

A. BUTORAC,
I. TURŠIĆ

UZAJAMNI ODNOSI ZBIJENOSTI TLA I GNOJIDBE U UZGOJU OZIME PŠENICE I SOJE

UWOD I PREGLED LITERATURE

Zbijenost tla izravno utječe na životne procese biljaka. Stoga zbijenost tla treba razmatrati ne samo kao značajan element fizike tla već i života biljaka. Kao što je poznato, o zbijenosti tla ovisi uvodni i zračni, a često i toplinski režim tla. Pri zbijanju tla dolazi do znatnog smanjenja filtracije. Značajna je i uloga zbijenosti u kretanju vlage u tlu. Pri visokom stupnju vlažnosti vlaga se neprestano kreće prema sušoj zoni. To je zapravo put isušavanja zbijenog tla, što se može spriječiti rahljenjem. Za normalni razvoj biljaka minimalni volumen pora treba se kretati od 10 do 12% (Chapman i Carter, 1976). Optimalni porozitet, međutim, varira u ovisnosti o vrsti i razvojnom stadiju biljke, pa tako optimalna vrijednost za pšenicu i zob prema istim autorima iznosi 10 do 15%, a za ječam od 15 do 25%. Oćenito, biljke su osjetljive na smanjeni porozitet u fazi cvjetanja nego prije njega. I ambijentalni uvjeti kao što su svjetlo, temperatura i pristupačnost hraniva također utječu na reakciju biljke prema smanjenoj ili ograničenoj poroznosti ili aeraciji.

Smanjena poroznost može prema Chapmanu i Carteru (ibid.) dovesti do smanjenja prinosa usjeva na četiri načina: 1. redukcijom ukupnog rasta, 2. redukcijom mineralne ishrane, 3. redukcijom opskrbe vodom i 4. formiranjem toksičnih tvari u biljci i tlu.

Na poroznost tla utječe struktura i tekstura. Naime, ako je struktura oštećena ili uništena smanjuje se poroznost. Tlo nepovoljne strukture utječe loše na infiltraciju, čak je i onemogućuje, dok pri povoljnoj agregaciji tlo nesmetano prima vodu. Pa, iako se praktično ne može ništa poduzeti u polju u vezi promjena teksture tla, struktura tla se barem može zaštititi, a u izvjesnim slučajevima poboljšati nizom zahvata.

Sa stajališta zbijenosti tla veliko značenje prema Revutu (1972) imaju istraživanja mehanizma i uzroka negativnog djelovanja velike zbijenosti tla na prinos poljoprivrednih kultura. Jasno je da zbijanje tla predstavlja samo po sebi značajnu mehaničku prepreku za širenje korijenovog sistema biljaka. Postoje opravdane sumnje o mogućnosti prodiranja u tlo korjenčića i korijenovih dlačica ako se promjer pora smanji u prosjeku na 2 do 3 desetice mikrona.

Također se može pretpostaviti (Revut, ibid.) da se zbijenošću tla znatno smanjuje pristupačnost vode za biljke, time što se gotovo sva voda

Prof. dr Anđelko Butorac,
Mr Ivan Turšić
Poljoprivredni fakultet Zagreb

nalazi u zoni djelovanja površinskih sila čestica tla, što dovodi do prelaženja vode u oblik nepristupačan biljkama. U tome, naime, slučaju sile koje povezuju molekule vode s česticama tla nadilaze usisavajuće sile korijena.

Zbijenost tla značajan je činilac ne samo u pogledu akumulacije vlage već i u pogledu regulacije njenog gubitka iz tla.

Prema Veihmeyeru i Hendricksonu (1948, cit. prema Revutu, *ibid.*) u glinastim tlima pri zbijenosti 1,6 do 1,7 g/cm³ uopće se nije moglo zapaziti korijenje usjeva, a u izvjesnim slučajevima nije moglo prodrjeti u glinu pri zbijenosti 1,46 g/cm³. Isti autori smatraju da pri zbijanju tla obilnim vlaženjem ono postaje pristupačnije korijenovom sistemu nego pri zbijanju tla mehaničkim djelovanjem. Objašnjenje ovome autori vide ne u poremetnji izmjene plinova već u neznatnoj veličini pora.

U ovisnosti o mehaničkom sastavu tla zbijenost se manifestira različito, što potvrđuje rezultat nekih inozemnih istraživanja. Tako je na pjeskovitom tlu kukuruz slabo reagirao na zbijenost tla, pa je prinos zelene mase pri zbijenosti 1,45 g/cm³ bio čak viši u posudama s rahlim tlom. Tek je u tlu pri zbijenosti 1,6 g/cm³, koja se u prirodnim uvjetima rijetko susreće, prinos kudikamo niži nego u rahlijem tlu.

Primjenom mineralnih i organskih gnojiva može se postići visoki stupanj plodnosti tla. Može se također postići normalna opskrbljenost biljaka vodom, ali i u tim slučajevima suviše visoka zbijenost onemogućuje dobivanje visokih prinosa. Optimalna zbijenost na različitim tlima različita je. Na pjeskovitim tlima njezino značenje je drukčije nego na ilovastim ili glinastim. Nepovoljna zbijenost tla otklanja se obradom, koja mora osigurati povoljne uvjete za razvitak korijenovog sistema za čiji su razvoj, teorijski gledano, bitna tri faktora: 1. tlak turgora unutar stanica, 2. sila koju pružaju stanične stijenke i 3. sila koju pruža okolni medij. Sva su tri faktora pod utjecajem fizikalnih svojstava tla. Postoje istraživanja koja ukazuju da penetracija korijena kroz tlo male zbijenosti nije poremećena, dok koncentracija kisika ne padne ispod 10%. U zbijenim tlima, međutim, koncentracija kisika nije važna u ograničavanju dubine razvoja korijena (Tackett i Pearson, 1964, cit. prema Tayloru, et al. 1972).

