

## ANTROPOGENA ZBIJANJA TLA I MOGUĆI NAČINI NJIHOVOG UKLANJANJA ILI UBLAŽAVANJA

### THE ARTIFICIAL SOIL COMPACTION AND THE POSSIBILITIES OF ITS ALLEVIATION OR REMOVAL

A. Butorac, F. Bašić

#### UVOD

Zbijanje, kako poljoprivrednih, tako i šumskih površina pojava je koja uzima sve više maha u umjerenim, humidnim i aridnim područjima sjeverne hemisfere, u rižištima suptropskih i tropskih područja, u područjima intenzivnog uzgoja povrtnih kultura, u šumskim područjima u kojima se vrši intenzivna eksploatacija šuma, u rekreacijskim i sportskim objektima, u urbanim prostorima (građevinski objekti i ceste) - dakle, svagdje gdje se javlja intenzivno korištenje tla. Još 1971. godine smanjenje prinosa usjeva pod utjecajem zbijanja iznosilo je 1% u sjevernim do 10% u južnim područjima SAD, odnosno u vrijednosti od jedne milijarde dolara. Procjene za 1980. iznose tri milijarde dolara. Ovakve procjene za našu zemlju ne postoje. Uz ove direktne gubitke zbog smanjenog prinosa, postoje, dakako i drugi značajni gubici kao što je smanjenje plodnosti tla zbog povećane erozije, veći utrošak fosilnih goriva za obradu zbijenih tala, te brže trošenje oruđa za obradu tla i guma za traktore.

Sve intenzivnije zbijanje (kompakcija) tla postaje svjetski problem, zbog primjene sve većih i težih traktora i priključnih oruđa, zbog sve intenzivnije obrade tla i zbog osvajanja novih površina. Rezultat su niski ili sve niži prinosi kao posljedica povećanja volumne težine tla, što se ogleda i smanjenjem infiltracije i transmisije vode u tlo i kroz tlo, smanjenom efikasnošću cijevne drenaže i dubinom zakorjenjavanja usjeva, pojačanim širenjem biljnih bolesti i smanjenom efikasnošću korijenja. Stoga jednim dijelom i pokreti u mnogim zemljama u pravcu reducirane obrade tla (minimum tillage, no-till), ekoloških ugara itd. Dok smanjeni broj zahvata obrade vodi u pravcu manjeg zbijanja, dotle primjena sve težih agregata praktički ruši sve prednosti u nastojanju manjeg zbijanja tla.

Obrada tla provodi se često kada je tlo suviše vlažno, odnosno mokro, pri čemu se ono jako zbija. Još ne postoje dovoljno egzaktna znanstvena metode da se ocijeni kada je tlo suviše vlažno za obradu. U praksi ova ocjena najčešće se donosi na osnovi iskustva. S pojavom teških poljoprivrednih strojeva postoji opasnost prekomjernog zbijanja tla. Teški poljoprivredni strojevi sa širokim gumama neće eventualno povećati pritisak po jedinici površine tla, ali će izazvati veći pritisak dublje u tlu, a tako i moguće povećanje zbijenosti tla. Prekomjerno zbijanje zdravice ne samo da stvara dodatne troškove već ga je teško i ukloniti.

Tla se, dakako, međusobno razlikuju po svojoj osjetljivosti na zbijanje. Ova osjetljivost se mijenja s promjenama sadržaja vode. Stoga bi se i poljoprivredni strojevi, veličina guma i tlak u njima morali međusobno razlikovati za različita tla, kako se ne bi izazvalo prekomjerno zbijanje.

Govoreći slikovito, zapravo se može reći da je opterećeni kotač najčešće upotrebljavano „oruđe za obradu“, koji u prosjeku „tretira“ svaku točku na obradivoj površini nekoliko puta godišnje (Håkansson et al., 1988.). U mnogim sistemima obrade tla oranični sloj tla prolazi kroz godišnje cikluse rahljenja oranjem, a zbijanja gaženjem tokom ostalih zahvata. Premda se ponekad javlja potreba umjerene rekompakcije tla nakon oranja, zbijanje često ima jake negativne utjecaje zbog kvarenja strukture tla i drugih nepovoljnih procesa u tlu. Kompakcija utječe na gotovo sva svojstva i funkcije u tlu, kako fizikalne tako i kemijske i biološke. Rahljenje tla obično samo djelomično ublažava njene negativne efekte. Zbijanje može biti vrlo perzistentno, a u zdravici gotovo i trajno. S obzirom na zbijanje tla uzima sve više maha i budući da je gaženje tla poljoprivrednim strojevima i oruđima njegov glavni uzrok, potrebno bi bilo konstruirati takve strojeve i razraditi takve metode za obradu i druge zahvate u polju da se ovi negativni efekti što više smanje, a iskoriste mogući pozitivni utjecaji. Stoga bi bilo nužno identificirati posljedice zbijanja u različitim ekološkim uvjetima, kao i ulogu strojeva i agrotehničkih zahvata na opseg i stupanj zbijanja, uključujući i mogućnosti da se tlo učini što manje osjetljivim na zbijanje. Ovo bi trebalo potaknuti razvoj industrije poljoprivrednih strojeva, kao i sistema obrade tla i sistema biljne proizvodnje u ekonomski i optimalne sisteme prilagođene lokalnim uvjetima.

Zbijenost tla je, dakle, jedan od središnjih problema pri suvremenom intenzivnom iskorištavanju tla, s jedne strane, zbog sve veće primjene teških strojeva pri osnovnoj (primarnoj) obradi tla, a, s druge, zbog sve intenzivnije dopunske (sekundarne) obrade tla i transporta. Ovo zbijanje tla limitira prinos oraničnih kultura, u nekim slučajevima čak i više nego nedostatak hranivih tvari.

Zaključimo ova uvodna razmatranja konstatacijom da uz antropogene faktore do zbijanja tla dovode i neki prirodni procesi.

## NEKI TEORETSKI I PRAKTIČNI ASPEKTI ZBIJANJA TLA

S agronomskog stajališta smatra se da je tlo, odnosno da su različiti slojevi tla zbijeni kada je ukupni porozitet, osobito pore u kojima se nalazi zrak, tako mali da onemogućuju aeraciju, odnosno sprečavaju penetraciju korijena i dreniranost (Hillel, 1980). Daljnja negativna manifestacija zbijanja tla su poteškoće koje se javljaju pri obradi tla. Do zbijanja različitih slojeva tla može doći kao rezultat njihovog sastava, režima vlaženja, ili uvjeta u kojima se neko tlo formiralo, odnosno pod utjecajem unutarnjih sila (npr., smrzavanje, sušenje i bušenje) i vanjskih (vozila i oruđe za obradu, oborine i dr.). Zbijanje tla je vrlo kompleksno i u vrlo je bliskoj vezi s opće poznatim fizičkim kemijskim i biološkim svojstvima tla kao i ambijentalnim faktorima, kao što su klima, obrada i drugi zahvati, uključujući i usjev (McKibben, 1971). Stupanj zbijenosti tla u velikoj mjeri upravlja odnosom zrak-voda-temperatura, te snažno utječe na sve faze rasta i razvoja usjeva. Proces zbijanja u osnovi je jednostavan-promjena u volumenu za određenu masu tla. Promjene u kompakciji tla potječu od sila prouzročenih mehanizacijom ili prirodnim procesima kao što su sušenje ili vlaženje (Harris, 1978). Promjene u volumenu tla mogu se ogledati u kompresiji krutih čestica, tekuće i plinovite faze u porama, kao i premještanju čestica tla.

Prema Koolenu (1987) voda je vjerojatno najvažniji faktor zbijanja tla. Ona ima veliki utjecaj na sile koje se opiru zbijanju. Veći sadržaj vode bolje podmazuje čestice, a visoki sadržaj vode može ograničiti mogućnosti zbijanja, jer se voda ne može istisnuti pri kratkotrajnom opterećenju. Ako je tlo zbijeno u suhom stanju, još uvijek su zadržane zone koje imaju početnu strukturu. Međutim, pri kompresiji kod visokog sadržaja vode fine

čestice tla se nalaze kao amorfna masa između krupnijih čestica. Ovi različiti slučajevi mogu se označiti kao suho zbijanje i mokro zbijanje. Mokro zbijanje smanjuje mnoge pozitivne karakteristike tla.

Volumen tla u kojem se razvija korijenov sistem oraničnih usjeva je rezervoar koji osigurava sve biogene elemente potrebne za rast, s izuzetkom onih koji sudjeluju u fotosintezi (Danielson, 1972). Opće je poznato da fizička ili mehanička priroda tla utječe na rast biljaka kroz njen utjecaj na vodu, aeraciju, temperaturu i otpor koji se javlja rastu korijena i povećanju njegove mase. Korijenje ne može penetrirati nepropusni sloj, ako raste iz rahlog prema zbijenom sloju. Prema nekim istraživanjima (Scarsbrook et al., 1952 i Veihmeyer i Hendrickson, 1948 cit. prema Raneyu et al., 1955) do restrikcije u razvoju korijena u teškim tlima može doći ako specifična volumna težina poraste iznad 1,4. Suprotno tome, u lakšim tlima korijen neće biti jače ograničen u razvoju pri volumnoj težini manjoj od 1,6. Kompaktni slojevi ili horizonti nepovoljni su za razvoj korijena zbog nedostatka vlage ili kisika, dok mehaničke smetnje onemogućuju penetraciju korijena. U slučaju genetski uvjetovanog nepropusnog horizonta s niskim sadržajem hraniva, kao i u horizontu neposredno iznad njega, može doći do ograničene distribucije korijena u tom horizontu. Zbijanje tla uvijek je indirektni uzrok smanjene aktivnosti biljaka (Trouse, 1971.) Zbijeno tlo je najčešće slabo propusno sa smanjenom sposobnosti upijanja vode u vrijeme kiše, što može dovesti do neadekvatnih rezerva vode u tlu.

Da bi se u potpunosti razumjela reakcija biljaka u zbijenom tlu, treba najprije razumjeti potrebe biljke i njenu reakciju prema drugim ambijentalnim čimbenicima. Čim zbijanje tla počne mijenjati sposobnosti tla da zadovolji (tekuće) potrebe korijena te sposobnosti korijena da ih izvuče iz tla, zbijanje tla može znatno ograničiti razvoj biljke. Fizičko stanje tla utječe na ishranu biljaka, na ekstenziju korijena, aeraciju i režim vlažnosti. Budući da se mineralni dio tla ne može zbijati, zbijanje se odnosi samo na onaj dio tla koji je ispunjen zrakom i vodom. Kako proces zbijanja tla vodi najprije do uništenja velikih šupljika, tj. onih pora koje su važne za efikasnu dreniranost i aeraciju, čisti efekt zbijanja je povećanje vlage u tlu na štetu zraka. Može se pretpostaviti da se sastv otopine tla neće izmijeniti pod utjecajem zbijanja, ali njeno kretanje hoće.

U vrlo plodnim tlima, pod uvjetom da raspolažu s dovoljnom količinom vode, volumen tla nije od primarne važnosti za maksimalni razvoj (Parish, 1971.). Pa, iako zbijanje smanjuje razvoj korijena, ono ne ometa ishranu biljke. U tlima niske plodnosti, ali dobre strukture biljke će razviti korijenov sistem neovisno o fizičkoj barijeri. U ovakvim uvjetima one će se ravnomjerno razvijati crpeći hraniva iz cijele mase tla. Zbijanje takvog tla bi, zbog mehaničkih smetnji razvoju korijena, smanjilo masu tla što služi korijenu i time omelo rast i razvitak biljaka uzgajanih na takvim tlima.

