Agrotehničke mjere popravke zbijenih tala

Knežević, Šime

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:572514

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Šime Knežević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Agrotehničke mjere popravke zbijenih tala

Završni rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Šime Knežević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Agrotehničke mjere popravke zbijenih tala

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof. dr. sc. Danijel Jug, mentor

2. Izv. prof. dr. sc. Irena Jug, član

3. Doc. dr. sc. Boris Đurđević, član

Osijek, 2017.

Završni rad naslova "Agrotehničke mjere popravke zbijenih tala", napisan je na temelju istraživanja u okviru VIP projekta financiranog od strane Ministarstva poljoprivrede.

Naslov VIP projekta: "Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena"

Voditelj projekta: prof. dr. sc. Danijel Jug

Trajanje projekta: 2012. – 2014.

Dio istraživanja proveden je na PG "Knežević", Čačinci.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Završni rad
Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer: Bilinogojstvo

Šime Knežević

Agrotehničke mjere popravke zbijenih tala

Sažetak: Zbijenost tla je jedan od najznačajnijih pokazatelja kvalitete tla, koji se ubraja u grupu fizikalnih parametara. Zbijenost tla se pored erozije ubraja u najrazornije i najopasnije djelovanje na tlo, koje utječe na agroekološki kompleks u cjelini. Zbijenost se može definirati kao interna i eksterna degradacija strukture tla uz povećanje gustoće, odnosno uz smanjenje njegove poroznosti. Pored direktnog negativnog utjecaja na uzgoj usjeva zbijenost tla utječe i na niz drugih fizikalnih, kemijskih, bioloških, mehanizacijskih, organizacijskih i ekonomskih parametara. Mjere popravke zbijenih tala uključuju dva osnovna pristupa, i to: preventivne mjere i direktne mjere. U današnje se vrijeme sve više vodi računa o prevenciji zbijanja tla primjenom različitih mjera i postupaka, a prvenstveno primjenom reduciranih i konzervacijskih sustava obrade tla. Na zbijenom tlu primjenjuju se različite agrotehničke mjere popravke u ovisnosti o stupnju zbijanja, raspoloživoj mehanizaciji i agroekološkim uvjetima. Najčešći oblik zbijanja tla u našim proizvodnim uvjetima je taban obrade (pluga i tanjurače), a najčešća i najučinkovitija mjera popravke je podrivanje.

Ključne riječi: zbijanje tla, mjere popravke tla, agrotehničke mjere, sustav obrade tla

27 stranica, 19 slika, 17 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek BSc Thesis
Faculty of Agriculture in Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course: Plant Production

Agrotechnical measures for improves of compacted soils

Summary: Soil compaction is one of the most important indicators of soil quality, which belongs in group of soil physical parameters. Soil compaction and soil erosion are the most dangerous soil threats, which affecting the whole agro-ecological complex. Soil compaction is internal and external degradation of the soil structure which increase the density, or decrease its porosity. In addition to direct negative impacts on crop production, soil compaction also affects a number of other physical, chemical, biological, mechanization, organizational and economic parameters. Measures of soil conditions improvement include two basic approaches: preventive and direct measures. Nowadays increasingly takes into account the prevention of soil compaction by using different measures and procedures, primarily by applying reduced and conservation tillage systems. On compacted soils, various agrotechnical repair measures can be are applied, depending on the degree of compaction, available mechanization and agroecological conditions. The most common form of soil compaction in our production area is the tillage pan (plow and disc), and the most common and most effective repair measure is subsoiling.

Key words: soil compaction, measures for soil improvement, agrotechnical measures, soil tillage systems

27 pages, 19 figures, 17 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agriculture in Osijek and in digital repository of Faculty of Agriculture in Osijek