Prema Currieu (1972, cit. prema Danielsonu, 1972) povećanje volumne težine tla je korisno, čini se, što se tiče sorpcije hraniva pod uvjetom da aeracija i fizikalni otpor korijena nisu limitirani. Opće je poznato da fizikalna ili mehanička priroda tla utječe na rast biljaka njezinim utjecajem na vodu, aeraciju, temperaturu i otpor koji se javlja rastu korijena i povećanju njegove mase (Danielson, 1972).

Cooper (1971) navodi da promjene u fizikalnom stanju uključuju promjene u specifičnoj volumnoj težini, koja mijenja odnos čvrste, tekuće i plinovite faze. U prekomjerno zbijenom tlu ne može se vršiti brza izmjena plinova, pa je i sadržaj kisika u njemu suviše nizak, što umanjuje razvoj korijena. Kako iznosi McKibben (1971) stupanj zbijenosti tla u velikoj mjeri upravlja odnosom zraka, vode i temperature, te snažno utječe na klijanje i nicanje usjeva, kao i na sve faze razvoja usjeva i proizvodnju.

Ako proces zbijanja u osnovi predstavlja promjene u volumenu za određenu masu tla, što, drugim riječima, znači promjenu u specifičnoj volumnoj težini odnosno porozitetu, onda se promjena u volumenu mora ogledati u kompresiji krutih čestica, kompresiji tekuće i plinovite faze u porama, kao i u premještanju čestica tla (Harris, 1971).

Raney et al. citirajući rezultate Scarsbrooka et al. (1952) te Veihe Meyera i Hendricksona (1948) podvlače da može doći do restrikcije u razvoju korijena u teškim tlima ako specifična volumna težina poraste iznad 1,4, dok, suprotno tome, u lakšim tlima korijen neće biti ograničen u razvoju pri volumnoj težini manjoj od 1,6. Smatraju, analogno nekim već citiranim autorima, da su kompaktni slojevi ili horizonti nepovoljni za razvoj korijena zbog nedostatka vlage ili kisika, dok mehaničke smetnje onemogućuju penetraciju korijena.

Nećemo pogriješiti ako kažemo da je za potpuno razumijevanje reakcije biljaka u zbijenom tlu potrebno u prvom redu razumjeti njihove fiziološke potrebe i reakciju prema drugim ambijentalnim faktorima. Onim čašom čim zbijanje tla počme alterirati njegovoj sposobnosti da osigura tekuće potrebe korijena i sposobnosti korijena da usvoji ove tekuće potrebe iz tla, ono može znatno ograničiti razvoj biljaka.

U vrlo plodnim tlima, pod uvjetom da su opskrbljena vodom, volumen tla nije od primarne važnosti za maksimalni razvoj (Parish, 1971). I pored činjenice da zbijanje smanjuje razvoj korijena, ono ne ometa ishranu biljke.

Russell i Goss (1976) smatraju da je dovoljna prisutnost pora promjera 60 do 100 mikrona važna zbog procjednosti, aeracije i razvoja korijena, pa, citirajući Schurmanova opažanja, navode da rast volumne težine od 1,2 na 1,5 smanjuje ukupni volumen pora većih od 100 mikrona sa 17,4 na 1,6%.

Da bi se riješili brojni problemi u domeni zbijanja tla i utvrdio utjecaj zbijanja, prije svega na prinos poljoprivrednih kultura, provode se model pokusi. Pomoću njih se, među ostalim, žele utvrditi optimalni parametri fizikalnih svojstava tla. O takvim istraživanjima bilo je više riječi u nekim našim ranijim radovima (Butorac, Tomić, Turšić, 1975; Turšić, 1977). Ovdje samo podsjećamo da u tom pravcu idu istraživanja Rosenberga i Willitsa (1962), Taylora i Burnetta (1964), van Ouwerkerka (1968), Kunzea et al. (1968), Smierzchalskog (1972), Sienkiwieza i Gonetove (1972), Kovačeva et al. (1972), Szirtesove (1972), Siposa i Szirtesove (1972) i dr.

Već spomenuta naša istraživanja, iako su bila više orijentacijskog karaktera, pružila su određeni uvid u ovu problematiku i dala potrebne elemente u kojem bi ih pravcu trebalo dalje usmjeriti.

Rezultati sadašnjih istraživanja, i pored toga što je u njima naglasak stavljen na zbijenost tla odnosno specifičnu volumnu težinu, pokazuju također kako se pri različitoj zbijenosti vlada gnojidba. Na osnovi citiranih radova iz literature može se bez sumnje zaključiti da je stupanj zbijenosti tla značajan faktor koji definira plodnost tla, pa i nezavisno o tome problemu on je vrlo zanimljiv sa stajališta uzgoja biljaka i osiguranja optimalnih edafskih uvjeta za njihov razvoj.