Smanjenje prinosa usjeva pod utjecajem zbijanja prema Tayloru (1971) uvjetovano je reduciranjem dubine u kojoj je koncentriran glavni dio korijenovog sistema, reduciranjem proliferacije korijena unutar određenog volumena tla, iskorištavanjem dodatnih količina produkata fotosinteze od strane korijena koji raste u uvjetima visoke napetosti i reduciranjem promjera glavnog korijena do te mjere da se usporava njegova transportna funkcija.

Prema Gillu i Vanden Bergu (1967) i Söhneu (1969) zbijenost tla u umjerenom stupnju nužna je da bi se uspostavio kontakt sjeme-tlo i pojačalo klijanje, dok je suvišna zbijenost štetna za održavanje povoljnog stanja tla u zoni korijena. Isto tako smanjuje propusnost vode, pojačava spiranje i eroziju izazivajući istodobno probleme konzervacije tla. Zbijeno tlo ponekad je teško prorahliti, jer se kompakcija širi dublje od dubine oranja, pa su efekti duboke obrade često kratkotrajni.

Do zbijanje tla dolazi u većoj ili manjoj mjeri pri svim zahvatima obrade tla. Kao što iznosi Soane (1975) oko 90% površine tla ispresjecano je kotačima traktora u vrijeme

uobičajene pripreme sjetvenog sloja za usjeve gustog sklopa kao što su žitarice. Nakon toga slijedi dodatno gaženje od barem 25 % površine u vrijeme kombajniranja i više od 60 % kad se slama veže u bale i odvozi s polja. Zbijanje koje uvjetuje sav ovaj promet, posebno u vrijeme predsjetvene pripreme tla, može se manifestirati do dubine barem 30 cm i zadržati do kraja vegetacije usjeva. Naročito se oštećenja javljaju pri obradi glinastih tala teškim agregatima kada je tlo u mokrom stanju i njegova je napetost mala. „Razmazivanje„ donjeg dijela oraničnog sloja uvjetuje stvaranje „tabana„ pluga. Potresanje tla kotačima, uključujući efekte njihovog klizanja, važnije je od samog opterećenja za degradaciju strukture tla i odgovarajuće zbijanje (Davies et al., 1973., cit. prema Håkanssonu et al., 1988). Gaženje tla koje se, napr., javlja pri važenju šećerne epe u mokrim uvjetima izaziva duboko brazdanje (kolotečinu), razmazivanje i zbijanje, koje može onemogućiti dreniranost tla (Swain, 1975, cit. prema Håkanssonu et al., 1988), jer se smanjuje volumen i kontinuitet većih pora.

Usput samo napominjemo da zbijanje tla može biti prouzročeno i gaženjem od strane stoke. U jednom slučaju o kojem izvještavaju Tanner i Manaril (1959., cit. prema Hillelu, 1980) napasivanje stoke dovelo je do porasta specifične težine površine tla od 1,22 na 1,43 g/cm<sup>3</sup>, te do smanjenja kapaciteta za zrak sa 17,3 na 7,3 %, i porasta mehaničkog otpora tla sa 3,2 na 19,5 bara.

Upravo zbog ogromnog značenja zbijanja tla u suvremenoj poljoprivredi u novije vrijeme skreće se pozornost i na neke nedostatke suvremene evaluacije bonitetne vrijednosti tla, koja već u svojem pristupu ignorira zbijanje tla (McCormack, 1987). Suprotno zbog primjene teških strojeva, naročitu pažnju treba posvetiti zbijanju tla. Posebno treba identificirati tla sklona zbijanju, odnosno unutar njih označiti slojeve ili horizonte koji su zbijeni, jer podaci o rasporedu korijena u pravilu govore mnogo više nego mjerenje otpora penetrometrom, koji se ponekad upotrebljava kao surogat za definiranje stanja usjeva.

## REAKCIJA USJEVA NA ZBIJENOST TLA

U novije vrijeme sve se više pažnje posvećuje istraživanjima o utjecaju zbijenosti tla na prinos poljoprivrednih kultura. Osobitu pozornost zaslužuju model pokusi u kojima je moguće precizno utvrditi ne samo utjecaj zbijenosti na prinos već i na stanje pojedinih parametara tzv. fizičke plodnosti tla, pa iz toga postaviti zaključke o njihovom optimalnom stanju za pojedine usjeve u određenim fazama razvitka na pojedinim tipovima tala. Ukratko se osvrćemo na neke rezultate postignute u nas (Butorac, Tomić i Turšić, 1975, Butorac i Turšić, 1978, Butorac, 1982).

Istraživanja su provedena prema split-plot metodi na četiri različita tipa tla: crvenici (Terra Rossa), pseudogleju, smeđem tlu na karbonatnom lesu (eutrični kambisol) i aluvijalnom tlu (fluvisol) s ozimom pšenicom, ozimom raži, jarom zobi, sojom, crvenom djetelinom i lucernom kao test kulturama. Osim tri gradacije zbijenosti tla odnosno specifične volumne težine (1,2, 1,4 i 1,6) u pokusima su se istraživale tri gradacije mineralne gnojidbe, odnosno tri intervala vlažnosti. U ovom radu navode se samo rezultati koji se odnose na zbijenost tla (tab.1).

Tabela 1 Prinos pojedinih kultura u pokusima prema tipovima tala i godinama, g/veg. posudi

Specifična volumna težina (zbijenost) tla * (g/cm <sup>3</sup> )	Tip tla							
	Crvenica	Pseudoglej	Eutrični kambisol	Fluvisol				
Ozima pšenica								
1,2	17,9	24,2	21,4	24,3				
1,4	20,9	21,9	25,2	26,7				
1,6	23,6	20,2	23,2	27,6				
LSD P=5%	3,2	2,0	1,5	2,6				
P=1%	5,0	3,2	2,4	4,2				
Ozima pšenica 1975.								
1,2	18,6	18,1	19,0	17,6				
1,4	18,4	18,1	19,2	18,3				
1,6	17,1	15,8	16,7	17,7				
LSD P=5%	n.s.	1,7	1,7	n.s.				
P=1%	n.s.	1,8	1,8	n.s.				
Soja 1976.								
1,2	12,3	15,1	11,0	10,3				
1,4	12,6	13,0	12,1	12,6				
1,6	12,5	6,5	8,9	10,7				
LSD P=5%	n.s.	1,3	1,5	n.s.				
P=1%	n.s.	2,0	2,2	n.s.				
Jara zob 1980.								
1,2	10,5	10,5	13,1	8,8				
1,4	9,1	12,0	14,5	7,6,				
1,6	6,5	12,3	11,8	7,6				
Ozima raž 1981.								
1,2	27,3	27,0	18,5	27,7				
1,4	27,5	24,7	18,9	27,2				
1,6	21,3	20,7	16,7	22,2				
LSD P=5%	4,3	4,5	n.s.	2,2				
P=1%	6,5	6,8	n.s.	3,2				
Crvena djetelina, 1977. 1978.								
	1977.	1978.	1977.	1978.	1977.	1978.	1977.	1978.
1,2	40,6	140,8	30,0	99,8	65,8	89,6	68,2	77,1
1,4	39,4	161,6	38,7	116,0	80,6	119,9	76,6	109,4
1,6	34,0	145,4	37,4	106,8	66,4	96,7	69,6	107,0
LSD P=5%	2,6	9,8	4,4	9,4	10,8	22,9	6,0	19,0
P=1%	4,0	14,8	6,7	14,2	16,5	34,7	9,0	28,8

## Lucerna tip tla: pseudoglej

## Godina

	1975.	1976.	1977.	Ukupno
1,2	18,5	77,4	78,4	174,3
1,4	20,0	81,7	71,5	172,4
1,6	19,2	72,2	75,1	166,5
LSD P=5%	n.s. 8,4	6,0	n.s.	
P=1%	n.s.	12,7	9,2	n.s.

Ukratko, polučeni rezultati pokazuju različitu reakciju testiranih kultura na zbijenost tla na pojedinim tipovima tala, što je, dakako, u najneposrednijoj vezi s njihovim životnim zahtjevima i sposobnosti korijena da penetrira zbijene slojeve tla. Očita je specifična reakcija kulture i tipološka pripadnost tla.

Što je tlo teže prema mehaničkom sastavu, biljka preferira manju zbijenost, pa se za većinu testiranih kultura može reći da im odgovara volumna težina koja se kreće u rasponu od 1,2 do 1,4. Izuzetak u izvjesnom smislu čini crvena djetelina koja je u pravilu dala najviše prinose pri specifičnoj volumnoj težini od 1,4.

Drugim riječima, traži uglavnom nešto veću zbijenost, što je vjerojatno u vezi s njenim specifičnim zahtjevima u vezi s razvojem korijenovog sistema. Zadatak bi integralnih agrotehničkih zahvata bio, a među njima je na prvom mjestu obrada tla, da se tokom vegetacije usjeva održava povoljno fizičko stanje tla. Imaju li se u vidu nepovoljni abiotski, pa i biotski utjecaji na tlo, ovo će biti tim teže postići i održavati ako se radi o težem tlu, a mjere gospodarenja tлом nisu dovoljno sinhronizirane i efikasne.

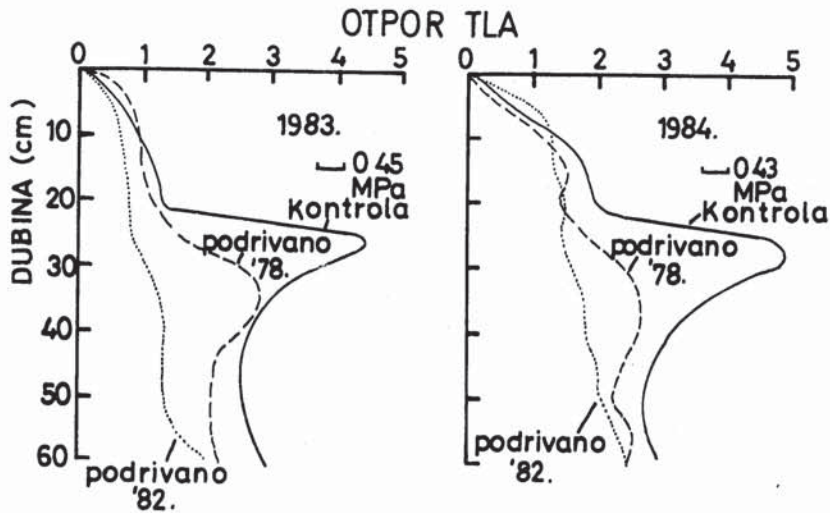
Povoljna fizička svojstva tla nesumnjivo čine osnovu uspješnog uzgoja poljoprivrednih kultura. U tome, čini se, središnje mjesto zauzima izučavanje optimalne zbijenosti, odnosno specifične volumne težine, poroziteta i vodnog režima. Tako su se, na primjer, Sipos (1968) i Sipos i Viktorija Szirtes (1972) bavili problemom poroznosti, odnosno zbijenosti nekih tipova tala u Mađarskoj i došli do zaključka da različite kulture za svoj optimalni razvoj traže različiti porozitet tla, te da stupanj u kojem porozitet djeluje na biljke ovisi o razini hranivih tvari u tlu, kao i količini oborina tokom vegetacije. Ovo se podudara s rezultatima naših istraživanja. I istraživanja usmjerena na racionalniju obradu tla u Istočnoj Njemačkoj pokazala su različito reagiranje usjeva na različitu zbijenost tla u ovisnosti o klimatskim uvjetima i tipovima tala (Kunze et al., 1968). U provedenim model pokusima u Poljskoj najviši prinosi ozime pšenice na pjeskovitom i glinastom tlu dobiveni su pri volumnoj težini 1,6 g/cm<sup>3</sup>, a na lesnom pri 1,45 g/cm<sup>3</sup> (Smierzchalski, 1972, Sienkiewicz i Irena Gonet, 1972).

