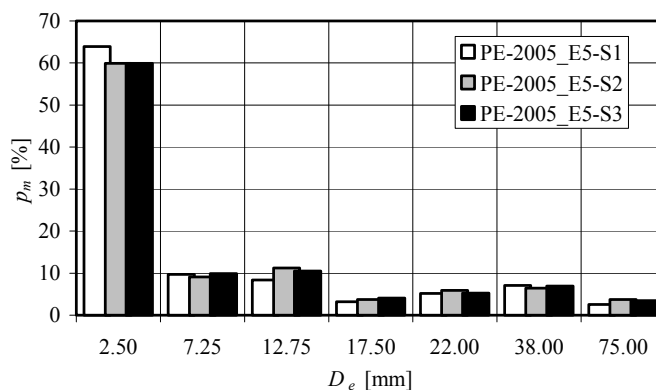


superasimetrije  $SS$  variraju od vrednosti 0.32 do 2.83 i od 0.83 do 49.31, respektivno. Za faktore zaravnjenja  $F$  i superzaravnjenja  $SF$ , ovi opsezi su +1.50 – +11.62 i +2.41 – +216.53, respektivno.

Tab. 4. Statistički parametri raspodela frakcija obrađenog zemljišta (Petrović i sar., 2006)

Ogled	Proba	Tehnika i tip zemljišta	$\bar{D}_e$ [cm]	$\sigma$ [cm]	$S$ [-]	$F$ [-]	$SS$ [-]	$SF$ [-]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Br. 1	S1	“Panter”+“Drava”	3.69	2.86	0.32	1.50	0.83	2.41
	S2	Ritska crnica	3.48	2.65	0.53	1.79	1.67	3.66
Br. 2	S1	“Panter”+“Drava”	1.69	1.80	1.91	6.24	19.21	61.76
	S2	Černozem	1.93	2.16	1.51	4.28	10.43	27.05
Br. 3	S1	“RAU”+“IMT”	1.46	1.27	1.01	2.50	4.03	7.91
	S2	Černozem	1.10	1.40	1.24	2.77	5.10	10.00
Br. 4	S1	“PAKOMAT”	3.24	2.89	0.53	1.65	1.61	3.17
	S2	Ritska crnica	1.79	1.93	1.85	5.75	16.34	48.40
Br. 5 Novi ogled	S1	Germ. “Franket” Ritska crnica	0.97	1.45	2.83	11.62	49.31	216.53
	S2		1.08	1.59	2.71	10.50	40.82	162.46
	S3		1.07	1.57	2.70	10.51	41.29	166.54

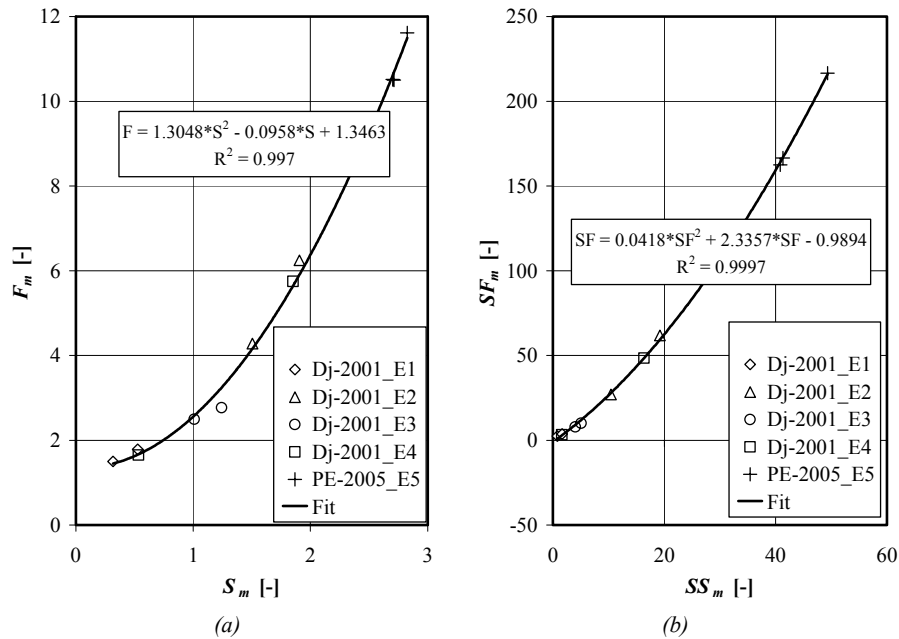
Evidentno, odstupanja statističkih parametara dobijenih obradom različitih eksperimenata rastu sa povećavanjem reda odgovarajućeg statističkog parametra. Drugim rečima, parametri višeg reda su osetljiviji na promene funkcije gustine verovatnoće u poređenju sa parametrima nižeg reda. Stoga se parametri višeg reda mogu koristiti kao dodatni komplementarni kriterijumi (zajedno sa srednjom vrednošću i standardnom devijacijom) u kontroli i oceni kvaliteta procesa obrade zemljišta. Faktori asimetrije i zaravnjenja pri tome imaju važnu ulogu ocene oblika raspodele (vidi sliku 1).