METODIKA ISTRAŽIVANJA

Polazeći od postavljenog cilja u ovim istraživanjima, u stakleniku Zavoda za opću proizvodnju bilja poljoprivrednog fakulteta u Zagrebu izvedena su četiri model pokusa na četiri različita tipa tla i to na:

1. crvenici (lokalitet Poreč)
2. pseudogleju (lokalitet Križevci)
3. smeđem tlu na karbonatnom lesu (lokalitet Brestovac, PIK «Belje»)
4. aluvijalnom tlu (lokalitet Maksimir, Zagreb)

Pokusi su provedeni prema split-plot metoda u četiri ponavljanja. Osnovani su u jesen 1974. godine. Trajali su dvije godine. U svakom pokusu je bilo zastupljeno devet varijanata (2-faktorijelni 3x3). Zbijenost tla odnosno volumena specifična težina tla je ispitivana u tri razine — 1,2 (Stv₁), 1,4 (Stv₂) i 1,6 (Stv₃) kg/dm³, a isto tako i mineralna gnojidba u tri gradacije, s time da je količina dušika po vegetacijskoj posudi iznosila za pšenicu 1,0, 1,5 i 2,0 g, a za soju 0,5, 0,75 i 1,0 g, ovisno o varijanti. Količina fosfora za obje kulture, također po vegetacijskoj posudi, iznosila je 1,5, 2,0 i 2,5 g, a kalija 1,0, 1,5 i 2,0. Gnojidbene varijante bile su slijedeće: N₁P₁K₁, N₂P₂K₂, N₃P₃K₃. U pokusima su, prema tome, istraživana dva faktora: specifična volumna težina tla (zbijenost tla) i mineralna gnojidba odnosno njihove kombinacije.

Prve godine je kao test kultura bila zastupana ozima pšenica, sorta libellula, a druge soja, sorta altona.

Stupnjevanje zbijenosti tla odnosno različita volumna specifična težina postignuta je zbijanjem zrakovitog tla s izuzetkom najmanje volumne specifične težine, gdje to nije bilo potrebno. Gnojiva su unešena u tlo na uzuelan način — u obliku standardnih mineralnih gnojiva: vapnenoamonijskog nitrata, običnog superfosfata i kalijeve soli. Preciznije rečeno: superfosfat i kalijeva sol su izmiješani s cjelokupnom masom tla, dok je dušik u pšenice korišten u tri jednake doze, tj. unešen je u »sjetveni sloj« tla odnosno korišten za dva prihranjivanja (30. siječnja u fazi busanja i 11. travnja u fazi vlatanja). Ko što je već podvučeno količina dušika u soje bila je upola manja nego u pšenice. Primijenjena je u 1/2 u »sjetveni sloj«, a u 1/2 prihranjivanju (22. lipnja).

Osnovni podaci o tlu i meteorološkim uvjetima

a) Tlo

Osvrnemo li se samo ukratko na važnija fizikalna i kemijska svojstva, logično je za očekivati da se tla korištena u pokusima međusobno razlikuju. Detaljnije su ona obrađena u jednom drugom radu (Butorac, Tomić, Turšić, 1975). Sadržaj gline u crvenici iznosi u oraničnom sloju 65,6%, a gline i praha zajedno 79,1%; u pseudogleju se kreće na razini 23% za gli-

nu, a oko 52% za prah i glinu zajedno; u smeđem tlu glina iznosi 26,3%, a prah i glina zajedno 61,4%, te u aluvijalnom tlu glina 23,8%, a prah i glina zajedno 61,6%. Također za površinski sloj tla, volumen pora iznosi u crvenice 56,2, pseudogleja 47,1, smeđeg tla 46,9 i aluvijalnog tla 46,4%. S druge strane, retencioni kapacitet tla za vodu iznosi u crvenice 45,1, pseudogleja 39,8, smeđeg tla 35,8 i aluvijalnog tla 40%, a kapacitet tla za zrak redom za ova tla: 11,1, 7,5, 11,1 i 6,4%. Volumna specifična težina svakako je najzanimljivija i u površinskom sloju crvenice (0 do 20 cm) iznosi 1,13, u sloju od 20 do 40 cm 1,31, a u sloju od 40 do 60 cm 1,45; u površinskom sloju pseudogleja (0 do 20 cm) 1,41 a u sloju od 49 do 69 1,57; u površinskom sloju smeđeg tla (0 do 20 cm), kao i u sloju ispod njega (20 do 40 cm) 1,40, a u dublje tlu (40 do 50 cm) 1,50, te na kraju u površinskom sloju aluvijalnog tla (0 do 21 cm) 1,42, u sloju ispod njega (21 do 38 cm) 1,57, a još dublje u tlu (38 do 65) 1,51.

Što se pak tiče kemijskih svojstava, svi odabrani tipovi tla za ove pokuse prilično su povoljni. Tako pH u crvenice iznosi 6,0, pseudogleja 5,2, smeđeg i aluvijalnog tla 7,0. U pogledu sadržaja humusa među ovim tlima nema većih razlika i on se u površinskom sloju kreće uglavnom na razini od 2%.

Biljci pristupačnim fostorom najslabije je opskrbljena crvenica (4,3 mg), zatim aluvijalno tlo (11,0 mg), dok se smeđe tlo (21,5 mg) i pseudoglej (20,8) nalaze na donjoj granici I klase prema Rhiemu. Sadržaj biljci pristupačnog kalija u crvenice iznosi 14,0, pseudogleja 11,0, smeđeg tla 26,0 i aluvijalnog tla 10,5 mg/100 g tla.

Zasićenost adsorpcijskog kompleksa bazama manje-više povoljna je u svih tala i iznosi u crvenice 78,0, pseudogleja 69,4, smeđeg tla 96,3 i aluvijalnog tla 97,8%.

b) Meteorološki uvjeti

Za ocjenu meteoroloških uvjeta u toku eksperimentalnog rada koriste se podaci Agrometeorološke — aerološko — sinoptičkog opservatorija u Maksimiru, koji se nalazi u neposrednoj blizini staklenika Zavoda za opću proizvodnju bilja Poljoprivrednog fakulteta u kojem su provedeni pokusi. (tab. 1) Prikazani meteorološki podaci imaju relativnu vrijednost za ova istraživanja s obzirom na izmijenjene klimatske uvjete koji vladaju u stakleniku. Oni za zatvoreni dio staklenika ne bi niti bili uporabivi. No, pokusi su izvedeni na otvorenom prostoru staklenika, što opravdava korištenje meteoroloških podataka obližnjeg meteorološkog opservatorija.