Problem zbijenosti tla u Bugarskoj istraživali su Kovačev et al., (1972) na izluženom černoze mu - smolnici i izluženom smeđem šumskom tlu pri volumnim težinama 0,8, 1,0, 1,2, i 1,4 g/cm<sup>3</sup>. Utvrdili su da krivulja prinosa usjeva o ovisnosti o zbijenosti tla ima oblik parabole. S povećanjem zbijenosti od 1,2 do 1,3 na lakšoj smolnici prinos pšenice se povećao, a pri 1,4 g/cm<sup>3</sup> krivulja prinosa naglo pada.

Prema istraživanjima Rosenberga i Willitsa (1962) porast volumne težine od 1,3 na 1,6 g/cm<sup>3</sup> na pjeskovitom tlu doveo je do povećanja prinosa ječma za 50 posto. Rast prinosa je linearno i signifikantno korelirao s rastom pristupačne vode. Povećanje volumne težine tla s 1,30 na 1,65 g/cm<sup>3</sup> na ilovastoj pjeskulji smanjilo je prinos ječma za 37%, što autori povezuju s povećanjem mehaničkog otpora tla.

Prema Bondarevu et al. (1974) biljke stradaju, kako pri suvišnoj zbijenosti, tako i pri suvišnoj rahlosti. Stoga smatraju da optimalna volumna težina za većinu poljoprivrednih

kultura iznosi 1,1 do 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Ipak je potrebno dodati da se za karakterizaciju zbijenosti tla najčešće primjenjuje mehanički otpor. Pod uvjetom da je sadržaj vode u tlu identičan, mehanički otpor može biti osjetljiviji pokazatelj zbijenosti nego volumna težina, koja može znatnije varirati između različitih tala ovisno o mineraloškoj građi, zbog čega nije prikladna za direktnu upotrebu pri kompariranju različitih tala.



Graf. 1 Srednji otpor tla kao funkcija debljine obrade na kontroli i podrivanim parcelama 1983. i 1984. (— : maksimalna standardna devijacija od jednog tretiranja)

U praksi postoje različiti postupci i mjere u pogledu uklanjanja ili ublažavanja suvišne zbijenosti tla. Svaka mjera ima svoje specifičnosti. Navode se prema Ideu et al. (1987) neki rezultati s podrivanjem (graf. 1, tab. 2). Na Grafikonu se vidi stanje otpora nepodrivanog i podrivanog tla. Najviša vrijednost otpora tla (>3 MPa) nalazi se na kontrolnoj varijanti ispod linije oranja, koja utječe na razvoj korijenovog sistema, koji se iznad ove vrijednosti vrlo slabo razvija pri stanju vlažnosti jednakoj poljskom kapacitetu. Podrivanjem je vrijednost otpora očigledno smanjena. Analogno promjenama otpora mijenja se i prinos zrna ozime pšenice i ječma, te šećera u šećerne repe.

Tabela 2. Prosječni prinosi zrna i šećera dobiveni na praškastoj ilovači u toku četiri godine nakon podrivanja, t/ha

Usiev	Nepodrivano	Podrivano
Ozima pšenica	5,37 ± 0,39	5,61 ± 0,16 n.s.
Ozimi ječam	6,02 ± 0,28	6,48 ± 0,25 <sup>xx</sup>
Šećerna repa	11,32 ± 0,47	12,02 ± 0,38 <sup>xx</sup>

ns - nesignifikatno prema kontroli  
xx - signifikantno prema kontroli

Uklanjanje zbijenog sloja („tabana„ pluga) podrivanjem rezultiralo je prosječnim povećanjem prinosa od 5 do 10% u žitarica i šećerne repe u toku četiri godine.

Posebno su značajna istraživanja koja se koordinirano provode već duži niz godina u Švedskoj, Finskoj, Norveškoj, Danskoj, Nizozemskoj, Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi na većem broju tipova tala i s većim brojem kultura. (Hakansson et. al, 1987). Naravno da nam prostor ne dozvoljava da prikazemo svu složenost ovih istraživanja kao i postignute rezultate već da samo djelomično prikazemo neke njihove segmente. Osnovni im je cilj: 1. da utvrde opseg i trajnost zbijanja tla prouzročenu visokim osovinskim opterećenjem; 2. da utvrde reakciju usjeva na zbijanja zdravice visokim osovinskim opterećenjem u razdoblju od nekoliko godina i 3. da postave opće zaključke što se tiče gornjih granica osovinskih opterećenja koja su prihvatljiva za oranične površine.

Za sve pokuse odabrane su dvije istovjetne varijante: 1. kontrolna varijanta bez eksperimentalnog prometa (gaženja) i 2. varijanta sa četiri ponovljena prohoda trag za tragom po površini tla s vozilom koje je opterećeno s 10 tona po jednoj osovini ili 15 tona po tandemskoj osovinskoj jedinici - pritisak u pneumaticima oko 300 kPa. U nekih pokusa bilo je odstupanja od ovih tretiranja. Ovo tretiranje provedeno je samo jednom na početku istraživanja pri stanju vode u tlu blizu poljskog kapaciteta u cijelom profilu.

Reakcija usjeva bila je izrazito varijabilna po lokalitetima i godinama, u biti bila je negativna (tab. 3). Nakon nekoliko pristupa statističkoj analizi o utjecaju različitih faktora na reakciju usjeva, najbolji oblik dobiven je sa slijedećom nelinearnom regresivnom jednadžbom:

$$Y = 99,9 - 0,181 [C \cdot t^{-128} \ln(n+1)]; R^2 = 0,35^{xxx}$$

u kojoj je Y relativni prinos usjeva na zbijenim parcelama, C je sadržaj gline u tlu (%), t je vrijeme (broj godina nakon provedenog zbijanja tla), a n je broj prohoda ili s jednoosovinskim opterećenjem od 10 tona ili tandemskom osovinskom jedinicom opterećenom do 16 tona. Jednadžba predskazuje negativnu reakciju usjeva, koja raste s rastom sadržaja gline, smanjuje se s vremenom, a raste u logaritamskoj formi s brojem prohoda s teško opterećenom osovinom. Ovo se vrlo ilustrativno vidi iz graf. 2.

Gaženje (promet) primijenjeno u pokusima zbililo je tlo barem do 50 cm, kako su pokazala provedena istraživanja. U švedskim pokusima šest godina kasnije napetost je bila 15% veća, premda se u većini godina smrzavanje/odmrzavanje i sušenje/ponovno vlaženje očitovalo do dubine veće od 50 cm. Ovo pokazuje da je zbijanje zdravice vrlo postojano, čak i u takvoj klimi. Pri nižem osovinskom opterećenju, također u švedskim pokusima, efekti zbijanja gube se za 4 do 5 godina.

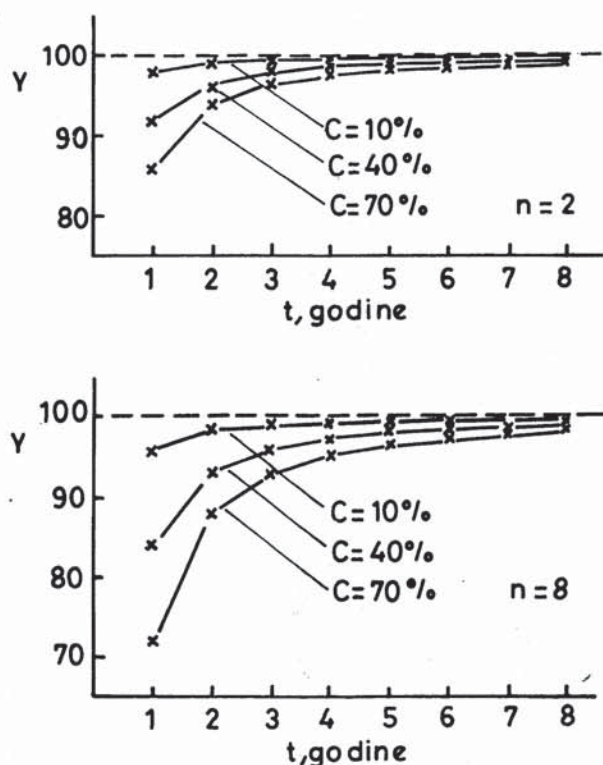
Ova istraživanja se nastavljaju, ali se već sada na osnovi njih mogu dati neke preporuke za praktičnu primjenu. Kao prvo, osovinsko opterećenje iznad 10 tona ne bi se nikad smjelo primijeniti. Na osjetljivim tlima ili gdje se promet odvija pri suviše vlažnim uvjetima maksimalno osovinsko opterećenje moralo bi biti niže. U suprotnom postoji rizik da će gaženje dovesti do pada plodnosti tla za duži period ili čak trajno.

Ako se većina poljskih radova obavlja strojevima sa suviše visokim osovinskim pritiskom, za nekoliko godina cijelo polje bit će pokriveno nekoliko puta tragovima od takvih strojeva.

Prihvatljivi osovinski pritisak do izvjesne mjere ovisi o gumama. Za pneumatike s niskim specifičnim pritiskom opterećenje može biti nešto veće nego za pneumatike s visokim specifičnim pritiskom.

Ograničenje osovinskog opterećenja ne mora istodobno značiti i ograničenje ukupne težine vozila. Kada teret raste iznad određenih ograničenja, mora se povećati broj osovina i kotača.





Graf. 2 Relativni prinos usjeva, Y, na gaženim parcelama (kontrolne parcele = 100) kao funkcija vremena, t, sadržaja gline u tlu, C, i broja prohoda, n, po jednoj osovini opterećenoj s 10 tona ili po tandemskoj osovinskoj jedinici opterećenoj sa 16 tona.

Općenito se može reći da postoji optimalno stanje zbijenosti tla, koje je pod utjecajem brojnih faktora uključujući tip tla, stanje vlage tokom vegetacije, vrstu kulture i opskrbljenost biljnim hranivima. Ponekad optimum predstavlja relativno rahlo stanje tla, ponekad nešto zbijenije. Zapravo, vrlo je teško identificirati sve utjecaje zbijenosti tla na usjeve, a odatle su razlozi za pojavu optimuma i za pad prinosa u suviše rahlim ili suviše zbijenim tlama daleko od potpunog objašnjenja. To je jedino moguće postići u poljskim pokusima proučavajući utjecaj integriranih faktora. U suviše rahlim tlama volumetrijski sadržaj vode i hraniva je nizak, kao i nezasićena hidraulička provodljivost, koja može ograničiti transport vode i hraniva prema korijenju.

Posljedice zbijenosti tla nisu samo vrlo varijabilne i kompleksne u odnosu na prinos usjeva, već i u odnosu na njihovu kvalitetu. Zbijenost, između ostalog, utječe na oblik korijena korjenastih usjeva, kemijski sastav biljaka i osjetljivost prema uzročnicima bolesti.