SADRŽAJ

1. UVOD 1
   1.1. Cilj rada 2
2. ZBIJENOST TLA – UZROCI I POSLJEDICE 3
   2.1. Što je to zbijeno tlo 3
   2.2. Problematika zbijenog tla 4
      2.2.1. Povoljan utjecaj zbijanja tla *4*
      2.2.2. Nepovoljan utjecaj zbijanja tla *5*
   2.3. Načini zbijanja tla 8
      2.3.1. Prirodno zbijanje tla *8*
      2.3.2. Površinsko zbijanje - pokorica *9*
      2.3.3. Zbijanje uslijed obrade tla *10*
      2.3.4. Zbijanje kotačima *11*
3. AGROTEHNIČKE MJERE POPRAVKE ZBIJENIH TALA 13
   3.1. Utvrđivanje zbijenosti tla 13
      3.1.1. Štapna sonda *15*
      3.1.2. Štihača *16*
      3.1.3. Penetrometar *17*
   3.2. Prevencija zbijanja tla 18
   3.3. Odnos sustava obrade i zbijanja tla 19
   3.4. Posebni načini obrade tla 22
      3.4.1. Iznošenje pijeska na površinu tla *23*
      3.4.2. Miješanje horizonata tla *23*
      3.4.3. Primjena eksploziva *24*
4. ZAKLJUČAK 25
5. LITERATURA 26
6. POPIS SLIKA 28

1. UVOD

Poljoprivredno tlo kompleksna je prirodna tvorevina i medij za uzgoj poljoprivrednih usjeva. Njegova svojstva određena su mnogim parametrima a kao najvažnija treba istaknuti fizikani, kemijski i biološki kompleks. Sve tri navedene grupe parametara u uskoj su međuovisnosti, tako da je njihovo međudjelovanje ovisno o "kvaliteti" i "funkcionalnosti" svakog pokazatelja pojedine grupe parametara. Usklađenost ovih parametara direktno i indirektno utječe na produktivnost tla a što je usklađenost parametara veća, to je i kvaliteta tla veća. Kvaliteta tla, pored ostalih parametara, kao što su npr. klima, sortiment, tehnologija i dr., u konačnici utječe na visinu i kvalitetu prinosa (Jug i sur. 2015.).

Jedan od najznačajnijih pokazatelja kvalitete tla a koji se ubraja u grupu fizikalnih parametara je zbijenost tla. Definiranje zbijenosti tla je u suštini vrlo jednostavno, ali ne i jednoznačno. Zbijenost tla bi se najjednostavnije moglo objasniti kao degradaciju ili deagregaciju strukture tla, povećanje gustoće ili smanjenje poroznosti tla, djelovanjem eksternih ili internih sila opterećenja tla. Zbijenost poljoprivrednih tala predstavlja ozbiljan problem budući da su u međusobnu interakciju uključeni tlo, usjevi, klima/vrijeme te strojevi i oruđa. Njihova interakcija utječe na načine, oblike i jačinu zbijanja, te položaj zbijenih slojeva poljoprivrednih tala.

Značaj zbijanja i zbijenosti tla ne predstavlja samo ozbiljan problem i veliku prijetnju direktnom uzgoju biljaka i visini prinosa, već i nizu drugih "popratnih" elemenata i pokazatelja. Najznačajniji od njih su: erozija tla vodom i vjetrom (Kisić, 2016.), smanjena biogenost i bioraznolikost tla, potencijalno veći razvoj štetočinja i patogena, ograničenje vertikalne perkolacije vode (Jug i sur, 2017.), promjena reakcije i oksido-redukcijskog potencijala (Vukadinović i Vukadinović, 2011.), eutrofikacija, emisija stakleničkih plinova, veći utrošak energije na obradu, zahtjevnija obrada s mehanizacijskog aspekta, smanjena ekonomičnost proizvodnje i dr. Zbijenost tla se zajedno sa erozijom tla smatra najskupljim i najštetnijim utjecajem na okoliš, koji je uzrokovan konvencionalnom poljoprivredom i konvencionalnom obradom tla.

Kao što je rečeno, niz je razloga za zbijanje tla, a kroz povijest obrade tla i poljoprivrede, zbijenost je bila jedna od najznačajnijih ograničenja poljoprivredne biljne proizvodnje (Horn i sur., 2006.). Upravo je zbijenost tla jedan od najznačajnijih razloga (ima ih još) razvoja oruđa za obradu tla i tehnologija za njihovu primjenu. Tijekom cijele povijesti obrade tla pa sve do današnjih dana raznim se načinima želi umanjiti negativan utjecaj

zbijanja tla u biljnoj proizvodnji. Dok su se u prošlim vremenima mjere borbe protiv zbijanja tla svodile uglavnom na mjere popravka zbijenih tala, u novije se vrijeme sve više i u sve značajnijoj mjeri borba protiv zbijanja tla svodi na preveniranje ovakvog stanja (Jug i sur., 2009.).