Ako je najprije riječ o temperaturama, bez ulaženja u njihovu dublju analizu, onda se vidi da se radi o godinama s natprosječno toplim zimama, što naročito vrijedi za 1975. godinu. To u podjednakoj mjeri potvrđuju vrijednosti srednjih mjesečnih, kao i maksimalnih i minimalnih, također mjesečnih, temperatura zraka. No, dok su u 1975. godini samo veljača i prosinac bili hladni, u 1976. pored njih bili su još i siječanj i ožujak.

Relativna vlaga zraka manje-više kretala se unutar granica koje su svojstvene kontinentalnom dijelu Hrvatske.

Oborine su se 1975. godine kretale znatno ispod višegodišnjeg prosjeka, a u 1976. su mu se približile. No važnije je naglasiti da im je distribucija bila vrlo nepravilna. Prije svega zimske oborine bile su u obje godine znatno ispod višegodišnjih prosječnih, dok su ljetne bile vrlo obilne, kao i jesenske u 1976. godini. Obje kulture bile su u potpunosti izložene djelovanju ovih oborina u otvorenom prostoru staklenika, da bi se tako što više približile vladajućim meteorološkim uvjetima.

Tabela 1 — Meteorološki podaci
Table 1 — Meteorological data

Mjesec Month	Temperature z r a k a, °C Air temperature						Relativna vlažnost zraka, Relative humidity of air %		Oborine Precipitation, mm	
	srednja average	maksimalna maximum	minimalna minimum							
I	4,4	1,4	9,0	6,0	0,1	—3,2	80	75	18,4	26,3
II	2,0	0,8	6,9	3,9	—2,1	—1,9	72	79	10,2	24,6
III	7,2	2,0	12,7	7,9	2,2	—3,2	75	72	54,4	42,1
IV	10,6	10,7	16,0	16,8	4,9	5,5	66	65	35,3	91,4
V	16,8	15,1	22,2	21,3	11,0	8,3	70	69	68,2	52,4
VI	17,5	17,8	22,8	24,3	12,8	11,9	74	70	93,0	87,0
VII	20,1	20,7	25,9	26,8	14,4	14,8	74	68	111,2	104,1
VIII	19,1	16,4	25,0	22,5	14,3	11,2	79	79	95,9	53,0
IX	18,0	14,6	24,3	20,4	12,6	9,6	82	80	29,5	80,0
X	9,7	10,3	14,4	15,1	5,7	7,0	85	89	109,2	92,3
XI	4,3	7,2	7,3	11,1	1,7	3,9	84	86	49,6	78,2
XII	1,0	0,8	4,0	3,5	—1,7	—2,0	86	88	50,3	98,7

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

a) Ozima pšenica

Osvrnemo li se ukratko, prije iznošenja samih rezultata, na neka opažanja u vezi s rastom i razvitkom pšenice, onda treba istaći da je sjetva izvršena 22. listopada 1974. godine. Nicanje je uslijedilo 9. studenog, ali s različitim intenzitetom prema tipovima tla-najslabije na pseudogleju. Treći list se formirao tek sredinom siječnja. S izuzetkom pseudogleja, pšenica je ravnomjerno razvijena na svim tipovima tala. Krajem siječnja pšenica je u fazi četvrtog, a krajem veljače u fazi petog lista. U fazu vlatanja pšenica je ušla već krajem ožujka odnosno u puno vlatanje sredinom travnja. Početkom treće dekade travnja već je počela klasati, da bi se početkom druge dekade svibnja našla već u fazi cvatnje, a krajem svibnja u mliječnoj zriobi. Tada je došlo do nešto jačeg napada lisnih ušiju, pa je izvršeno njihovo suzbijanje 0,1%-tnom otopinom metasistoksa. Ubrzani razvoj

pšenice uvjetovan je specifičnim mikroklimatskim uvjetima uzgoja u stakleniku.

Voštana i puna zrioba uslijedile su brzo nakon mliječne, pa je početkom srpnja izvršena »žetva«.

Razmotrit ćemo dalje djelovanje pokusnih faktora, tj. zbijenosti tla i gnojidbe, kao i njihovih kombinacija na prinos pšenice.

Zbijenost tla odnosno volumna specifična težina u pogledu prinosa pšenice došla je signifikantno do izražaja na pseudogleju i smeđem tlu na karbonatnom lesu (tab. 2). Suprotno ovim tlama, signifikantno djelovanje zbijenosti izostalo je na crvenici i aluviju. Na crvenici je prisutna tendencija smanjenja prinosa s povećanjem zbijenosti, dok na aluviju nema čak ni takve tendencije. Prema našoj pretpostavci aluvijalno tlo je povoljno do te mjere, tako da čak ni jače zbijanje (Stv 1,6) nije moglo dovesti do pada prinosa. Pad prinosa pri najvećoj volumnoj specifičnoj težini na pseudogleju i smeđem tlu je statistički opravdan i prema srednjoj i najmanjoj volumnoj težini. I smeđe tlo na karbonatnom lesu spada, dakako, u naša najbolja tla, ali se vlada drugačije u pogledu utjecaja zbijenosti na prinos pšenice nego aluvijalno tlo. U nekim ranijim istraživanjima (Butorac, Tomić, Turšić, 1975) u kojima je zbijenost tla kombinirana s intervalom vlažnosti njeno je djelovanje u crvenici i aluvijalnog tla bilo nešto drugačije: u crvenici je s povećanjem zbijenosti prinos rastao, a u aluvija pri najvećoj zbijenosti bio najniži, ali bez statističke opravdanosti. Pseudoglej se manje—više i ranije i sada vlada na isti način. Jača zbijenost, naime, dovodi sigurno do nepovoljnijih uvjeta za razvoj usjeva, pa shodno tome i opadanja prinosa.