Najnovija istraživanja reakcije usjeva i tla na zbijanje prouzročeno gaženjem kotačima, ponajviše u Evropi i Sjevernoj Americi, idu za tim da se utvrde njihove međusobne uzročne veze, intenzitet i trajanje ovih pojava i mjere za ublažavanje ili uklanjanje zbijanja tla poljoprivrednom tehnikom i kotačima (Canarache et al., 1988., Daniel et al., 1988., Erbach et al., 1988, Fawcett et al., 1988, Gameda et al., 1988, Hammell, 1988, Lowery i Schuler, 1988, Voorhees et al., 1988). U tome znatnog udjela ima i kontrola prometa, koji

Neki rezultati istraživanja u pojedinim zemljama

Zemlja	C %	Varijanta pokusa			1. godina		2. godina		3. godina	
		Vrijeme	W	n	Usjev	Y	Usjev	Y	Usjev	Y
Švedska	27	Jesen 76	10+16	2	Jari ječam	93	zob	105	Jari ječam	101
		Jesen 77.	10+6	8	Jari ječam	88	Uljana repica	103	Ozima pšenica	105
	48	Jesen 76.	10+16	2	Jari ječam	79	Zob	92	Jari ječam	98
Finska	63	Jesen 76.	10+16	8	Jari ječam	67	Jari ječam i zob	96	Jari ječam	95
		Jesen 81	10+10	2	Jari ječam i zob	89	Jari ječam	98	Jari ječam	98
	27	Jesen 81.	10+16	8	Jari ječam, 98 zob, jara pšenica i jara uljana repica	80	Jari ječam i zob	92	Jari ječam	91
Norveška	21	Proljeće 82.	10+16 7+7	2 8	Krumpir jari jelam soja i mrkva	92	Krumpir i jari ječam	103	Krumpir i jari ječam (98)	97
		Jesen 83.	10+16	2	Ozima pšenica	82	zob i jara pšenica	99	zob, jara pšenica i djet. travna smjesa	93
Danska	14	Jesen 82	12 4	1 1	Kukuruz	Jari ječam	Kukuruz	Jari ječam	Kukuruz	97
		Jesen 83.	10+16	2	Ozima pšenica	94	Kukuruz	104	Kukuruz	97
Nizozemska	12	Jesen 82	12 4	1 1	Kukuruz	94	Kukuruz	104	Kukuruz	97
		Jesen 83.	10+16	2	Ozima pšenica	94	Kukuruz	104	Kukuruz	97
Minnesota SAD	33	Ljeto 81	9+12 18+18	4 4	Kukuruz i soja	94	Kukuruz i soja	104	Kukuruz i soja	97
		Proljeće 83.	8 5	4 4	Kukuruz	93	Kukuruz	104	Kukuruz	97
Quebec Kanada	33	Proljeće 83.	12+6 20+20	4 4	Kukuruz	93	Kukuruz	104	Kukuruz	97
		Proljeće 83.	12+6 20+20	4 4	Kukuruz	93	Kukuruz	104	Kukuruz	97

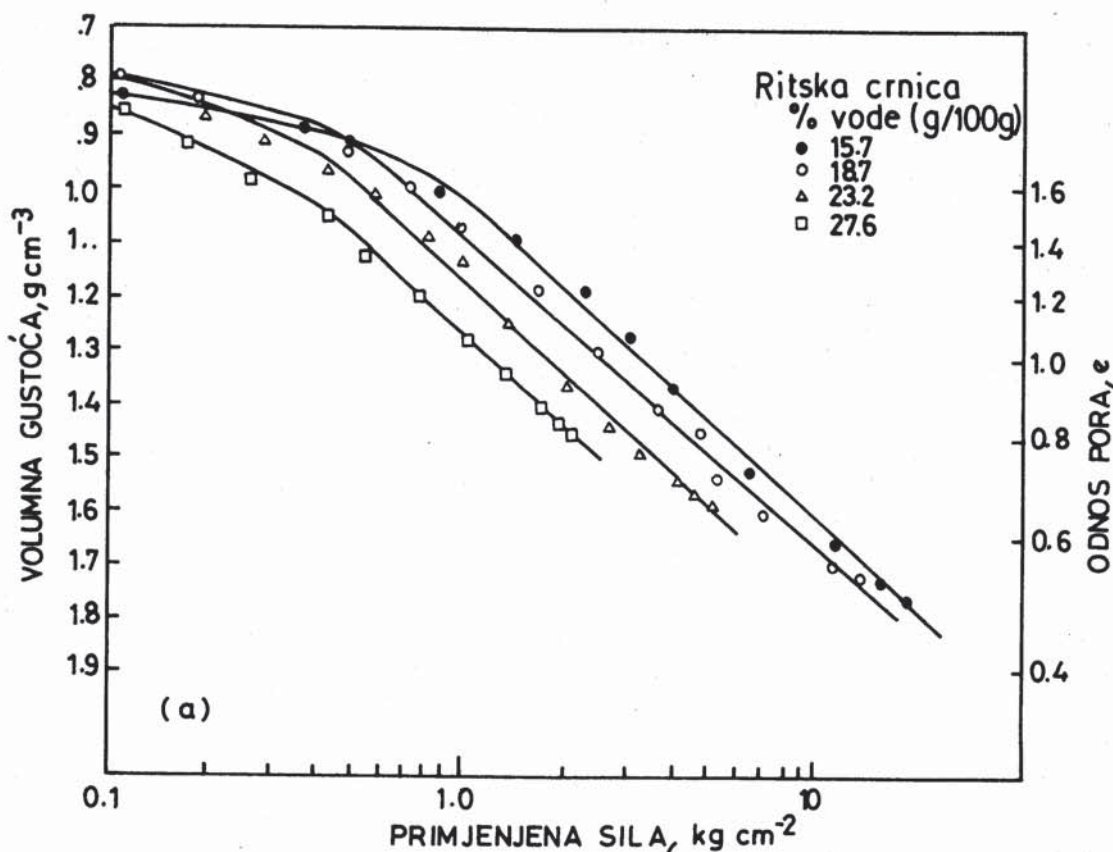
C = sadržaj gline donjeg dijela zdravice (25-40 cm), W = osovinski opterećenje vozila kojim je provedeno zbijanje, n = broj prohoda pojedinačnih ili tandemskih osovinских jedinica s teretom > 6 tona, Y = relativni prinos usjeva u zbijenim varijantama (kontrola = 100)

se treba odvijati po unaprijed utvrđenim linijama odnosno prohodima (Spoor et al., 1988), koji mogu podnijeti gaženje bez vidljivih deformacija. Pri uklanjanju ili ublažavanju zbijanja tla posebno značenje mogu imati različiti oblici reducirane obrade tla, u prvom redu zero-till sistem (Dikson i Campbell, 1988, Douglas i Cambell, 1988, Chamen et al., 1988).

Kompakcija tla zbog svoje aktualnosti ostaje i dalje u fokusu znanstvene javnosti. Kao potkrijepu tome navodimo da će se početkom lipnja 1989. godine u organizaciji Međunarodnog društva za proučavanje tla i Poljske akademije znanosti održati u Lublinu u Poljskoj međunarodna konferencija na temu „Zbijanje tla kao faktor u određivanju produktivnosti biljaka..“

### UTJECAJ ZBIJANJA NA PROMJENE U TLU

Kotači i gusjenice traktora izazivaju stresove u tlu, čiji intenzitet ovisi o stanju tla odnosno njegovoj nosivosti, tlaku u gumama, opterećenju kotača itd. u čiju podrobniju analizu ne ulazimo. Ako pod zbijenosti (kompakcijom) treba razumijeti reakciju tla na vanjske sile koje uvjetuju smanjenje volumena odnosno povećanje gustoće, treba reći da opseg zbijanja ovisi, kako o tlu, tako i o primijenjenim silama. Da bi se poblize okarakteriziralo stanje zbijenosti tla, može se koristiti nekoliko parametara kao što su volumna gustoća, porozitet, odnos pora i specifična volumna težina. Zbijenost tla ovisi o tipu tla, sadržaju vlage i početnoj zbijenosti. Kako pokazuju rezultati brojnih istraživanja kada nastupi zbijanje rahlog tla, specifična gustoća linearno se povećava s logaritmom primljenjenog pritiska do njegove određene veličine (graf. 3.)



Graf. 3 Početne krivulje zbijanja tla pri četiri različita sadržaja vode (Larson et al., 1980.)

Čvrstoća tla, tj. njegov otpor vanjskim silama naglo se smanjuje s povećanjem vlažnosti tla i zato, pri konstantnom pritisku, mali porast u vlažnosti rezultira relativno velikim porastom specifične gustoće. Kada je tlo potpuno zasićeno vodom, zrak se više ne može istisnuti i zbijanje prestaje.

Čvrstoća odnosno otpor tla normalno se mijenja, s dubinom. Budući da zdravica često pokazuje veću čvrstoću, mekota je rahla i mekana i stoga jako podložna zbijanju. Na sreću, umjerena rekompakcija oraničnog sloja je često poželjna, međutim, intenzivan promet često dovodi do ekscesivnog zbijanja. Oranični sloj podvrgava se godišnjem ciklusu rahljenja obradom i ponovnog zbijanja (rekompakcije) zbog prometa strojeva i prirodnih procesa. Opseg rekompakcije oraničnog sloja prouzročene prometom odnosno gaženjem ovisi o većem broju faktora. Što je tlo vlažnije, opterećenost kotača, pritisak u guma, broj prohoda vozila i klizanje kotača veće, jače je i zbijanje. Pri tome određenu važnost ima i brzina vozila i raspored kotača. Prema svojoj važnosti ove varijable mogle bi se, prema utjecaju na zbijenost oraničnog sloja tla, poredati na ovaj način: sadržaj vlage u tlu (najvažnije), broj prohoda kotača, težina traktora, opremljenost kotačima (jednostruki ili udvojeni), tlak u gumama, brzina i vuča (praktički nevažna). Dobiveni rezultati o utjecaju klizanja nisu podudarni, često puta su i sasvim divergentni.

Što se tiče zbijanja zdravice, odlučujući faktori su opterećenost kotača, sadržaj vlage i broj prohoda vozila. Budući da zdravica obično ima veću čvrstoću nego mekota, njezino fizičko stanje u manjoj se mjeri mijenja pod utjecajem prometa vozila. Ipak, s obzirom da se ona ne rahli uobičajenom obradom, te da se intenzitet rahljenja prirodnim procesima smanjuje s dubinom, ponavljani promet može prouzročiti kumulativno zbijanje.

Budući da na većoj dubini stres prouzročen prometom uglavnom ovisi o opterećenosti kotača, ovo također određuje rizik zbijanja dublje u zdravici. To je točno, dok kontaktni pritisak nije ekstremno nizak. S gumama koje se danas upotrebljavaju, zbijanje do dubine od 40 cm ili više često se opaža kada osovinski pritisak prelazi 6 t. Ima rezultata koji govore o zbijanju do 100 cm pomoću vozila sa specifičnim pritiskom od samo 100 kPa, ali s vrlo visokim, ukupnim teretom. Pritisak kotača traktora na dno brazde u vrijeme oranja lemešnim plugom daljnji je uzrok zbijanja zdravice.

Ako je dalje riječ o utjecaju zbijanja na svojstva tla i procese u tlu, primarni efekt zbijanja tla je smanjenje poroziteta, kao i redistribucija pora prema veličini. Ove promjene utječu na mnoga fizička svojstva i procese u većoj ili manjoj mjeri, uključujući kapacitet za zrak, izmjenu plinova, retenciju vode i hidrauličku provodljivost, čvrstoću tla i mehaničke smetnje razvoju korijena. Indirektno utječu i na mnoge kemijske i biološke procese.

Najočitija promjena u svojstvima tla prouzročena kompaktijom je smanjenje volumena velikih pora ( $>30 \mu\text{m}$ ), koje su važne za izmjenu plinova i zasićenu hidrauličku provodljivost. One također predstavljaju prostor u koji najlakše prodire korijenje i makroorganizmi tla. Populacije arthropoda i kišnih glista pod snažnim su utjecajem gaženja tla.

Infiltracija vode u zbijeni oranični sloj ipak je jako smanjena, što rezultira povećanim rizikom površinskog ispiranja i erozije i/ili deficitom vode u rizosferi.

Izmijenjena aeracija tla može utjecati na neke kemijske procese u tlu, npr. na količinu i pristupačnost biljnih hraniva. Denitrifikacija u toku tri ljetna mjeseca bila je 10 do 15 kg ha N veća uzbijenom nego rahlom tlu (Bakken et al., 1987, cit. prema Håkanssonu et al., 1988).