Zbijenost tla u principu predstavlja podpovršinski problem (ali i površinski), a samim tim i slabije primjetnu ili potpuno golom oku nevidljivu pojavu. Zbog ovoga je problem zbijenosti tla potrebno rješavati studiozno primjenom odgovarajućih metoda lociranja, motrenja, preveniranja i u konačnici primjenom direktnih mehaničkih mjera popravka.

1.1.Cilj rada

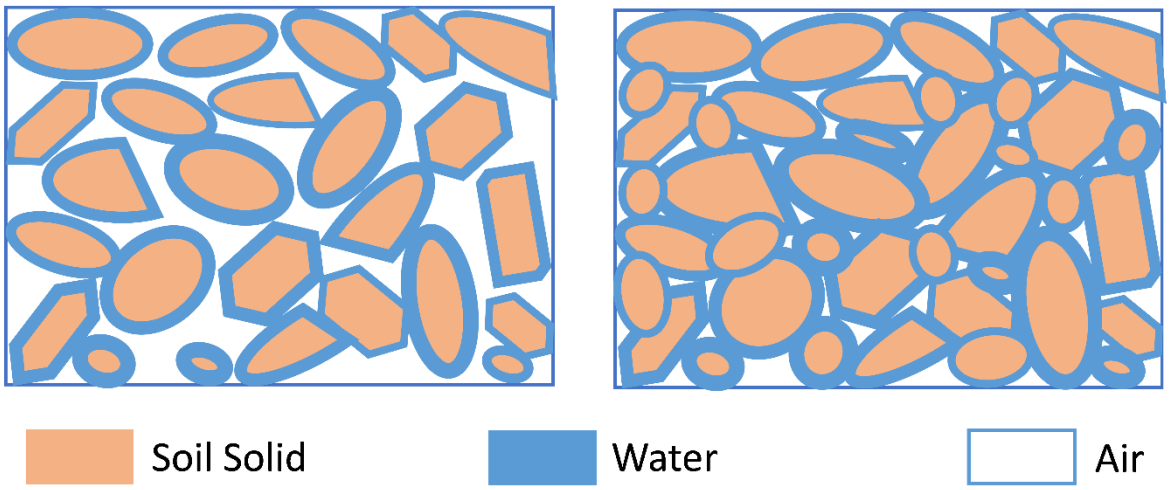
Zbijenost tla predstavlja značajan problem normalnog funkcioniranja poljoprivrednih tala i ozbiljnu prijetnju uspješnoj biljnoj proizvodnji. Zbog toga je cilj ovoga rada utvrditi osnovne načine, oblike i jačinu zbijanja poljoprivrednih tala, te definirati agrotehničke mjere i načine njihovog popravka.

2. ZBIJENOST TLA – UZROCI I POSLJEDICE

Koncept suvremene poljoprivrede, a time i biljne proizvodnje u današnje se vrijeme ne može zamisliti bez suvremene mehanizacije, traktora, priključnih strojeva i oruđa općenito. Između poljoprivredne mehanizacije, sustava biljne proizvodnje i zbijanja tla postoji uska uzročno-posljedična veza. Kako postoji trend da poljoprivredna mehanizacija iz godine u godinu postaje sve teža i veća, samim tim postaje veća i opasnost od zbijanja tla. Osim teške mehanizacije i sustav uzgoja biljaka ima značajnu ulogu u zbijanju poljoprivrednih površina, odnosno što je sustav intenzivniji to je zbijanje tla izraženije (Soane i Ouwerkerk, 1994.). Tako su najveća zbijanja tla zabilježena upravo na konvencionalnim sustavima. Zbijanje tla uglavnom je povezano s glavnim operacijama obrade tla, odnosno s primjenom teške mehanizacije koja može uzrokovati slabije ili jače narušavanje povoljnog stanja tla, a prvenstveno povoljne strukture tla (Butorac, 1999.). Ona je od iznimne važnosti zbog toga što utječe na zadržavanje, distribuciju i prohodnost vode, zraka i hraniva u ascedentnom i descedentnom smjeru i lateralno, a koji su nužni za pravilan rast i razvoj korijena odnosno cijele biljke. Zasigurno da zbijenost tla ima utjecaj na ekonomski status preko visine i kvalitete ostvarenih prinosa, ali u kojoj mjeri, teško je procijeniti obzirom na velika variranja sustava biljne proizvodnje, tipa tla, plodoreda, ali i vremenskih prilika.