Tabela 2 — Prinos zrna ozime pšenice u ovisnosti o specifičnoj volumnoj težini tla, g/veg. posudi

Table — Grain yield of winter wheat in dependence on apparent specific gravity of soil, g per pot

Specifična volumna težina tla Apparent specific gravity of soil, kg/dm ³	Tip tla — Soil type			
	Crvenica (Terra rossa) Red soil	Pseudoglej Pseudo-gley	Smeđe tlo na karbonatnom lesu Brown soil on carbonate loes	Aluvijalno Alluvium
1,2	18,61	18,10	18,95	17,60
1,4	18,44	18,08	19,25	18,30
1,6	17,10	15,83	16,66	17,69
LSD	5%	1,70	1,68	
	1%	1,70	1,86	

Sto se pak tiče gnojidbe, njeno je djelovanje potpuno logično u smislu primijenjenih doza. Naime, na svim je tlima gnojidba pokazala signifikantno djelovanje na visinu prinosa pšenice (tab. 3). Bez izuzetka s rastom primijenjene doze prinos raste. Čak štoviše, unutar gradacija gnojidbe, tj. od niske preko srednje do visoke razlike su signifikantne, uratoč manje više povoljnih kemijskih svojstava svih tipova tala, u prvom redu, s izuzetkom crvenice, relativno povoljne opskrbljenosti fosforom. Želimo naglasiti da je pri postojećoj aktualnoj plodnosti gnojidba došla do punog izražaja.

Tabela 3 — Prinos zrna ozime pšenice u ovisnosti o gnojidbi, g/veg. posudi
Table 3 — Grain yield of winter wheat in dependence on fertilizing, g per pot

Gnojidba, g/veg. posudi	Tip tla — Soil type			
	Crvenica	Pseudoglej	Smeđe tlo na karbona- tnom lesu	Aluvijalno tlo
Fertilizing, g per pot	(Terra rossa) Red soil	Pseudo- gley	Brown soil on carbo- nate loess	Alluvium
N _{1,0} P _{1,5} K _{1,0}	15,62	14,87	16,07	15,44
N _{1,5} P _{2,0} K _{1,5}	18,89	16,50	18,18	17,95
N _{2,0} P _{2,5} K _{2,0}	19,64	20,65	20,68	20,27
5%	1,32	1,63	1,67	1,48
LSD				
1%	1,85	2,23	2,28	2,03

Najzanimljivije je svakako vidjeti kako su se u pogledu prinosa ozime pšenice vladale kombinacije volumne specifične težine tla i gnojidbe. Nema sumnje da je u tom pogledu prevalentan utjecaj fertilizacije (tab. 4). To je u potpunoj sukladnosti s onim što je već navedeno za djelovanje same zbijenosti i same fertilizacije. U tom pogledu gotovo bez izuzetka svi tipovi tala vladaju se analogno. Očigledno je da suvišna zbijenost tla ne može biti zamijenjena pojačanom gnojidbom odnosno da kompenzacija takve vrsti i ne postoji. Učini li se detaljnija analiza prema tipovima tala, onda treba podvući da je na crvenici apsolutno najviši prinos dala kombinacija srednje volumne težine i najviše gnojidbe. U isto vrijeme kombinacije sve tri specifične volumne težine i najniže gnojidbe dale su najslabije prinose iz čega se može zaključiti da i pri manjoj zbijenosti tla nije moguće postići više prinose ako izostane adekvatna gnojidba.

Na pseudogleju je najviši prinos dala kombinacija najniže volumne težine i najviše gnojidbe, a približava joj se ista varijanta gnojidbe sa srednjom volumnom težinom. I ovdje su kombinacije najniže gnojidbe u kombinaciji sa sve tri volumne težine najslabije. To u potpunosti vrijedi

Tabela 4 — Prinos zrna ozime pšenice prema kombinacijama specifične volumne težine tla i gnojidbe, g/veg. posudi

Table 4 — Grain yield of winter wheat according to combinations of apparent specific gravity of soil and fertilizing, g. per pot

Specifična volumna težina tla Apparent specific gravity of soil, g/cm ³	Gnojidba, g/veg. posudi Fertilizing, g per pot	Tip tla — Soil type			
		Crvenica (Terra rossa) Red soil	Pseudoglej Pseudogley	Smeđe tlo na-karbo- natnom lesu Brown soil on carbonate loess	Aluvijalno tlo Alluvium
1,2	N _{1,0} P _{1,5} K _{1,0}	16,07	14,47	15,55	15,42
	N _{1,5} P _{2,0} K _{1,5}	20,07	16,85	18,87	17,00
	N _{2,0} P _{2,5} K _{2,0}	19,70	23,00	22,42	20,62
1,4	N _{1,0} P _{1,5} K _{1,0}	15,55	15,87	17,17	15,52
	N _{1,5} P _{2,0} K _{1,5}	19,27	17,05	19,12	18,88
	N _{2,0} P _{2,5} K _{1,0}	20,50	21,32	21,50	20,50
1,6	N _{1,0} P _{1,5} K _{1,0}	15,25	14,25	15,50	15,37
	N _{1,5} P _{2,0} K _{1,5}	17,32	15,60	16,55	18,00
	N _{2,0} P _{2,5} K _{2,0}	18,72	17,65	18,12	19,70
LSD	5%	2,87	2,78	1,63	2,81
	1%	4,00	3,91	2,29	3,91

za smeđe i aluvijalno tlo. Na ovim su tlima najbolje kombinacije najniže volumne težine i najviše gnojidbe, ali im se približava srednja volumna težina, također s najjačom gnojidbom.