Restrikcije u razvoju korijena zbog mehaničkih smetnji mogle bi se uzeti kao najčešće i najozbiljnije posljedice zbijenosti tla. Limitirajuće vrijednosti mehaničkog otpora na rast korijena nalaze se između 2 i 5 MPa. Gaženje tla uslijed prometa može često prouzročiti

povećanje ovog parametra reda veličina 100% ili više. S druge strane, reducirani rast korijena ograničuje upijanje vode i hraniva, naročito fosfora, kao što mehanički otpor može smanjiti stvaranje nekih biljnih hormona.

Kao rezultat zbijanja tla može doći do manjeg porasta manjih pora ( $<30 \mu\text{m}$ ), ponajčešće zbog propadanja krupnijih pora. Istraživanja Rotha et al. (1988) u toku sedam godina pokazala su najveću zbijenost tla u uvjetima no-till sistema, dok je konvencionalna obrada tla, i u manjoj mjeri minimalna obrada, prouočila stvaranje „tabana„ pluga na 20 do 30 cm dubine. Zbijanje je istodobno smanjilo sadržaj makropora, a povećalo sadržaj mikropora u tlu.

Manja tolerancija biljaka prema rahlom tlu u suhim uvjetima eventualno je povezana s presporim kretanjem vode, te, s tim u vezi, i biljnih hraniva prema korijenju. Druga mogućnost je povećana evaporacija u ranim stadijima rasta zbog brzog kretanja vode prema površini.

Zbijanje tla također je u uskoj vezi s distribucijom agregata a prema veličini u sjetvenom sloju. Gaženje mokrog tla traktorskim kotačima u proljeće povećava količinu krupnih agregata (Rasmussen, 1976 i Marti 1983. cit. prema Håkanssonu et al., 1988), dok promet po suhom tlu smanjuje njihovu količinu (Rasmussen, 1986, cit. prema istim autorima).

Veličina agregata u sjetvenom sloju igra važnu ulogu pri klijanju i osnivanju usjeva. najvažniji razlog za ovo je što grubi agregati omogućavaju brzo isušivanje sjetvenog sloja.

Jedna od značajnih komponenti zbijanja jest njegova trajnost. Normalno mehaničko rahljenje ne može upotpunosti otkloniti posljedice zbijanja, pa se javlja njegov rezidualni efekt, posebno na glinastim tlima, koji podrazumijeva pojedinačne efekte kao što su veća neravnost površine, grublja struktura i koherentnija ili ljepiva brazda. Utvrđeno je da je neravnost površine neposredno nakon oranja odnosno nakon zime znatno veća za tlo koje je ranije bilo zbijeno nego za nezbijeno tlo (Voorheas et al., 1979; Håkansson, 1983, cit. prema Håkanssonu et al. 1988). Ovaj posljednji autor utvrdio je da zbijanje glinastih i ilovstih tala prije jesenskog oranja povećava količinu grubih agregata u sjetvenom sloju slijedećeg proljeća, iako se površinski sloj tla smrzavao nekoliko puta tokom zime, čak i nakon provedenog intenzivnog tanjuranja. I Voorheas (1983., cit. prema Håkanssonu et al., ibid) utvrdio je do pet puta veći promjer agregata nakon oranja u tlu ranije zbijenom u usporedbi s nezbijenim tlom. Povećana čvrstoća zbijenih gruda ostaje preko zime, pa potencijalno traži i više energije da bi se u proljeće postiglo povoljno stanje sjetvenog sloja. Općenito se misli da prirodni faktori, kao što su smrzavanje i odmrzavanje, vlaženje i sušenje i biološka aktivnost smanjuju zbijanje. Intenzitet svih ovih procesa naglo se smanjuje s dubinom. Neka istraživanja provedena u inozemstvu pokazuju da smrzavanje tla, čak do dubine od jednog metra, ne može eliminirati zbijenost tla. Potrebna je višekratna obrada tla. Pri tome, naravno, treba izuzeti površinski sloj tla. Može se pretpostaviti da u područjima bez mraza zbijenost dubljih slojeva traje znatno duže. I jedan, na prvi pogled, neočekivan podatak. Utvrđeno je, naime, (Heinonen, 1986, cit. prema Håkanssonu et al., 1988) da jedan intenzivni ciklus sušenje (ponovno vlaženje može biti dovoljno efikasan da se eliminiira duboko zbijanje vertisola, Naprotiv, u pjeskovitim zdravicama zbijanje može ostati trajno, dok se tlo mehanički ili biološki ne prorahli. Trajanje zbijenosti u oraničnom sloju može biti odlučujuće za provedbu reducirane (plitke) obrade ili no-till sistema.

Prema navodima Bondareva et al. (1987) deformacije uvjetovane zbijanjem tla poljoprivrednom tehnikom mogu varirati od 20 do 60 cm, a u literaturi se navode vrijednosti do 1 m. Zbijanje, pored vertikalnog, ide i u horizontalnom pravcu od centra zbijanja 35 do 70 cm. Istraživanja na semiglejnim pseudooglejnim tlima nečernozemne zone SSSR-a su pokazale da se u tragovima kotača traktora zbijenost tla kao rezultat uništenja strukture

povećava za 0,1 do 0,3 g/cm<sup>3</sup> dostižući vrijednost 1,35 do 1,55 g/cm<sup>3</sup>. Da bismo predstavili što znači promjena zbijenosti za 0,1 g/cm<sup>3</sup>, treba imati u vidu da prinos žitarica pada pri tome za 0,2 do 1,0 t/ha, u prosjeku za 0,6 t/ha. Prema mnogobrojnim podacima, kako dalje navode isti autori, tvrdoća tla u tragovima kotača traktora raste u oraničnom sloju 2 do 10 puta, što, pored ostalog, znatno otežava obradu tla - u tragovima gusjenica otpor raste 16 do 25 %, u tragovima kotača traktora, kombajna i automobila 44 do 65 %, a u tragovima transportnih agregata 72 do 90 %, naravno, uz druge negativne efekte u rastu i razvitku kultura.

Sistemi obrade tla i sistemi biljne proizvodnje trebali bi biti primjereni vladajućim ekološkim uvjetima kako bi se negativni utjecaji zbijanja na tlo otklonili ili barem ublažili.

### OBLICI I INTENZITET PROMETA U RAZLIČITIM SISTEMIMA GOSPODARENJA

Vrlo je teško kvantificirati intenzitet prometa sa stajališta njegovog utjecaja na tlo i usjeve s konačnim ciljem da se konstruiraju odgovarajući poljoprivredni strojevi i uvedu odgovarajući sistem iskorištavanja tla. Ovdje se nameće nekoliko bitnih pitanja (Håkansson et al., 1988): 1. kolika je sila kojom se tlo zbija? 2. kakvi uvjeti vladaju u tlu u vrijeme prometa (gaženja)? 3. kako je gaženje kotačima locirano u odnosu na biljku i 4. u kojoj je fazi razvoja biljke gaženje prisutno?

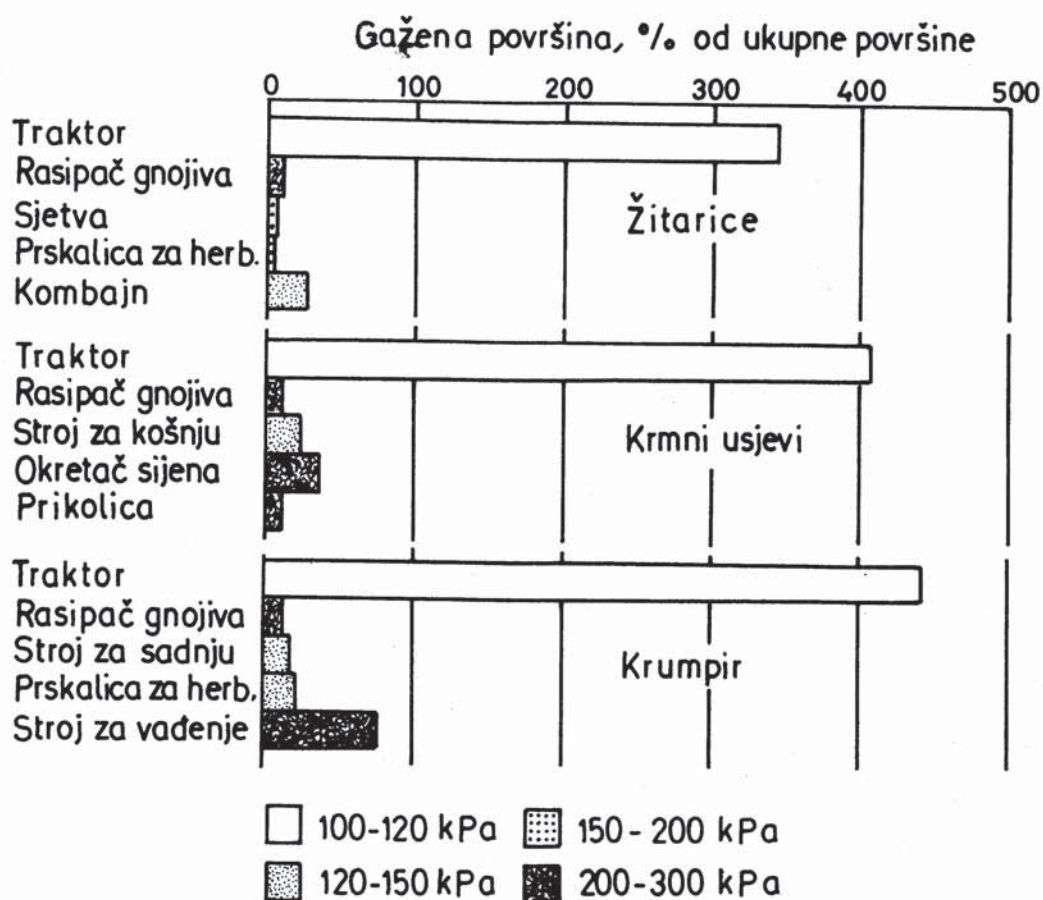
Ukratko, u odgovoru na postavljena pitanja može se reći da je pri suvremenom intenzivnom iskorištavanju oraničnih površina ukupna površina koja se gazi zadnjim kotačima traktora u toku vegetacijskog razdoblja dva puta veća od ukupne površine pri postojećoj konvencionalnoj obradi tla za žitarice, kukuruz, soju i neke druge kulture, naročito korjenaste i povrtna. Ona raste do tri puta ako se uključe prednji kotači traktora, pa čak tri i pol do četiri puta ako se doda gaženje u vrijeme žetve odnosno berbe. Posebno se intenzivno gaženje odvija pri spremanju lucerne - prema nekim podacima do 70 % ukupne površine.

Za ilustraciju mogu poslužiti istraživanja Danforsa (1977) za neke kulture (cit. prema Håkanssonu et al., 1988. graf. 4). Gume kotača traktora bile su pri uobičajenom normalnom tlaku. Kotači traktora ostavljali su najveći trag, ali su najveći specifični pritisak na tlo vršili kotači kombajna i transportnih vozila. Ako se uključi opterećenje kotača i brzina, moguće je izračunati „produkt zbijanja„ ili „intenzitet prometa (gaženja)„ u t /km/ha. Ovakav pristup prikladan je za neke slučajeve. Međutim, dio površine tla uopće se ne gazi pri eksploataciji, dok se drugi dijelovi površine gaze i više od 20 puta. Kod okopavinskih usjeva znatan dio prometa (gaženja) koncentriran je na međuredne prostore, dok se ostali dio uopće ne gazi. Iz grafikona 5 vidljivo je da je veći dio oraničnih površina zahvaćen kotačima traktora (Parsons et al., 1984., cit. prema Håkanssonu et al., 1988).

Pri kvantifikaciji godišnjeg gaženja tla kotačima treba uključiti specifične informacije o svakom pojedinom proходу kotača s promjenljivim teretom kojega nose, kontaktni pritisak između guma i tla, širinu guma, klizanje, brzinu itd.