2.1. Što je to zbijeno tlo

Preduvjet razumijevanja pojma "zbijeno tlo", prvo je potrebno razumjeti kako tlo "izgleda" odnosno kakav je njegov sastav. Tlo je sastavljeno od organskih i mineralnih tvari, te praznog prostora ispunjenog vodom ili zrakom. Prazan prostor još nazivamo i porama tla. Povezivanjem organskih i mineralnih čestica tla nastaju strukturni agregati, odnosno organo-mineralni kompleks. Mineralna komponenta tla sastoji se od različitih kombinacija mehaničkih elemenata tla; pijeska, praha i gline, koji zajedno čine teksturu tla. Ove se čestice (strukturni agregati tla), međusobno ne drže jakim silama, a okružene su porama, odnosno praznim prostorom, koji je popunjen zrakom u suhom tlu, vodom u saturiranom (mokrom) tlu i kombinacijom zraka i vode u vlažnom tlu. Dakle, s obzirom na sastav tlo se sastoji od čvrste, tekuće i plinovite faze. Sastav "idealnog tla" bio bi sa 50% čvrste faze, 25% tekuće i 25% plinovite faze. Do pojave zbijanja tla dolazi kada se čestice tla jako međusobno zbijaju, smanjujući prostor za zrak i vodu njihovim istiskivanjem (Slika 1.).



Slika 1. "Idealan" sastav tla (lijevo) i zbijeno tlo (desno)

(http://agrilife.org/texasrowcrops/2015/11/04/wet-weather-field-traffic-more-soil-compaction-reduced-nutrient-use-efficiency-and-yield/)

Sadržaj vode tla je kritičan faktor koji određuje potencijal nekog tla za zbijanje, odnosno što je tlo suhlje slabije je podložno zbijanju i obratno. Osim sadržaja vode na potencijal zbijanja tla u značajnoj mjeri utječe i mehanički sastav tla, odnosno što je veći sadržaj gline potencijal zbijanja se povećava. Isto tako, s povećanjem sadržaja pijeska potencijal tla na zbijanje se smanjuje.

2.2. Problematika zbijenog tla

Zbijenost tla ima poželjan i nepoželjan utjecaj na rast usjeva.

2.2.1. *Povoljan utjecaj zbijanja tla*

Lagano zbijeno tlo nakon sjetve može ubrzati klijanje i nicanje usjeva, jer se ostvaruje bolji kontakt sjemena s vlažnim tlom. Obično se zbog ovog razloga tlo lagano zbija tijekom obavljanja sjetve sijačicama. Ovaj se način zbijanja najčešće primjenjuje istovremeno sa sjetvom i to nagaznim kotačima sijačice na malom razmaku od sjetvenog reda. Zbijanje se može obavljati i po cijeloj sjetvenoj površini i to istovremeno sa sjetvom (Slika 2.), što je češći slučaj ili nakon sjetve kao zaseban radni zahvat. Ekonomska opravdanost je uvijek na

strani zbijanja tla istovremeno s obavljanjem sjetve. Zbijanje tla po cijeloj površini nakon sjetve obavlja se u slučaju kada sijačice nemaju nagazne kotače ili u slučaju sušnijih uvjeta tijekom sjetve.



Slika 2. Prikaz rada sijačice

(https://www.vaderstad.com/en/drilling/rapid-seed-drills/)