I da zaključimo: kombinacije specifične volumne težine tla, što u isto vrijeme znači i različite zbijenosti tla i mineralne gnojidbe pokazuju signifikantno djelovanje na visinu prinosa pšenice na svim istraživanim tipovima tala. Prednost je na strani manje zbijenosti i jače gnojidbe bez obzira o kojem se testiranom tlu radi.

b) Soja

Ova kultura je došla u pokusima nakon ozime pšenice. Njena sjetva izvršena je 20. travnja na crvenici i pseudogleju, a 21. travnja na smeđem i aluvijalnom tlu. Kotiledoni su se pojavili 4. svibnja. Početni razvitak soje bio je vrlo nejednolik. Sredinom svibnja razvila je većim dijelom prvi par pravih listova, ponegdje i drugi, dok se istovremeno nalazi i u fazi kotiledona, ali vrlo varijabilno prema pokusima i varijantama. U fazi butonizacije

soja se nalazila početkom treće dekade lipnja. U to vrijeme djelomično su se počeli otvarati cvjetovi. Biljke su se razlikovale i svojom bojom. One s niskom dozom dušika bile su svijetlozelene, a s visokom tamnozeleno boje.

Početkom svibnja soja je ušla u punu cvatnju. Među varijantama postoje dosta izražene razlike u visini rasta, naročito unutar različite zbijenosti tla. Visinom rasta najviše odskaku biljke pri najnižoj zbijenosti tla. U njih su u to vrijeme već potpuno formirane mahune pri bazi stabljike.

Krajem pak prve dekade srpnja soja je u gornjim dijelovima stabljike još uvijek u cvatnji. Cvjetovi su bijeli i manje uočljivi, što je inače povezano s karakteristikom soje da je samooplodna. Razlike među varijantama pokusa i dalje su očljive, ali su biljke nakon prihranjivanja dušikom jednoličnije zelene boje.

Početkom druge dekade kolovoza listovi soje su intenzivno žuti i opadaju, naročito pri jačoj zbijenosti tla odnosno pri nižim gradacijama dušične gnojidbe. Sjemenke u mahunama potpuno su formirane i zriju, a budući se radi o ranoj sorti (altona) to je sasvim logično. Početkom rujna soja je uglavnom potpuno sazrela, pa je tada obavljena njena berba. No, značajno je naglasiti da je u varijantama gnojenih većom dozom dušika još uvijek bilo zelenih mahuna, pa je njihova berba izvršena naknadno.

Analogno pšenici razmotrit će se dalje djelovanje zbijenosti i gnojidbe odnosno njihovih kombinacija na prinos soje.

Tabela 5 — Prinos soje u ovisnosti o specifičnoj volumnoj težini tla, glveg. posudi

Table 5 — Soybean yield in dependence on apparent specific gravity of soil, g per pot.

Specifična volumna težina tla	Crvenica	Tip tla — Soil type		
		Pseudo- glej	Smeđe tlo na karbonatnom lesu	Aluvijalno tlo
Apparent specific gravity of soil, g/cm ³	(Terra rossa) Red soil	Pseudo- glej	Brown soil on carbonate loess	Alluvium
1,2	12,29	15,11	11,00	10,33
1,4	12,65	12,96	12,13	12,55
1,6	12,54	6,51	8,88	10,72
LSD				
5%		1,34	1,46	
1%		2,03	2,2	

Zbijenost tla gotovo se identično odrazila na prinos soje kao i u pšenice (tab. 5). Naime, signifikantna je na pseudogleju i smeđem tlu na karbonatnom lesu. Na pseudogleju prinos pada s rastom zbijenosti tla i to vrlo osjetno pri najjačoj zbijenosti. Signifikantne razlike postoje među svim varijantama. Na smeđem tlu pad je prinosa također vrlo izrazit pri najjačoj zbijenosti, dok između najslabije i srednje zbijenosti nema signifikantne razlike. Na crvenici je prinos potpuno izjednačen dok na aluvijalnom tlu prema visini prinosa izvjesnu prednost ima srednji stupanj zbijenosti tla. Ovakvo djelovanje zbijenosti na prinos soje u uskoj je vezi s fizikalnim svojstvima ovih tala. Ona, prije svega, proizlaze iz njihove teksture i strukture. Evidentan primjer u tom pogledu svakako je pseudoglej. U krajnjoj liniji djelovanje zbijenosti u ostalih tipova tala izraz je njihovih specifičnih svojstava u širem smislu riječi.

Gnojidba se također vlada u pogledu visine prinosa soje gotovo potpuno analogno ozimoj pšenici, (tab. 6). S povećanjem gnojdbene doze dolazi, naime, do povećanja prinosa. No, u slučaju soje gnojidba na pseudogleju ne pokazuje signifikantno djelovanje, odnosno na svim je ostalim tipovima tla signifikantna.

Tabela 6 — Prinos soje u ovisnosti o gnojidbi, g/veg. posudi
Table 6 — Soybean yield in dependence on fertilizing, g per pot

Gnojidba, g/veg. posudi	Tip tla — Soil type			
	Crvenica (Terra rossa) Red soil	Pseudo- glej Pseudo- gley	Smeđe tlo na karbona- tnom lesu Brown soil on carbonate loess	Aluvijalno tlo Alluvium
$N_{0,5}P_{1,5}K_{1,0}$	9,04	10,54	8,88	9,58
$N_{0,75}P_{2,0}K_{1,5}$	12,91	11,35	10,68	11,18
$N_{1,0}P_{2,5}K_{2,0}$	15,53	12,70	12,45	12,84
5%	1,69		1,27	2,25
LSD				
1%	2,31		1,74	3,08

Ovakvo vladanje gnojdbi na pseudogleju moglo bi se objasniti dominantnim djelovanjem zbijenosti tla na prinos soje. U svakom slučaju uvjeti za primanje hraniva bili su manje povoljni nego u ostalim tlima.