Što se tiče stanja tla, mali specifični pritisak u pneumaticima na mokrom tlu može prouzročiti jače zbijanje nego promet s visokim specifičnim pritiskom na suhom tlu. Zbijanje koje izazivaju kotači ovisi i o tome da li oni prelaze preko površine koja je već ranije bila gažena. Tako prolaz kotača koji očituju specifičan pritisak na tlo od 100 kPa, koje je ranije podnijelo pritisak od 300 kPa, vjerojatno neće prouzročiti daljnje zbijanje uz pretpostavku istog tereta i vlage.

Međutim, ako se ovaj isti pritisak manifestira na tek obrađenom tlu, dogodit će se znatne promjene.



Graf. 4. Ukupna godišnja površina tla koju gaze različita vozila pri uzgoju različitih kultura u normalnim uvjetima u Švedskoj. Navodi se također specifični pritisak koji se obično upotrebljava (Danfors, 1977.)

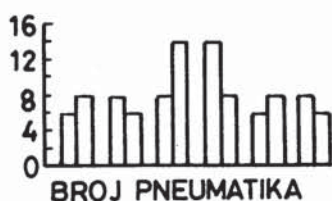
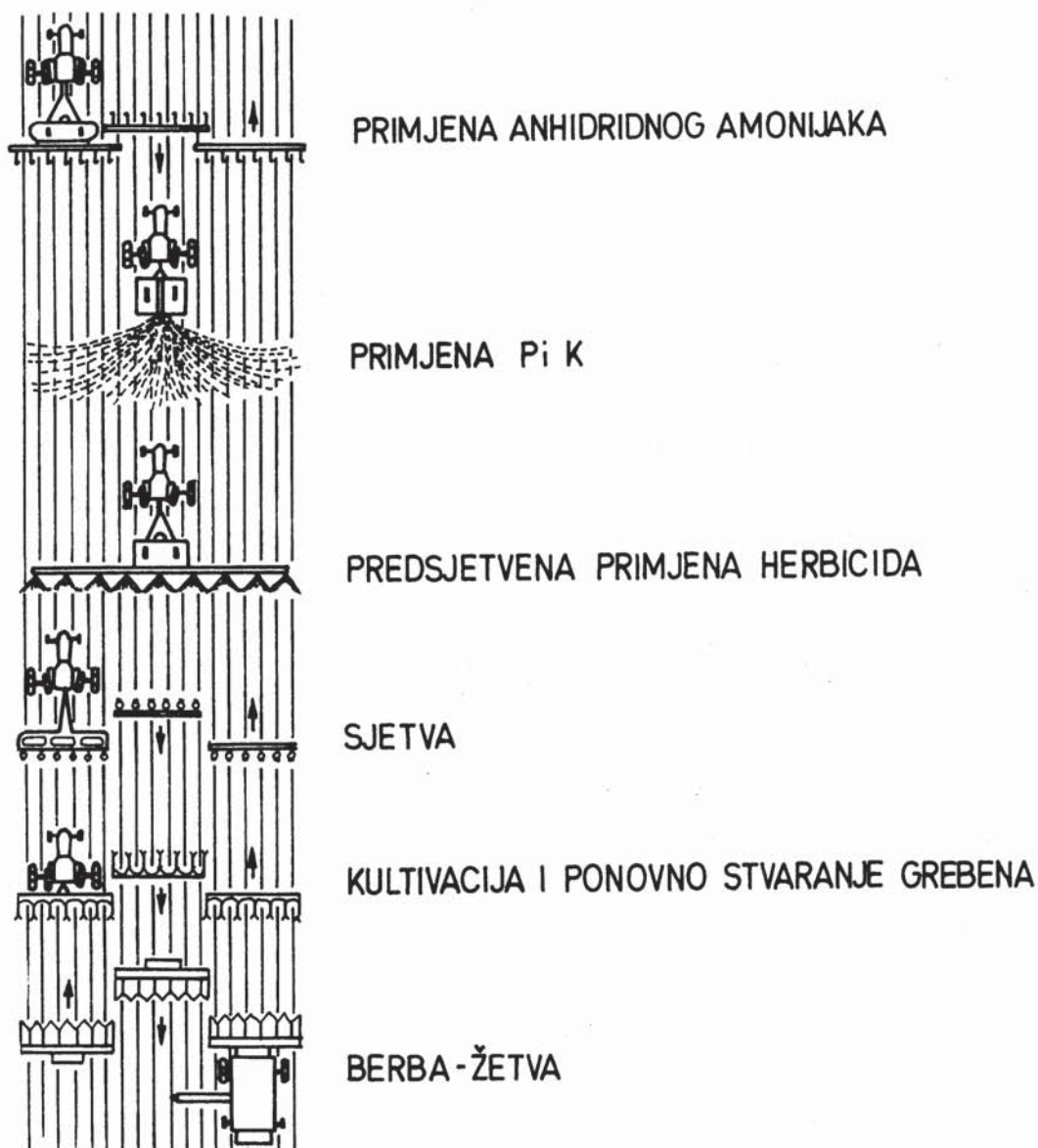
Negativni utjecaji zbijanja tla kotačima očituju se osobito pri sjetvi u široke kontinuirane redove (okopavine) u odnosu na razvoj usjeva i prinost, tim više što je površina koja se zbija kotačima veća, odnosno što je prostor između redova biljaka i zbijanja manji.

I na koncu, velike razlike u negativnom utjecaju zbijanja tla kotačima nastaju kada je riječ o faznom odnosno stadijskom razvitku usjeva. Bliže sazrijevanju usjeva negativni utjecaji su minimalni. Zbijanje u vrijeme žetve odnosno berbe ili nakon njih manifestirat će se na slijedećem usjevu. Bilo kakav promet u vrijeme klijanja može ozlijediti biljku.

#### MOGUĆI NAČINI SMANJENJA ZBIJENOSTI TLA

Postoji više načina da se smanji intenzitet gaženja tla poljoprivrednim strojevima ili da se smanje njihovi negativni utjecaji. Ponajprije, moguća je promjena sistema obrade tla ili izvedbe strojeva, tlo može postati rezistentnije na zbijanje, zbijanje može biti umanjeno ili se mogu uzgajati tolerantniji usjevi. navode se neke od ovih mogućnosti (Håkansson, et al., 1988).

**Obrada pomoću užeta (kabelska obrada).** Ovaj sistem obrade može u cijelosti riješiti problem zbijanja tla što se tiče gaženja kotačima. Prema israživanjima provedenim u Švedskoj dao je 26% više prinose nekih jarina (ječam, zob, pšenica, uljana repica, grašak) u usporedbi s traktorom kao izvorom vuče s jednostrukim zadnjim kotačima. U budućoj agrotehnici ovaj sistem mogao bi ponovo postati stvarnost.



Graf. 5. Vrsta prometa u 6-rednom sistemu obrade na grebenove (Parson et al., 1984.)

**Kontrolirani promet (gaženje).** U bliskoj vezi s kabelskom obradom su sistemi u kojima je sav promet ograničen na stalne prohode. Permanentni prohodi omogućuju također frekventnije poljske radove, koji su često kritični, npr. pri berbi svježeg povrća. Oni u sebi kriju i neke nedostatke.

**No-till sistem (izostavljanje obrade).** Primjenom ovog sistema broj se zahvata, pa s njima i ukupni promet, drastično smanjuje. Ako su prisutni prirodni procesi rahljenja,



primjena no-till sistema neće dovesti do problema zbijanja. Ako su pak oni manje aktivni (tla u kojima nema stezanja, nema smržavanja, niska biološka aktivnost), efekti zbijanja mogu se akumulirati tokom vremena. Pri korištenju ovog sistema potrebno je da se ostali poljski radovi obavljaju s dovoljno niskim specifičnim pritiskom, ali će prihvatljive sile zbijanja varirati s tlom, klimom i sistemom biljne proizvodnje.

**Vrijeme prometa (gaženja).** S obzirom da je sadržaj vode u tlu odlučujući faktor i s obzirom da se on često mijenja, vrijeme u kojem se odvija promet u polju vrlo je važno. Plodored bi zapravo trebao biti takav da se promet po polju svede na najmanju mjeru u toku humidnih razdoblja tokom godina. Gdje god je moguće, zahvate koji uključuju promet teških vozila, kao što su kalcifikacija i primjena stajskog gnoja, treba obaviti u suhim sezonama ili po smrznutom tlu. Pri tome od pomoći mogu biti dobre prognoze vremena.

**Primjena širokozahvatnog oruda i strojeva za poljske radove.** Širokozahvatna oruđa omogućuju da se pojedini zahvati obave pri povoljnoj vlažnosti tla. Oni omogućuju odgađanje zahvata kao što su finalizacija tla za sjetvu i sjetva dok se tlo ne prosuši nakon topljenja snijega ili oborina, odnosno da se završi berba i jesensko oranje u suhom razdoblju. Iako je ovo osobito važno u humidnim područjima, mjerljive vrijednosti u praksi dosta su rijetke. Nažalost, u suvremenoj poljoprivrednoj praksi širokozahvatno oruđe podržavaju istodobnu primjenu teških strojeva.

**Ograničenje osovinskog opterećenja.** Budući da velika osovinska opterećenja uključuju rizik dubokog zbijanja zdravice, a korist od podrivanja često je nesigurna, osovinska opterećenja treba ograničiti. Ograničenja treba uskladiti s lokalnim uvjetima. Za obradivo tlo ograničenje bi prema švedskim podacima moglo iznositi 6 t po osovini ili 8 do 10 t u tandemu kako bi se izbjeglo zbijanje dublje od 40 cm. U DDR preporuča se osovinski pritisak manji od 4 t. Bilo bi, dakako, korisno istražiti ove mogućnosti u našim uvjetima. S gumama niskog pritiska ili s udvojenim kotačima ovi limiti mogli bi biti nešto viši.

**Efikasno iskorištavanje kapaciteta traktora.** Optimiziranje veličine oruđa prema veličini traktora smanjuje negativne posljedice u tlu zahvaljujući intenzitetu prometa i klizanju kotača. U odnosu na traktore koji imaju vuču na dva kotača, oni s vučom na četiri kotača imaju prednost, jer se njihova cijela težina upotrebljava za vuču.

**Poboljšanje radne sposobnosti traktora.** Svako poboljšanje efikasnosti traktora, npr. poboljšanja transmisije ili pogonskih uređaja ili elektronske instrumentacije za monitoring traktorskih izvedbi može znatno poboljšati izvedbu traktora i smanjiti intenzitet prometa (t/km/ha) u vrijeme poljskih radova.

**Nizak specifični pritisak.** Na bilo kojem vozilu, viši i/ili veći i fleksibilniji pneumatici mogu imati niži tlak, odatle i niži specifični pritisak, te konzekventno tome, manje zbijanje tla. Ovisno o situaciji, praktično rješenje moglo bi biti u ekstra velikim gumama, udvojenim ili utrostručenim kotačima ili više osovina. U slučajevima u kojima je poželjna umjerena rekompakcija izoranog tla široki, udvojeni ili utrostručeni kotači mogli bi biti najbolje rješenje. Gdje su poželjne uske kolotečine prednost treba dati kotačima velikog promjera, tandem ili čak trostrukim osovinama. Za slabo zbijanje i dobro klizanje, pneumatici trebaju imati fleksibilna rebra i nizak tlak. Tlak u pneumaticima bi trebalo uvijek održavati što manjim i prilagoditi ga dominantnoj situaciji (teret, vuča, brzina itd.).