Sl. 4. Masene distribucije različitih frakcija obrađenog zemljišta – ogled br. 5 (“novi ogled” broj 5 u tabeli 4), uzorci 1, 2 i 3, tj. S1, S2 i S3. (Petrović i saradnici 2006)

Slika 4 prikazuje masene distribucije frakcija zemljišta tri probe uzorkovane u poslednjem (novom) eksperimentu (S1, S2 and S3). Prema očekivanjima, ove raspodele su asimetrične udesno. To pokazuju i naše kalkulacije – vrednosti asimetrije i

zaravnjenja su pozitivne (vidi tabelu 4 – kolonu 6, redovi su označeni kao novi ogled br. 5). Na slici se takode vidi da su distribucije uske, dajući prilično visoke faktore zaravnjenosti:  $F=10.50, 10.51$  i  $10.62$  (za normalnu raspodelu je 3).



Sl. 5. Statističke relacije između: (a) faktora zaravnjenja  $F$  i asimetrije  $S$ ; (b) faktora superzaravnjenja  $SF$  i superasim.  $SS$ . (Petrović i sar., 2006)

Proračuni pokazuju vrlo interesantne veze nekih bezdimenzijskih statističkih parametara višeg reda. Empirijske vrednosti faktora asimetrije i zaravnjenja (sl. 5a), kao i superasimetrije i superzaravnjenja (sl. 3b), jasno slede parabolične krive drugog stepena (reda). U oba slučaja, koeficijenti determinacije su preko 0,99.

## ZAKLJUČAK

Rezultati modeliranja, ilustrovani slikom 2, potvrđuju primenljivost log-hiperboličke funkcije u opisivanju raspodela relativnih učestanosti ekvivalentnih prečnika čestica frakcija zemljišta.

U radu je potvrđeno postojanje jakih veza faktora asimetrije i zaravnjenja, kao i faktora supersimetrije i superzaravnjenja. Veze su očuvane u različitim uslovima, okarakterisanim sa dva tipa zemljišta i više različitih agrotehničkih pristupa u obradnom procesu. Pri tome su računski dobijene, veoma različite vrednosti viših statističkih parametara u različitim eksperimentima. To sve ukazuje da u ovakvim procesima, uprkos prividnoj haotičnosti, postoje izvesne zakonitosti koje se mogu funkcionalno opisati.

Pored navedenog proširenja baze podataka, potrebno je ispitati i druge oblike međusobnih funkcionalnih veza viših momenata raspodela frakcija zemljišta. U slučaju pozitivnog ishoda, ostvarenog u drugim oblastima, omogućilo bi se izračunavanje vrednosti parametara višeg reda na osnovu parametara nižeg, prvenstveno trećeg (faktor asimetrije) i četvrtog (faktor zaravnjenja), koji zahtevaju, manji obim statističkog uzorka za dostizanje računске konvergenije svojih vrednosti od parametara višeg reda. To bi uprostito metodologiju obrade podataka i smanjilo obim uzorka zemljišta i obezbedilo zadovoljavajući nivo tačnosti proračuna.

