

# OSNOVE AGRİKULTURE

## FIZIKALNO-MEHANIČKA SVOJSTVA I PLODNOST TLA

izv. prof. dr. sc. Vesna Vukadinović  
akad. god. 2014./15.

## FIZIKALNO-MEHANIČKA SVOJSTVA TLA

Svojstva tla koja uvjetuju njegov odnos prema djelovanju vanjskih i unutarnjih mehaničkih sila.

Poznavanje ovih svojstava važno je za:

- procjenu uvjeta mehaničke obrade tla,
- izračun energetske gubitaka pri obradi,
- utvrđivanje optimalnih rokova pojedinih agrotehničkih i hidrotehničkih mjera popravaka (melioracija)
- izračun specifičnog otpora tla pri obradi i kretanju strojeva.

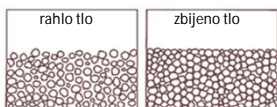
Uz optimalne vrijednosti ovih svojstava moguć je normalan razvoj biljnog korijena, kao bitnog preduvjeta visokih prinosa u ratarskoj, povrćarskoj, voćarskoj ili vinogradarskoj proizvodnji.

To su: zbijenost tla, plastičnost, ljepljivost, vezanost, čvrstoća, bubrenje, stezanje, otpor tla pri obradi.

## ZBIJENOST TLA

Zbijanje tla je proces nastanka zbijenih slojeva i horizonata djelovanjem pedogenetskih procesa ili antropogenizacijom.

Tijekom zbijanja mehanički elementi (čestice) tla se gušće pakiraju, strukturni agregati usitnjavaju, a ukupna poroznost smanjuje (najviše udio krupnih pora u kojima je zrak).

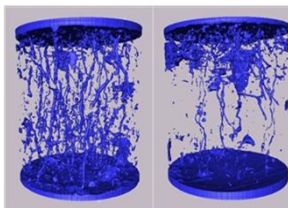


Prirodno zbijanje tla odvija se tijekom pedogenetskih procesa, npr.

- \* argilosinteza – proces sinteze (nastanka) gline,
- \* eluvijacija - ispiranje gline, humusa i seskvi oksida iz površinskih te akumulacija u dubljim horizontima,
- \* cementacija,
- \* stezanje (skupljanje) tla pri isušivanju i sl.

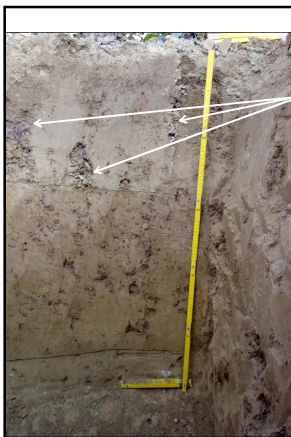
S agronomskog stajališta zbijanje tla je štetan proces deformacije poljoprivrednog zemljišta, jer snižava prinos poljoprivrednih kultura.

Tlo postaje zbijeno kada vrijednosti njegove ukupne poroznosti (P), a naročito poroznosti aeracije postaju vrlo niske što ima za posljedicu smanjenu ukupnu aeraciju. Ili kada tlo postaje jako tvrdo pa preostale kapilarne pore sprječavaju prodor biljnog korijena u dubinu i descedentno kretanje vode.

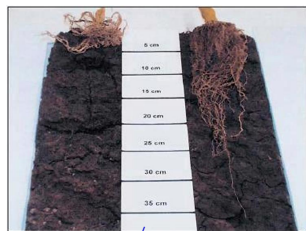


Slika prikazuje rahlo tlo (lijevo) i zbijeno (desno) na dubini 25 – 40 cm nakon 14 godina zbijanja.

Sustav pora u zbijenom tlu nema kontinuitet kao u rahlom.