**Organizacija i planiranje prometa u polju.** Vađenje korjenjaka, primjena stajskog gnoja, materijala za kalcifikaciju i gnojiva, te drugih radova, uključujući teški transport, mora biti dobro organizirano. Ponovljeni prolazi u istom tragu normalno nanose manje štete nego prvi prohod i zato se preporuča višekратно korištenje istog prohoda. Kotači traktora i prikolice trebaju biti postavljeni na istu širinu. Kada je moguće, kapacitet

nosivosti vozila treba uskladiti s dužinom polja. Prepreke u polju treba ukloniti, a ulaz na polje treba otvoriti na više mjesta. Najteži transport treba ograničiti na stalne prohode. S obzirom na konstrukcijske razlike između cestovnih vozila i poljoprivrednih strojeva, teška vozila treba opskrbiti s dva seta kotača, jedan za cestu i dodatni set koji se koristi samo u polju.

**Velika brzina.** Prema nekim istraživanjima veća brzina može smanjiti zbijanje tla. Na oranici pri većoj brzini vozila se na izvjestan način odižu i u praksi velika brzina ne mora dovesti do očekivanog smanjenja zbijanja.

**Kombiniranje pojedinih zahvata.** Različiti zahvati koji se tradicionalno izvode odvojeno mogu se često kombinirati. Ova mogućnost prisutna je u našoj praksi, ali se čini da se još uvijek ne upotrebljava u dovoljnoj mjeri i racionalno, te s potrebnom imaginacijom.

**Teret kojega nose strojevi za žetvu, berbu i vadenje poljoprivrednih plodina i primjenu sredstava za zaštitu bilja.** Težina koju nose ovi strojevi stalno se povećava u usporedbi sa širinom, čime se povećava intenzitet prometa po zahvatu (t/km/ha). Smanjenje intenziteta prometa moglo bi se postići povećanjem širine zahvata, manjim kontejnerima za proizvode i usmjeravanjem transportnih vozila na stalne prohode.

**Konstrukcija lakih strojeva.** Mogućnosti su višestruke i vrlo izazovne. Navode se samo neke. Zamjena vučenih oruđa rotacijskim smanjuje potrebu tereta na traktoru s obzirom da je traktor najčešći stroj na oranicama. Primjena herbicida i gnojiva u manjim dozama može se obaviti lakšim strojevima, iako je praksa upravo suprotna. U Japanu, međutim, gdje su farme u prosjeku vrlo male, koriste se „ručni traktori“, i drugi laki strojevi za različite radove. Takva tendencija prisutna je i u Evropi, osobito Velikoj Britaniji.

Konstruiranje automatskih strojeva vjerojatno će prekinuti trend prema većoj težini. Jedna osoba može rukovati s više automatskih malih strojeva lakše nego jednim teškim strojem. Ovo će drastično smanjiti intenzitet prometa i kvarenje tla. Neće biti potrebno provoditi oranje u takvom automatskom sistemu, jer, ako on podrazumijeva samo lake strojeve, drastično će se smanjiti zbijanje tla, a prema tome i potreba za oranjem.

**Dreniranost.** U humidnim područjima dobra dreniranost je vrlo značajna za odstranjenje viška vode, pospješavanje sušenja tla i smanjenje njegove zbijenosti. Ponekad je potrebna cijevna drenaža pri korištenju teških strojeva, koja je nažalost, vrlo skupa.

**Usjev, gnojidba i kalcifikacija.** Usjevi duže vegetacije isušuju tlo i čine ga manje sklonim zbijanju. Biljni rezidui, stajski gnoj i druge organske tvari povoljno djeluju na bilancu humusa, isto tako gnojiva i kalcifikacija preko povoljnog djelovanja na razvoj usjeva, a jedno i drugo poboljšava strukturu tla. Utjecaj kalcifikacije na smanjenje zbijenosti je promjenljiv, često nesiguran.

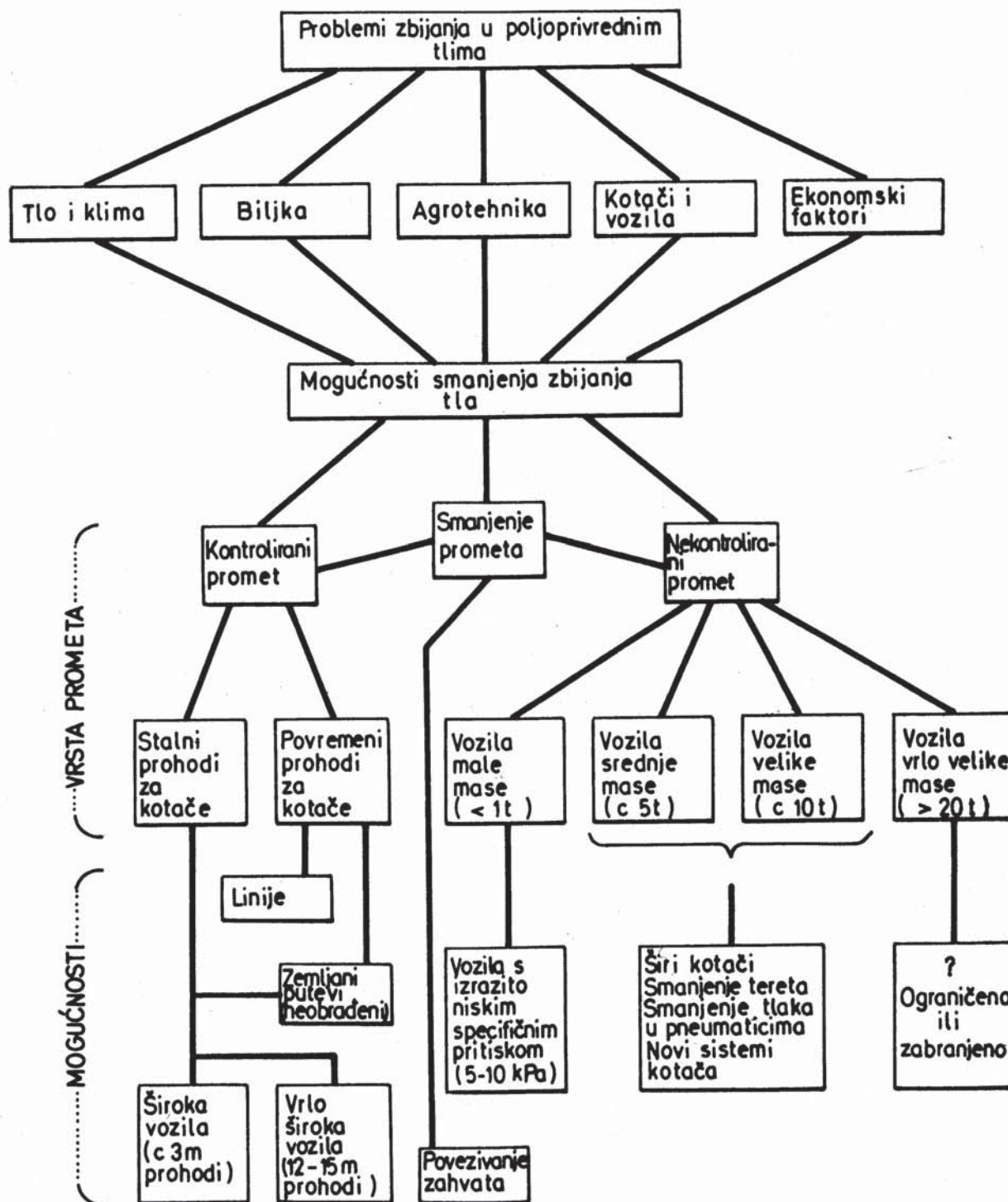
**Oranje i podrivanje.** Primjena herbicida umanjila je značenje oranja u suzbijanju korova. Sve intenzivniji promet, s druge strane, povećao je značenje rahljenja tla, pa je to danas često glavni razlog za oranje. Specifičan problem oranja lemešnim plugom je zbijanje kotačima traktora u otvorenoj brazdi. Dobit će se mnogo ako se ovo riješi. Podrivanje odnosno vertikalno dubinsko rahljenje da se ukloni zbijanje u zdravici često je pod znakom pitanja. Prema eksperimentalnim podacima reakcija biljke može čak biti negativna, osobito ako se promet drastično ne reducira.

**Pionirske biljke i tolerantni usjevi.** Među biljnim vrstama postoje razlike u njihovoj sposobnosti da penetriraju kroz tlo. Danas se čine naponi u pravcu upotrebe posebnih pionirskih biljaka u svrhu biološkog rahljenja zbijenih slojeva tla ili za formiranje kanala za korijenje koje će koristiti slijedećim usjevima. Biljne vrste, pa i pojedine sorte, različito su osjetljive na zbijenost mekote. Čini se da su pšenica, ječam i šećerna repa manje osjetljivi od repice i krumpira, kukuruz manje od soje. Ovo može utjecati na izbor usjeva

prema različitim režimima zbijenosti.

Diagramaska prezentacija nekih od mogućih opcija u smanjenju zbijanja vidljiva je iz shematskog prikaza (graf. 6, Soane et al., 1982).

Dakle, da bi se smanjilo ili uklonilo zbijanje tla, postoji više mogućnosti. Sve ih, dakako, nije moguće istodobno upotrebljavati. No, ako ih se uspješno, zlački i



Graf. 6. Pojednostavljeni dijagramski prikaz nekih raspoloživih mogućnosti smanjenja zbijanja u odnosu na faktore koji u cjelini utječu na sistem obrade tla (Soane et al., 1982.)

odgovorno sinhronizira i simultano primjeni do stupnja do kojeg je to objektivno moguće, uspjeh neće izostati.

## PRAVAC BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Pred svjetsku znanost, pa i našu postavlja se opsežan program budućih istraživanja. Koliko god ova istraživanja nosila atribute svjetskih, neminovni su određeni sadržaji koji podrazumijevaju provjeravanja u našim ekološkim uvjetima.

Osnovni cilj istraživanja trebao bi biti da se razvije tehnologija koja bi efikasno uklonila smetnje u biljnoj proizvodnji prouzročene antropogenim zbijanjem, što zahtijeva procjenu sadašnjeg stanja zbijenosti tla, kao i utvrđivanje ponašanja tala prema eksternim faktorima koji uvjetuju njihovo zbijanje. Nadalje, bilo bi potrebno razraditi postupke koji bi omogućili predskazivanje zbijenosti tla. Ne manje važno pitanje je utvrditi efekte koje imaju vuča i transport na zbijanje tla, kao i obratno, tj. kako zbijenost tla utječe na vuču i transport. Potrebno je dalje istražiti efekte zbijanja na napetost tla i kretanje vode, zraka, topline i otopina soli u tlu kao sistemu, zatim korisne i nekorisne efekte zbijanja na konzervaciju tla i vode, vrednovati zbijenost tla u pogledu biološke aktivnosti tla, uključujući korove, bolesti i štetnike, razraditi sisteme gospodarenja koji omogućuju stvaranje i održavanje povoljnog fizičkog stanja tla za biljnu proizvodnju i dr.

Istaknuli smo grubo, u osnovnim crtama, pravac budućih istraživanja bez namjere da prejudiciramo bilo koji od prioritenih odnosno aktualnih i akutnih zadataka u ovoj domeni, već da ukažemo na svu složenost i opsežnost ove problematike, koja, na žalost, u našoj zemlji gotovo nije ni zaživjela. No, problemi u nas ne samo da nisu manji nego u nekim zemljama s vrlo intenzivnom poljoprivredom, već ih u nekim svojim segmentima po ozbiljnosti i aktualnosti problematike znatno nadilaze.