### LITERATURA

- [1] Barndorf-Nielsen O. (1977): Exponentially decreasing distributions for the logarithm of particle size. Proc. R. Soc., London, A.353, pp. 401-419.
- [2] Bhatia J. C. and Durst F. (1988): LHPDF – A PC package for estimating parameters of the log-hyperbolic distribution, moments and mean parameters. Report LSTM 230/T/88.
- [3] Качински, Н. (1958): Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения, Москва.
- [4] Korunović, R., Stojanović, S. (1989): Praktikum pedologije, str 43-51, deseto izdanje, Naučna knjiga, Beograd.
- [5] Mileusnić, Z., Novaković, D., Miodragović, R. (2003): Proizvodne mogućnosti traktora u oranju, Savremena poljoprivredna tehnika Vol. 29, No 1-2, str 12-19, Novi Sad.
- [6] Mileusnić, Z., Đević, M., Miodragović, R. (2004): Energetski parametri rada traktora u obradi zemljišta, Traktori i pogonske mašine, Vol. 9, No 4, str. 66-71, Novi Sad.
- [7] Petrović, V.D., Mileusnić, Z. (2004): O modeliranju raspodele veličina agregata zemljišta nakon dopunske obrade tanjiranjem, Poljoprivredna tehnika, broj 2, str. 17-24, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- [8] Petrović, V.D., Đević, M., Mileusnić, Z. (2005): An Approach in Describing the Physical Structure of Tillaged Ground. Proc. of The 9<sup>th</sup> Int. Congr. on Mechaniz. and Energy in Agriculture & Int. Conf. of CIGR Sec. pp. 30-35, IV, Izmir, Turkey.
- [9] Petrović, V.D., Đević, M., Mileusnić, Z. (2006): Some relationships between the skewness and flatness factors in a cultivated soil structure. Proc. of The XVI World Congress, 64<sup>th</sup> VDI-MEG Int. Conference Agricultural Engineering, pp. 191-193, Bonn, Germany
- [10] Xu T.-H., Durst F. and Tropea C. (1993): The three-parameter log-hyperbolic distribution and its application to particle sizing. Atomization and Sprays, vol. 3, pp. 109-124.
- [11] Đević, M., Oljača, M., Topisirović, G. (1990): Primena kombinovanih agregata u obradi zemljišta i setvi, Zbornik radova, Mehanizacija u agrokompleksu, str. 110-118, Obrenovac,.
- [12] Đević, M., Novaković, D., Mileusnić, Z., Miodragović, R. (1998): Pokazatelji rada traktorsko mašinskog agregata u oranju, Revija Agronomska saznanja, 1/98, str. 79-83. Novi Sad,
- [13] Đević, M., Komnenić, V., Ivana Ljubanović Ralević, Bajkin, A., Miodragović, R., Mileusnić, Z. (2001): Istraživanje optimalnih parametara racionalne obrade zemljišta, setve i nege ratarskih i povrtarskih kultura, Izveštaj projekta 12M12.

Rezultati istraživačkog rada nastali su zahvaljujući finansiranju Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, Republike Srbije, Projekat "Optimalna tehnološko tehnička rešenja za tržišno orijentisanu biljnu proizvodnju", evidencionog broja TP.6918.A, od 1.04.2005.

**THE MODEL OF TILLAGE QUALITY EVALUATION  
BY USE OF SOIL STATISTICS**

**Milan Đević, Zoran Mileusnić**  
*Faculty of Agriculture - Belgrade*

**Abstract:** Tillage exposes the soil to different mechanisms of direct or indirect mechanical decomposition, crucially changing its structure. Among others, a possible initial approach in controlling the quality of each specified operation and complete tillage process assumes establishing the functional relations between the operational parameters of applied mechanization and resulting probability density distribution of soil particle sizes. In this paper, the log-hyperbolic function is introduced and experimentally verified in describing the post-tillage soil particle sizes probability density distribution. Cultivation includes a variety of mechanical soil decomposing mechanisms. Consequently, quality control of a tillage concept incorporates the analysis of resulting soil particle sizes distribution, usually different from the normal Gaussian model. Following the common practice, shapes of these distributions are quantified in the paper by skewness  $S$  (SS) and flatness  $F$  (SF) factors. Data from five experiments gave clear relationships  $F=F(S)$  and  $SF=SF(SS)$ , that might be useful in modelling and controlling the tillage quality.

**Key words:** *soil structure, tillage, log-hyperbolic function, skewness, flatness.*