Ako je na kraju riječ o kombinacijama zbijenosti odnosno specifične volumne težine tla i gnojdbi, onda treba respektirati kako to proizlazi iz podataka u tabeli 7, u nekim slučajevima zbijenost, a u drugim gnojdbu. No, i u slučaju soje, analogno pšenici, gnojidba je i u kombinacija došla

jače do izražaja od zbijenosti tla. U tome postoje razlike prema tipovima tala. Najslabije su kombinacije s najnižom gnojidbom. U tom pogledu prednjače pseudoglej na kojem je djelovanje gnojidbe unutar srednje i najviše zbijenosti potpuno izostalo.

Tabela 7 — Prinos soje prema kombinacijama specifične volumne težine i gnojidbe tla, g/veg. posudi

Table 7 — Soybean yield according to combinations of apparent specific gravity of soil and fertilizing, g per pot

Specifična volumna težina tla	Gnojidba, g/veg. posudi	Tip tla — Soil type			
		Crvenica	Pseudo-glej	Smeđe tlo na karbonatnom lesu	Aluvijalno tlo
Apparent specific gravity of soil, g/cm ³	Fertilizing, g per pot	(Terra rossa) Red soil	Pseudogley	Brown soil on carbonate loess	Alluvium
1,2	N _{0,5} P _{1,5} K _{1,0}	9,05	13,35	8,45	8,45
	N _{0,75} P _{2,0} K _{1,5}	11,90	14,85	12,07	9,42
	N _{1,0} P _{2,5} K _{2,0}	15,92	17,15	12,50	13,12
1,4	N _{0,5} P _{1,5} K _{1,0}	8,77	12,12	9,57	9,62
	N _{0,75} P _{2,0} K _{1,5}	12,82	12,80	10,75	12,82
	N _{1,0} P _{2,5} K _{2,0}	16,37	13,97	16,07	15,20
1,6	N _{0,5} P _{1,5} K _{1,0}	9,30	6,15	8,62	10,67
	N _{0,75} P _{2,0} K _{1,5}	14,02	6,40	9,22	11,30
	N _{1,0} P _{2,5} K _{2,0}	14,30	7,00	8,80	10,20
5%		2,66	2,99	2,58	4,81
LSD					
1%		3,75	4,20	3,62	6,77

Zaključak se nameće sam od sebe. Naime, pri nepovoljnim fizikalnim svojstvima nisu postojali uvjeti za normalno usvajanje hraniva od strane soje. Pri najnižoj zbijenosti gnojidba je došla do izražaja, pa se čak između najniže i najviše doze javljaju signifikantne razlike.

Srednja je gnojidba u najniže i srednje volumne težine slabija od najviše, u nekih tipova signifikantno slabija, dok se u najviše volumne težine tla praktički ne može govoriti o razlikama između srednje i najviše gnojidbe. Na smeđem i aluvijalnom tlu izražena je čak obrnuta tendencija. Drugim riječima, soja je vrlo nepovoljno reagirala na povećanu zbijenost tla. Može se, prema tome, povući zaključak da soja preferira manju zbijenost tla i da u potpunosti može zadovoljiti specifična volumna težina u rasponu 1,2 do 1,4. Uz druge povoljne uvjete, prije svega režim vlaženja, može se očekivati da će i gnojidba pokazati svoje puno djelovanje.

Z A K L J U Č C I

Postignuti rezultati u pokusima omogućuju donošenje ovih zaključaka:

1. Na pseudogleju i smeđem tlu na karbonatnom lesu povećana zbijenost tla (iznad 1,6) dovodi do signifikantnog smanjenja prinosa kako ozime pšenice, tako i soje, s time da je soja znatno drastičnije reagirala na povećanje zbijenosti od ozime pšenice. S druge strane, na crvenici i aluvijalnom tlu niti jedna od kultura nije signifikantno reagirala visinom prinosa na promjene zbijenosti tla. Polučeni rezultati na pseudogleju i smeđem tlu, s jedne strane, te crvenici i aluvijalnom tlu, s druge, mogu se dovesti u vezu s tipom tla, a unutar njega u prvom redu s fizikalnim svojstvima, napose strukturom tla.

2. S izuzetkom pseudogleja u slučaju soje, gnojidba je na svim ostalim tipovima tala pokazala signifikantno djelovanje na obje kulture. S rastom primijenjene doze prinos raste. Nepovoljnije djelovanje gnojidbe na pseudogleju u uzgoju soje, premda je izražena tendencija povećanja prinosa s povećanjem doze, može se objasniti prije svega njegovim nepovoljnim fizikalnim svojstvima na razvitak korijenovog sistema soje.

3. Pri ocjeni zajedničkog djelovanja zbijenosti i gnojidbe na prinos ozime pšenice i soje vidi se da je prevalentan utjecaj gnojidbe. To u ostalom proizlazi iz njihovog pojedinačnog djelovanja. Dobiveni rezultati također pokazuju da suvišna zbijenost tla ne može biti kompenzirana intenzivnijom gnojidbom. Međutim, u kombinacija manje zbijenosti i jače gnojidbe dolazi do izražaja njihovo interakcijsko djelovanje na prinos ozime pšenice i soje.

4. Zbijenost tla jedan je akutnih problema suvremene poljoprivrede, pa postoji sve veća potreba da se utvrdi optimalno stanje zbijenosti za pojedine usjeve. Takvu mogućnost pružaju model pokusi, kako oni u kontroliranim uvjetima, tako i u polju, u kojima je moguće mjerno regulirati različite stupnjeve zbijenosti, te bi stoga trebalo prići njihovom širem izvođenju kao što se to čini u nekim drugim zemljama.