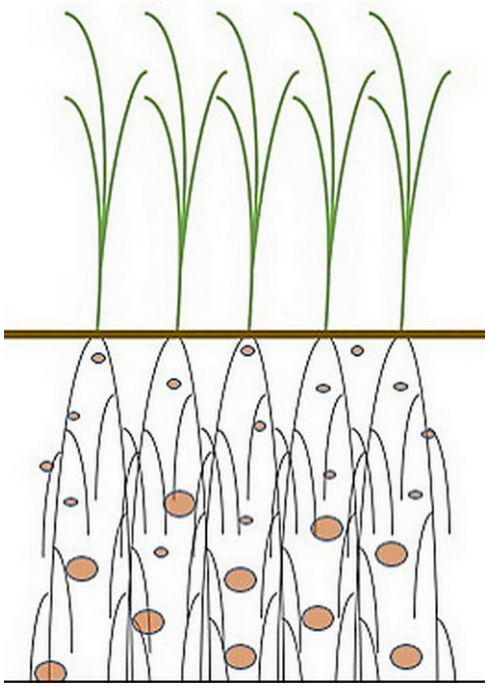
Pored nicanja, umjereno zbijeno tlo omogućuje bolje grananje i razvoj korijena biljaka, negoli je to slučaj kod izrazito rahlog ili izrazito zbijenog tla. Računa se kako je najbolja zbijenost tla za razvoj korijena pri gustoći tla od $\rho v = 1{,}2 – 1{,}5$ g/cm^3. Ova zbijenost u praksi odgovara stanju tla nakon dopunske obrade.

2.2.2. *Nepovoljan utjecaj zbijanja tla*

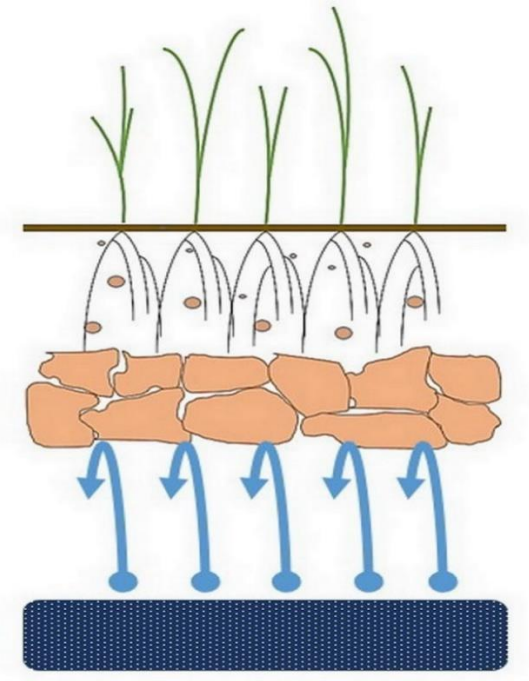
Dva najnepovoljnija utjecaja zbijenog tla koji direktno utječu na uzgoj biljaka, jesu:

- ograničen ili onemogućen rast i razvoj korijena i
- nemogućnost vertikalne distribucije vode u tlu.

Ekscesivno (jako) zbijeno tlo onemogućuje normalnu proliferaciju, odnosno grananje, rast i razvoj korijena. Slabije razvijen korijen ima smanjenu sposobnost usvajanja vode i hraniva, što se odražava na rast i razvoj biljaka. Na jako zbijenim tlima, a s obzirom na sadržaj vode u tlu, dva ekstrema (suša i stagnacija vode) izrazito negativno djeluju na rast i razvoj usjeva. Postojanje zbijenog sloja ispod površine tla u zoni ukorjenjivanja, dodatno negativno utječe na biljke. Problem je prvenstveno u tome što je biljkama, odnosno njihovom korijenju teško probiti zbijeni sloj u potrazi za vodom i hranivima u sušnim uvjetima (Slika 3. i 4.).



Slika 3. Dobro strukturirano tlo (Jug i sur., 2015.)



Slika 4. Loše strukturirano / zbijeno tlo (Jug i sur., 2015.)

Nadalje, na takvim se tlima često kao problem javlja i saturacija tla vodom u prevlažnim uvjetima, što dovodi do hipoksije i anoksije, odnosno slabijeg rasta i razvoja biljaka, a u krajnjem slučaju može dovest i do ugibanja biljke (Vukadinović i sur., 2014.), (Slika 5.).



Slika 5. Horizontalan rast korijena iznad zbijenog sloja tla (http://www.fssystem.com/Agronomy/News/Pages/Soil-Nutrient-Supply-to-Plant-Roots.aspx)

Osim ovih "glavnih" negativnosti, postoji niz tzv. indirektnih negativnosti koje iz njih proizlaze. Zbijanje tla dovodi do smanjenja veličine pora i normalnog odnosa zrak : voda, a samim tim i do snižavanja temperature tla, kao i do pravilne opskrbe biljaka i vodom, zrakom i biljnim hranivima (Slika 6.). Navedeno utječe na smanjenu brojnost i aktivnost mikroorganizama tla, što se, dakako, negativno odražava na dekompoziciju, a samim tim i na otpuštanje biljci pristupačnih hraniva. Nepravilna distribucija hraniva u obradivom dijelu tla podjednako je loša i na presuhom i na prevlažnom tlu, budući da ih biljke podjednako teško usvajaju.