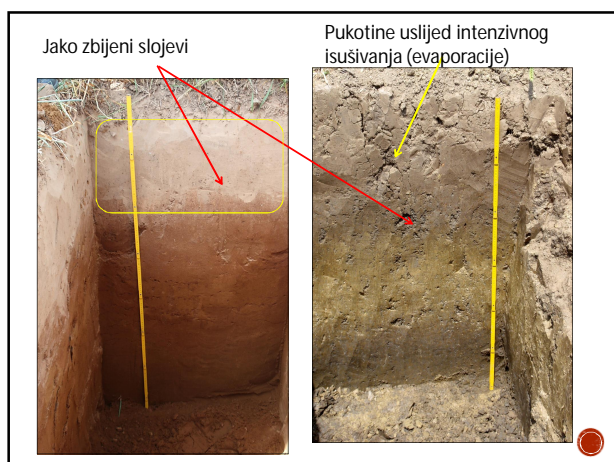


- u poljoprivrednoj proizvodnji jako zbijena ili tvrda tla pružaju veliki otpor prodiranju korijenovog sustava u tlo pri čemu dolazi do njegovog oštećenja i velikog gubitka energije.



- infiltracija vode značajno se usporava u jako zbijenim tlima, a posljedica je zadržavanje vode na površini, erozija i pojačano površinsko otjecanje
- pogoršavaju se zračni i toplinski režim tla zbog smanjenog volumena krupnih pora
- prinosi ratarskih usjeva mogu pasti za 10 – 50 % zbog nastalih problema u usvajanju hraniva i vode
- povećavaju se novčana ulaganja za fertilizaciju (gnojidbu), zaštitna sredstva i semenski materijal
- raste specifični otpor, intenzitet trošenja guma kotača (pneumatika) i radnih dijelova oruđa za obradu se povećava, a radna učinkovitost opada





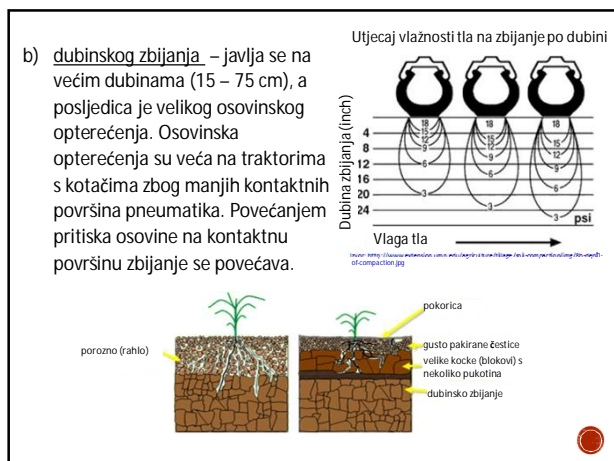
Uzroci zbijanja u poljoprivrednoj proizvodnji:

1. obrada tla pri stanju visoke vlažnosti
2. stalna obrada na istoj dubini
3. pulverzacija strukturnih agregata oruđima za obradu
4. pretjerano gaženje transportnim vozilima

Proces deformacije nepravilno raspoređenih čestica tla u zbijenu masu naziva se pudlanje (drobljenje). Zbijanje podpovršinskih slojeva može se dogoditi i uslijed povećane mase zbijenih površinskih slojeva tla.

Poljoprivredni strojevi i različita oruđa su uzročnici:

- a) **površinskog zbijanja** – u površinskom dijelu profila tla (najčešće do 15 cm dubine). Posljedica je pritiska koji na tlo vrše kotači i gusjenice poljoprivrednih strojeva. Ako su pneumatici većih promjera (veća dodirna površina s tlom) pritisak na tlo se značajno smanjuje.



Kontinuirana obrada poljoprivrednog zemljišta na istu dubinu zbija podoranične horizonte. Osjetljivost raste pri obradi jako vlažnog tla, slabo humoznog ili teksturno težeg (povećani sadržaj glinaste frakcije).

Nastaje „tabana pluga” – na dnu otvorene brazde formiraju se zbijeni proslojci tla uslijed kontaktnog pritiska ili klizanja kotača i radnih organa oruđa.