## ZAKLJUČCI

Vrlo je teško postaviti jedno opće pravilo što se tiče značenja, utjecaja i posljedica zbijanja tla zbog kompleksnosti ovoga problema pri suvremenom korištenju poljoprivrednih površina u nas. Zbijanje tla zantno je prisutnije na površinama pri njihovom intenzivnom korištenju. Želja nam je bila da ovaj problem razmotrimo kompleksno i da ga rasvijetlimo s raznih aspekata. Potrebni su daljnji naponi, kako agronomske znanosti, tako isto i prakse, prve da usmjeri određene napore u pravcu njegove kompleksne znanstvene identifikacije i valorizacije, a, druge, da primijeni već sada poznate i prihvatljive mjere za njegovo ublažavanje, pa i uklanjanje. To znači da treba ograničiti zbijanje tla, to više što je klima humidnija, što su veći zahtjevi za povoljnom strukturom tla, što su manje prisutni aktivni prirodni faktori koji mogu ublažiti zbijanje (smrzavanje, sušenje, biološka aktivnost) itd.

Istraživanje ove problematike u svijetu je na zavidnoj znanstvenoj razini, što se, naravno, ne bi moglo postići bez financijske pomoći odgovornih državnih organa i zainteresiranih privrednika. Isti put neminovan je i u našoj zemlji, pa što prije, organizirano i smišljeno, pristupimo njegovoj realizaciji zaštitit ćemo naša tla - taj nezamjenjivi izvor ljudske egzistencije - od potpune degradacije njihove plodnosti.

## SUMMARY

Current plant production, both in agriculture and forestry, is accompanied by a number of degradation processes, covered by included in the general term anthropogenic degradation of the soil. Anthropogenic soil compaction is one of them, especially important in agricultural soils. The compacted layer retains a reduced air capacity, aeration and water permeability, as well as disturbed structure and water-air relations for a rather long time after compaction.

- There are various causes of anthropogenic compaction. First of all, it is a result of intensive land use in modern agricultural production, utilization of heavy machinery in basic tillage, a number of supplementary tilling practices as well as transport over the soil.

All over the world, increased attention is being paid to different aspects of anthropogenic compaction. Some observations and investigations point to the topical importance of this issue also in this country.

- This paper deals with some theoretical and practical aspects of soil compaction, the results of our investigations in model trials involving responses of field crops to compactness in certain soil types as well as the results of research done in other countries. The effects of compaction on the changes in the soil are analyzed, as well as the forms and intensity of land use in different farming systems. Ways of reducing soil compactness are discussed pointed out and guidelines are suggested for future investigation of anthropogenic soil compaction in Yugoslavia. A rational and organized approach to investigating this topic issue is recommended.

## LITERATURA

Bondarev, A.G., Dimo, V.N., Dolgov, S.I., Modina, I.A. i Kuznjeceva, I.V., 1974. Osnovne osobenosti složenija počv kak osnova sozdanija optimaljnih fizičeskikh režimov. Fizika i tehnologija počv.

Trudi X mežd. kongressa privovediv, str. 159-164, Moskva.

Bondarev, A.G., Rusanov, V.A., Medvedev, V.V., 1987. Zaključenie. U knjizi: Pereuplotnenie pahotnih počv, pp. 205-210, Moskva.

Butorac, A., Tomić, F., Turšić, I. 1975. Specifična volumna težina i intervali vlažnosti tla kao faktor u uzgoju ozime pšenice. Agron. glas., 7-8: 383-403.

Butorac, A., Turšić, I. 1978. Uzajamni odnosi zbijenosti tla i gnojidbe u uzgoju ozime pšenice i soje. Agron. glas. 4: 749-763.

Butorac, A., 1982. Proučavanje reakcije crvene djeteline (*Trifolium pratense* L.) i lucerne (*Medicago sativa* L.) u model pokusima na zbijenost tla u kombinaciji s gnojidbom. Polj. znan. smotra, 58:19-37.

Butorac, A., 1982. Reakcija jare zobi (*Avena sativa* L.) i ozime raži (*Secale cereale* L.) u model pokusima na zbijenost tla i gnojidbu. Polj. znan. smotra, 59:225-241.

Canarache, A., Chivulete, S., Colibas, I., Colibas, M., Horobeanu, I., Simota, S., and Trandafirescu, T., 1988. New field experimental research concerning induced soil compaction in Romania. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:215-220. Edinburgh.

Chamen, W.C.T., Vermeulen, G.D., Campbell, D.J., Sommer, C. and Perdok, U.D., 1988. Reduction of traffic induced soil compaction by using low ground pressure vehicles, conservation tillage, and zero traffic systems. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1: 227-232, Edinburgh.

Cohron, G.T., 1971. Forces causing soil compaction. U knjizi: Compaction of

agricultural soils, pp. 106-122. St Joseph, Michigan.

Daniel, H., Jarvis, R.J. and Aylmore, L.A.G., 1988. Hordpan development in loamy sand and its effects upon soil conditions and crop growth. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:233-238, Edinburgh.

Danielson, E.R., 1972. Nutrient supply and uptake in relation to soil physical condition. U knjizi: Optimizing the soil physical environment towards greater crop yields, pp. 193-221. New York.

Dikson, J.W. and Campbell, D.J., 1988. Conventional and zero traffic systems compared for winter barley and potatoes. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:239-244, Edinburgh.

Douglas, J.T. and Campbell, D.J. 1988. Conventional, low ground pressure and zero traffic systems in ryegrass grown for silage. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:245-250, Edinburgh.

Erbach, D.C., Melvis, S.W. and Cruse, R.M., 1988. Maize response to tractor traffic for seedbed preparation. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1: 251-256, Edinburgh.

Fawcett, R.G., Maynard, F.R., Pederson, N.R., and Hannay, J.N., 1988. The effect of traffic and other factors on wheat yields in South Australia. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:257-262, Edinburgh.

Gameda, S., Raghavan, G.S.V., McKyes, E., Watson, A., Mehuys, G. and Duval, J., 1988. Soil structure and crop response under heavy axle load compaction. Proc 11<sup>th</sup> ISTRO, Conf. vol. 1:263- 268, Edinburgh.

Gill, W.R. and Vanden Berg, G.E., 1967. Soil dynamics in tillage and traction. Poglavlje: Soil compaction, Washington.

Hammel, J.E., 1988. Influence of high axle loads on subsoil physical properties and crop yields in the Pacific Northwest, USA Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:275-280, Edinburgh.

Harris, W.L., 1971. The soil compaction process. U knjizi: Compaction of agricultural soils, pp 9-44. St. Joseph, Michigan.

Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S., V., Lovery, B., Van Wijk, A.L.M., Rasmussen, K. and Riley, H., 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Soil and Till Res., 10:259-268.

Håkansson, I., Voorhees, W.B. and Riley, H., 1988. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil and Till, Res., 11:239-282.

Hillel, D., 1980. Fundamentals of soil physics. London.

Hillel, D., 1980. Applications of soil physics. London.

Ide, G., Hofman, G., Ossemerct, C., and Van Ruymbeke, M., 1987. Subsoiling: Time dependency of its beneficial effects. Soil and Till Res., 10:213-223.

Koolen, A.J., 1987. Deformation and compaction of elemental soil volumes and effects on mechanical soil properties. Soil and Till Res., 10:5-19.

Kovačev, D., Stojnev, K., Todorov, F., 1972. Izučenie plotnosti počvi v svjazi s voprosami obrabotki počvi v Bolgariji. Mežd. nauč. simp. „Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi, str. 49- 68, Warszawa.

Kravčenko, V.I., 1986. Uplotnenie počv mašinami. Alma-Ata.

Kunze, A., Kaiser, M., Ermich, D., Buhtz, E. und Heinze, G., 1968. Zur Ermittlung der optimalen Lagerungsdichte des Bodens. Dokl. mežd. soveščanija „Problemi obrabotki počvi“, pp. 29-36, Varna.

Lacković, L., Beštak, T., Mihalić, V., Butorac, A., Folivarski, I., 1972. Utjecaj

dubine i načina osnovne obrade tla kao i pretkulture na veličinu specifičnog otpora tla i utroška goriva na svedem tlu na karbonatnom lesu. Zemlj. i biljka, 21:179-190.

Lowery, B. and Schuler, R.T., 1988. Effects and duration of compaction on soil and plant growth. Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:293-298, Edinburgh.

McCormack, D.E., 1987. Land evaluation that consider soil compaction. Soil and Till, Res., 10:21-27.

McKibben, G.E., 1971. Introduction. Compaction of agricultural soils, pp. 3-6. St. Joseph, Michigan.

Parish, D.H., 1971. Effects of compaction on nutrient supply to plants. U knjizi: Compaction of agricultural soils, pp. 277-291. St. Joseph, Michigan.

Racz, Z., Butorac, A., 1983. Utjecaj zbijenosti tla na rast, razvoj i prinos nekih kultura. Polj. znan. smotra, 62:491-500.

Raney, W.A., Adminster, T.W. and Allaway, W.H., 1955: Current status research in soil compaction. Soil.Sci. Soc. Am. Proc.

Rasmussen, K.J., 1976. Danish experiment on soil compaction. Proc. 7<sup>th</sup> Conf. ISTRO, pp. 321-324, Uppsala.

Rosenberg, N.S. and Willits, N.A., 1962. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison.

Roth, C.H., Meyer, B., Frede, H.G. and Derpsch, R., 1988. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an oxisol in Parana, Brazil. Soil and Till, Res. 11:81-91.

Sienkiewicz, J. i Gonet, Irena, 1972. Wplyw ciezaru objetosciowego gleby na plonowanie zboz jarych. Mezd. nauč. simp. „Sovremennije napravlenija v obrabotke počvi„ str. 39-48, Warszawa.

Sipos, S. 1968. Vlijanie poroznosti počvi na urožajnost seljsko-hazjajstvennih kuljtur i na effektivnost udobrenij. Dokl. mezd. sovešč., „Problemi obrabotki počvi„, str. 21-28, Varna.

Sipos, S., und Szirtes, Viktorija, 1972. Zusammenhange zwischen Bodenporenvolumen, Ertrag, Mineraldungerwirkung und Wassernutzung bei Mais und Winterzweizen. Mezd. nauč. simp. „Sovremennije napravlenija o obrabotke počvi„, str. 165-185, Warszawa.

Smierzchalski, L., 1972 Wplyv zageszenija gleby na planowanie niekatorych raslin zbozowych i okopawych. Mezd. nauč. simp. Sovremennije napravlenija v oprabotke počvi, str. 23-38 Warszawa.

Spoor, G., Miller, S.M. and Breay, H. T., 1988. Timeliness and machine performance benefits from controlled traffic systems in sugar beet.

Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:317-322, Edinburgh.

Soane, B.D. 1975: Studies on some soil physical properties in relation to cultivation. I: Soil physical conditions and crop growth, pp: 160-183, London.

Soane, B.D., Dickson, J.W. and Campbell, D.J., 1982. Compaction by agricultural vehicles: a review. II Incidence and control of compaction in crop production. Soil Till, Res., 2:3-36.

Taylor, H.M. 1971. Effect of soil strenght on seedling emergence, root growth and crop yield. U knjizi: Compaction of agricultural soils, pp. 292-305, St. Joseph, Michigan.

Trouse, A., 1971. Soil conditions as they affect plant establishment, root development, and yield. U knjizi: Compaction of agricultural soils, pp. 223-276, St. Joseph, Michigan.

Turšičš, I., 1982. Utjecaj zbijenosti tla i mineralne gnojidbe na prinos jarog ječma, Polj. znan. smotra, 58:39-47.

Voorhees, W.B. Johnson, J.F. and Randall, G.W., 1988. Maize growth and yield as affected by subsoil compaction and deep tillage, Proc. 11<sup>th</sup> ISTRO Conf., vol. 1:335-340, Edimburgh.

Woorhees, W.B., 1976. Plant response to wheat traffic-induced soil compaction in the Nothern Corn Belt of the United States. Proc. 7<sup>th</sup> Conf., ISTRO, pp. 441-446, Uppsala.

**Adresa autora - Autor's address:**

Prof. dr Anđelko Butorac  
Doc. dr Ferdo Bašić  
Institut za agroekologiju  
Fakultet poljoprivrednih znanosti  
41000 Zagreb, Šimunska 25