INTERACTION OF SOIL COMPACTION AND FERTILIZING IN GROWING WINTER WHEAT AND SOYBEAN

Anđelko Butorac and Ivan Turšić

SUMMARY

The paper presents the results of two-year model experiments on four soil types (red soil, pseudogley, brown soil on calcareous and alluvial soil), the aim of which was to study the effects of soil compaction and fertilizing on the yield of winter wheat and soybean. The results obtained for winter wheat are shown in Tables 2, 3 and 4, and those for soybean in Tables 5, 6 and 7.

The results show that the increased compaction (above 1.6) of pseudogley and brown soil on calcareous loess leads to a significant yield decrease

in both winter wheat and soybean, the latter responding more drastically to the compaction increase. On the other hand, neither crop, when grown on red and alluvial soils, responded with any significant changes of the yield to changed soil compaction.

With the exception of pseudogley in case of soybean, fertilizing had a significant effect on both crops on all the other soil types. Increased fertilizer doses resulted in higher yields. The less favourable effect of fertilizing on soybean grown on pseudogley, although there was a tendency to increased yields at higher fertilizer doses, can be explained by unfavourable physical properties of pseudogley for the development of the soybean root system.

When evaluating the interaction of compaction and fertilizing on the yield of winter wheat and soybean, the prevailing effect of fertilizing becomes evident. This also applies to their individual effects. The results also indicate that excessive compaction cannot be compensated by intensified fertilizing. However, the combination of less compaction and higher fertilizer doses brings out their full interaction on the yields of winter wheat and soybean.

Soil compaction is one of the acute problems of modern agriculture, so that there is an increasing need to determine optimal compaction for particular crops. This may be achieved by model experiments, both under controlled conditions and in the field, which enable measurable regulation of different degrees of compaction.

LITERATURA — REFERENCES

- Butorac A., Tomić F., Turšić I. (1975):** Specifična volumna težina i interval vlažnosti tla kao faktori u uzgoju ozime pšenice. *Agromski glasnik*, br. 7—8, Zagreb.
- Chapman, R. S., Carter, P. L. (1976):** *Crop Production. Principles and Practices.* San Francisco.
- Cooper, W. A. (1971):** Effects of Tillage on Soil Compaction. Iz monografije: *Compaction of Agricultural Soil.* St. Joseph, Michigan.
- Danielson, E. R. (1972):** Nutrient Supply and Uptake in Relation to Soil Physical Conditions, Iz monografije: *Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields.* New York and London.
- Harris, W. L. (1971):** The soil compaction process. Iz monografije: *Compaction of Agricultural Soils.* St. Joseph, Michigan.
- Kohnke, H. (1968):** *Soil Physics.* New York — St. Louis — San Francisco.
- Kovačev, D., Stojnev, K., Todorov, F. (1972):** Izučenie plotnosti počvi v svjazi s voprosami obrabotki počvi v Bolgariji. Meždunarodnij naučnij simpozium »Sovremennije napravlenija o obrabotke počvi« Warszawa.

- Kunze, A., Kaiser, M., Ermich, D., Buhtz, E. i Heinze, G. (1968):** Zur Ermittlung der optimalen Lagerungsdichte des Bodens. Problemi obrabotki počvi. Dokladi međunarodnog soveščanija. Varna.
- Mc Kibben, G. E. (1971):** Introduction. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, Michigan.
- Parish, D. H. (1971):** Effects of Compaction on Nutrient Supply to Plants. Iz monografije: Comparison of Agricultural Soils. St. Joseph, Michigan.
- Raney, W. A., Adminster, T. W. i Allaway, W. H. (1955):** Current status research in soil compaction. Soil Sci. Sc. Am. Proc.
- Revut, B. J. (1972):** Fizika počv. Lenjingrad.
- Rosenberg, N. S. i Willits, N. A. (1962):** Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison.
- Russell, S., Goss, M. J. (1976):** Compaction and root growth in relation The 7th Conf. of the Intern. Soil Tillage Research Org. Uppsala, Sweden.
- Sienkiewicz, J. Gonet Irena (1972):** Wply ciezaru objetosciovego glebi na plonovanie zboz jarych. Meždunarodnij naučnij simpozium »Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi«. Werszawa.
- Sipos, S. (1968):** Vlijanie poroznosti počvi na urožajnost seljskohozjajstvenih kuljtur i na effektivnost odobrenij. Problemi obrabotki počvi. Dokladi međunarodnogo soveščanija. Varna.
- Sipos, S. i Szirtes, V. (1972):** Zusammenhänge zwischen Bodenporenvolumen, Ertrag, Mineraldüngerwirkung und Wassernutzung bei Mais und Winterweizen. Meždunarodnij naučnij simpozium »Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi«. Warszawa.
- Smierzchalski, L. (1972):** Wplyw zageszenia gleby na plonowanje niektorvch roslin zbozowych i okopowych. Meždunarodnij naučnij simpozium »Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi«. Warszawa.
- Szirtes, V. (1972):** Bewertung der Bestrebungen zur Krumenvertiefung auf Tschernosjomböden. Meždunarodnij naučnij simpozium »Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi«. Warszawa.
- Taylor, M. H. i Burnett, E. (1964):** Influence of soil strenght on the root growth habits of plants. Soil Sci. Vol. 98, Numb. 3.
- Taylor, M. H., Huck, G. M. and Klepper, B. (1972):** Root Development in Relation to Soil Physical Conditions. Iz monografije: Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields. New York and London.
- Turšić, I. (1977):** Utjecaj zbijenosti tla i gnojidbe na prinos zrna jarog ječma. Magistarska radnja, Zagreb
- Van Ouwkerk, C. (1968):** Two model experiments on the durability of subsoil compaction. Reprint Neth. J. Agric. Sci. Vol. 16.