Posljedice „tabana pluga”:

- otežano procjeđivanje vode
- slaba aeracija
- otežan rast biljnog korijena



Granične vrijednosti penetracijskog otpora za rast korijena u dubinu su 3,6 MPa u oraničnom, odnosno 4,6 - 5,1 mPa u podoraničnom sloju tla.

U jako zbijenim tlima korijen uglavnom raste u pukotinama.

Posljedice zbijanja se uočavaju kroz:

- vidljive tragove kotača na površini tla
- slabo razgranati korijen, koji u zbijenoj zoni može biti zadebljan i povećan ili tanki, uvijen i spljošten. Pokazatelj zbijenosti tla je i horizontalni rast korijena.
- zadržavanje vode na površini tla, kao posljedica pokorice na površini ili zbijenih slojeva na nekoj dubini unutar profila tla
- povećani utrošak energije kod različitih agrotehničkih operacija
- slab porast biljaka uz vrlo česte promjene u boji lišća, kao i prijevremeno izazvani stres sušom
- smanjen prinos

Površina oranice nakon odvoženja šećerne repe



Otežano nicanje usjeva izazvano pokoricom na površini tla



Svojstva koja utječu na zbijenost poljoprivrednih zemljišta:

- poroznost
- tekstura tla
- struktura tla
- vlažnost

Jako porozna tla, fine teksture, slabo humozna i nestabilnih strukturalnih agregata su jako podložna zbijanju.

U suhom tlu se javlja trenje između čestica tla pa se ono znatno teže zbija od vlažnog. Razlog je što se u umjereno vlažnom tlu čestice lakše i brže premještaju te gušće pakiraju, nego u suhom tlu.

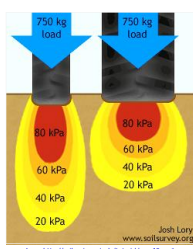
Maksimalno zbijanje je u situacijama kada se sadržaj vode u tlu kreće oko vrijednosti poljskog kapaciteta tla.



Mjere suzbijanja zbijenosti tla:

1. obrada tla u optimalnom intervalu vlažnosti
2. promjena dubine oranja
3. više agrotehničkih operacija u jednom proходу
4. formiranje „stalnih“ tragova kretanja poljoprivrednih strojeva
5. novi sustavi obrade (minimalna, konzervacijska, nulta ili reducirana obrada)
6. smanjivanje pritiska na površinu oranice uvođenjem strojeva širih pneumatika ili dupliciranjem (udvojanjem) kotača
7. smanjivanje osovinskih opterećenja
8. poboljšanje strukture tla

Utjecaj širine pneumatika na zbijanje tla



7. primjena dubokog oranja, podrivanja ili vertikalnog dubinskog rahljenja za razbijanje „tabana pluga“



Optimalno zbijanje tla uporabom gusjenica



## SLIJEGANJE I KONSOLIDACIJA TLA

Smanjivanje volumena pora, povećanje vanjskog vertikalnog opterećenja i ispiranje lakotopivih soli može dovesti do slijeganja tla. Uvijek je praćeno zbijanjem cjelokupne zemljišne mase.

Posljedica neravnomjernog slijeganja su neravnine na površini (otežana obrada, zadržavanje vode u mikrodepresijama, erozija vodom).

Veliku osjetljivost na slijeganje imaju navodnjavana tla nastala na lesu. Razlog je visoka poroznost lesa, kao matičnog supstrata, slaba hidrofilnost, ispiranje lakotopivih soli (naročito  $\text{CaCO}_3$  koji ima ulogu veziva u procesu nastanka strukturalnih agregata tla).



Posljedice slijeganja su:

- neravnomjerna raspodjela vode na navodnjavanoj površini
- neujednačen rast biljaka
- smanjeni učinci navodnjavanja

U pjeskovitim tlima slijeganje je brže nego u glinastim. Razlog je što čestice tla lakše dolaze u kontakt pošto im se suprotstavlja samo sila unutrašnjeg trenja. Količina vode u pjeskovitim tlima ne utječe na veličinu i brzinu slijeganja. U procesu slijeganja voda izlazi iz makropora, a ono završava prestankom djelovanja sila opterećenja.

U vlažnim i glinastim tlima nakon prestanka djelovanja sila opterećenja proces slijeganja se nastavlja kroz duži vremenski period. Pri tom se, djelovanjem konstatnog pritiska, istiskuje voda iz sitnih pora – proces se naziva **konsolidacija** (u nesaturiranom tlu to je proces zbijanja).



### ČVRSTOĆA TLA

Čvrstoća tla je dinamičko svojstvo uzrokovano vanjskim silama, a promjenjivo tijekom vremena. Predstavlja **maksimalno dopušteno naprezanje u određenom tlu prije pojave pucanja, drobljenja ili tečenja**.

Vrsta i oblik nastale deformacije ovisi o: teksturi, strukturi, vlažnosti, konzistenciji, načinu i brzini djelovanja vanjskih sila koje izazivaju unutarnja naprezanja, prethodnim deformacijama i sl.

Glavni uzrok deformacija u graničnom stanju ravnoteže su (Nonweiler, 1979.), pojave rotacije i međusobnih klizanja čestica ili agregata u tlu, koje je moguće uz prethodno savladavanje sila otpora među česticama tla.

U skeletnim i teksturno lakšim ili nekoherentnim tlima pretežno su to sile mase, dok u teksturno težim ili koherentnim tlima prevladavaju površinske sile na dodiru čestica.



Prema Hillelu u nesaturiranom tlu čvrstoća raste s povećanjem zbijenosti tla. A u tlu koje je potpuno ili djelomično saturirano vodom vibrirajuća naprezanja mogu izazvati gubitak koherentnosti (kohezije) pa tlo prelazi u tekuće stanje (pojava tiksotropije ili pseudoplastičnosti).

Engleski istraživači razlikuju:

- volumnu čvrstoću tla** – otpor kretanju između agregata tla. Raste pod utjecajem normalnog naprezanja, što znači da se volumna čvrstoća sastoji od kohezijskih sila i trenja između krupnijih čestica tla i agregata.
- čvrstoću agregata tla** – javlja se unutar strukturnih agregata kao posljedica vanjskih sila i deformacija izazvanih obradom i opterećenjem pri transportu na površini oranje. Obuhvaća molekularnu koheziju sa slabim unutarnjim trenjem ili praktično bez ikakvog unutarnjeg trenja agregata.



### Praktično značenje čvrstoće tla

**Volumna čvrstoća tla je optimalna** kod vlažnosti koja odgovara donjoj granici plastičnosti ( $w_p$ ). Tlo je prohodno, a niske vrijednosti čvrstoće agregata daju povoljne učinke obrade s najmanjim utroškom energije.

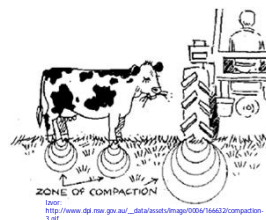
**Gubitkom vlage ispod  $w_p$  raste čvrstoća agregata**, što je povoljno sa stajališta nosivosti tla, međutim, kvaliteta obrade je lošija zbog teže drobljivosti agregata. Najjače je izraženo u glinastim tlima, jer ona imaju vrlo uski raspon povoljne vlažnosti za obradu, stoga se često nazivaju „minutnim tlima“. Rješenja su moguća povećanjem volumne čvrstoće tla pomoću dodatnih opterećenja traktora i priključnih oruđa.

**U mokrim i plastičnim tlima** javlja se klizanje i propadanje kotača traktora. Slične pojave su opisane kao **puđlanje**. Povećanjem kohezijske komponente volumne čvrstoće tla raste i dodirna površina s tlom. Praktično se to izvodi smanjivanjem pritiska u gumama ili udvajanjem kotača traktora.



**Prorahljivanje tla** provodi se pomoću raznih rovila i podrivača u prosušenom stanju tla i pri većim vrijednostima volumne i agregatne čvrstoće tla zajedno. Potrebno je smanjiti (reducirati) vertikalno naprezanje tla i volumnu čvrstoću tla, što se postiže koso položajem zupcima i drugim radnim tijelima priključnih uređaja i strojeva. Aktivni ili vibrirajući podrivač smanjuje nepovoljan utjecaj obje čvrstoće tla što olakšava rahljenje tla i smanjuje utrošak energije.

**Nosivost tla i osjetljivost na gaženje pri ispaši stoke** ovisi o čvrstoći i konzistenciji tla. Pritisak koji stvara sitna i krupna stoka je u rasponu 8 - 50 N, a pritisak kotača traktora 10 – 20 N. Horizontalna komponenta pritiska tla pri gaženju oštećuje izdanke mladih biljaka na livadama i pašnjacima.



U prirodnim tlima prorahljivanje je uvjetovano sušenjem i vlaženjem tla te smrzavanjem i odmrzavanjem agregata.

U antropogenim tlima te procese zamjenjuje mehanička obrada tla odgovarajućim strojevima. Masa tla podvrgnuta kontroliranom naprezanju i deformacijama.

Ocjena čvrstoće tla/zemljišta u zračno suhom stanju

Ocjena tla/zemljišta	Čvrstoća, MPa
Kompaktno	> 10
Velike čvrstoće (jako zbijeno)	5 - 10
Čvrsto (zbijeno)	3 - 5
Srednje čvrstoće (srednje zbijeno)	2 - 3
Srednje rastresito (srednje rahlo)	1 - 2
Rastresito (rahlo)	< 1



### KONZISTENCIJA TLA

**Konzistencija tla** je odraz djelovanja fizikalnih sila kohezije i adhezije unutar tla pri različitom sadržaju vode.

U pedološkoj klasifikaciji koherentni materijali se ubrajaju u teksturno teža tla povećanog sadržaja glinaste i praškaste frakcije. U suhom stanju takva tla su na dodir tvrda i kruta zbog čvršće povezanosti kohezijskim silama. Dodatkom vode prvo prelaze u polučvrsto ili drobivo stanje konzistencije tla. Nakon toga prelaze u plastično stanje, s povećanim djelovanjem adhezijskih sila vodene opne na površini čestica, a na kraju u tekuće stanje kada prestaju djelovati adhezijske sile.



Temeljni parametri konzistencije tla su:

- \* **granica stezanja ( $w_s$ )** odgovara sadržaju vode pri kojem tlo iz čvrstog (tvrdog) stanja prelazi u polučvrsto (polutvrdo). Približno odgovara graničnoj vrijednosti prekida kapilarnog kretanja vode u tlu kada ono poprima svjetliju boju.
- \* **donja granica plastičnosti ili granica plastičnosti ( $w_p$ )** – sadržaj vode u tlu kada ono prelazi iz polutvrdo u plastično stanje konzistencije, što omogućava modeliranje.
- \* **gornja granica plastičnosti ili granica tečenja ( $w_l$ )** – vlažnost pri kojoj tlo iz plastičnog prelazi u tekuće stanje, odnosno žitku masu.
- \* **granica ljepljivosti** – minimalna količina vode izražena u masenim postocima pri kojoj se tlo pripremljeno u obliku paste počinje lijepiti na čeličnu žicu koja se vuče po površini tla.

Pomoću granica plastičnosti i trenutne vlažnosti prirodnog tla ( $w_0$ ) mogu se odrediti:

1. indeks plastičnosti  $\rightarrow IP = w_L - w_p$
2. indeks konzistencije  $\rightarrow IK = \frac{w_L - w_p}{IP}$
3. indeks tečenja  $\rightarrow IL = \frac{w_0 - w_p}{IP}$

Gornja granica plastičnosti ( $w_L$ ) i indeks plastičnosti ( $IP$ ) rastu s povećanjem sadržaja glinastih čestica i aktivnosti gline. Najveći utjecaj na ove parametre imaju minerali gline smektitne grupe zbog bubrenja i velike specifične površine. U pjeskovitim tlima obje granice plastičnosti su niske i približno jednake pa je  $IP$  praktično jednak nuli. **Optimalni uvjeti za obradu tla su oko donje granice plastičnosti ( $w_p$ )**. Tada je najslabije djelovanje kohezije i adhezije u tlu. Stoga se količina vode kod  $w_p$  naziva „vlažnost fizičke zrelosti tla za obradu“. Veći sadržaj humusa povoljno djeluje na konzistenciju tla, jer povećava vlažnost kod donje granice plastičnosti te snižava  $IP$  i ukupnu plastičnost tla.

Indeks konzistencije ( $I_c$ ) upotrebljava se za procjenu konzistencije prirodnog tla i precizniju podjelu raspona plastičnosti. Vrijednosti indeksa konzistencije kreću se u granicama 1,0 - 0,0 između donje i gornje granice plastičnosti. Optimalni uvjeti vlažnosti i konzistencije tla za izvođenje hidro i agromelioracija se najčešće kreću oko i ispod donje granice plastičnosti, a to odgovara vrijednosti  $I_c = 1,0$ .

Nepovoljno stanje konzistencije tla traje dulje vrijeme u podoraničnim horizontima i povremeno u oraničnim horizontima na proizvodnim tablama sa širim razmakom drenskih cijevi i nepovoljnom odvodnjom. Na takvim tlima i parcelama usjevi propadaju zbog prekomjerne vlažnosti tla, dok nepovoljna konzistencija stvara niz poteškoća u berbi i obradi tla tijekom jeseni i proljeća.

Stanja konzistencije tla	$I_c$
Tekuće stanje	< 0
Plastično stanje	$0 < I_c < 1,00$
Polučvrsto stanje	$1,00 < I_c < 1,25$
Čvrsto stanje	$I_c > 1,25$

Indeks tečenja ( $IL$ ) određuje se na više načina. Predstavlja odnos viška vode iznad donje granice plastičnosti i indeksa plastičnosti. **Upotrebljava se za ocjenu dopuštenog opterećenja koherentnih ili teksturno težih tala.**

$IL < 0,0$	Tvrda tla
$IL = 0,0 - 1,0$	Plastična tla
$IL > 1,0$	Tekuća konzistencija tla

U oraničnim horizontima hidromorfni i hidromelioriranih tala Slavonije  $IL = 0,5 - 0,6$  (plastična tla smanjene nosivosti, nepovoljno).

U iluvijalnim horizontima antropogeniziranih lesiviranih i pseudoglejnih tala  $IL = 0,04 - 0,05$ . Ova tla imaju veću nosivost, međutim tvrda su, a to sprječava dublje zakorjenjivanje poljoprivrednih kultura.

### Boekelovi parametri

Potencijalna opasnost od stvaranja pokorice zbog nestabilne strukture

$$A = \frac{w_l}{K_v}$$

Potencijalna mehanička nestabilnost i osjetljivost tla na gaženje

$$B = \frac{w_p}{K_v}$$

Vrijednosti  $K_v$  su preračunate u masene postotke (% mas.) vode pomoću volumne gustoće tla.

Opasnost od stvaranja pokorice je manja što su veće vrijednosti  $A$  i što je širi raspon vlažnosti tla od poljskog kapaciteta tla za vodu ( $K_v$ ) do gornje granice plastičnosti ili tečenja ( $w_l$ ). Naprotiv, zbog obrade i nosivosti tla povoljniji je uži raspon vlage između  $K_v$  i donje granice plastičnosti ( $w_p$ ), s vrijednostima  $B$  oko jedinice ili nešto ispod nje. U površinskim horizontima raznih tipova tala Hrvatske  $A$  vrijednosti se kreću od 1,05 - 1,46, a  $B$  vrijednosti od 0,52 do 1,07.