Slika 6. Saturirano tlo (Izvor: osobno, Knežević, 2014.)

Nadalje, zbijenost smanjuje infiltraciju vode u tlo što dovodi do pojačanog površinskog otjecanja uzrokujući štete od vodene erozije, koja je naročito opasna na nagnutim terenima (Kisić i sur., 2005.). Smanjeni sadržaj kisika na zbijenim tlima negativno utječe na sam mehanizam biljaka, što povećava rizik od biljnih bolesti (Slika 6.). U ovakvim je uvjetima često prisutan i intenzivniji porast korova, kao i razvoj štetnika. Svi navedeni faktori dodatno utječu na povećani stres biljaka, što u konačnici rezultira smanjenjem visine i kvalitete prinosa.

2.3. Načini zbijanja tla

Budući da je tlo rastresita prirodna tvorevina nastala djelovanjem pedogenetskih faktora kroz procese pedogeneze, i sustav s karakterističnim fizikalno-mehaničkim, kemijskim te biološkim svojstvima, ono je podložno raznim promjenama. Procesi nastanka tla ubrajaju se u vrlo spore promjene i nazivamo ih *prirodne promjene*, jer se odvijaju pod utjecajem prirodnih procesa. Procese koji se odvijaju pod utjecajem čovjekovog djelovanja nazivamo *antropogenim promjenama*, i ove su promjene uglavnom snažne, intenzivne i brze. Jedan od najvažnijih čimbenika tih promjena, koji su direktno vezani (odgovorni), za degradaciju fizikalnih svojstava tla je upravo zbijanje tla. Iako se zbijanje tla odvija i djelovanjem prirodnih procesa, ova se degradacija najčešće povezuje s čovjekovim djelovanjem u određenim agroekološkim uvjetima kao što je npr. obrada tla, prihrana i zaštita usjeva i žetva u uvjetima suvišne vlažnosti tla (Soane i Ouwerkerk, 1994.).

2.3.1. Prirodno zbijanje tla

Ovaj način zbijanja tla gotovo redovno je vezan uz tla teškog mehaničkog sastava s visokim sadržajem gline po cijelom profilu ili u nekom od svojih horizonata (Slika 7.). Ova glinasta tla su daleko podložnija zbijanju nego tla lakšeg mehaničkog sastava s više pijeska i praha. Također, tla s većim udjelom praha i u agroekološkim uvjetima s većom količinom oborina, sklona su ispiranju. Dugotrajnim procesima eluvijacije (ispiranja) praha dolazi do formiranja podpovršinskog zbijenog sloja.



Slika 7. Podpovršinska zbijenost horizonta tla

(https://www.agric.wa.gov.au/soil-compaction/identifying-soil-compaction)

U prirodne procese zbijanja poljoprivrednih tala ubrajaju se procesi slijeganja tla uslijed oborina i to prvenstveno kišom, ali i snijegom. Ovaj oblik zbijanja tla je možda i najvidljiviji golim okom budući da na površini gotovo redovno dolazi do formiranja pokorice. Pri velikim količinama oborina dolazi do zasićenja tla vodom i istiskivanja zraka. Ovaj proces je daleko opasniji u vegetacijskom nego u izvan vegetacijskom razdoblju jer može doći do gušenja biljaka.

2.3.2. Površinsko zbijanje - pokorica

Tla lošijeg mehaničkog sastava obično su i lošije agregirana. Ovakva su tla posebno osjetljiva na stvaranje pokorice, prvenstveno uzrokovane kišom, a naročito u godinama s izrazito velikom količinom oborina. Nastala pokorica tijekom vegetacijskog razdoblja može utjecati na otežano nicanje mladih biljčica, a ako je njena debljina veća može se dogoditi da biljčice ostanu zarobljene ispod zbijenog sloja i uguše se (Slika 8.).



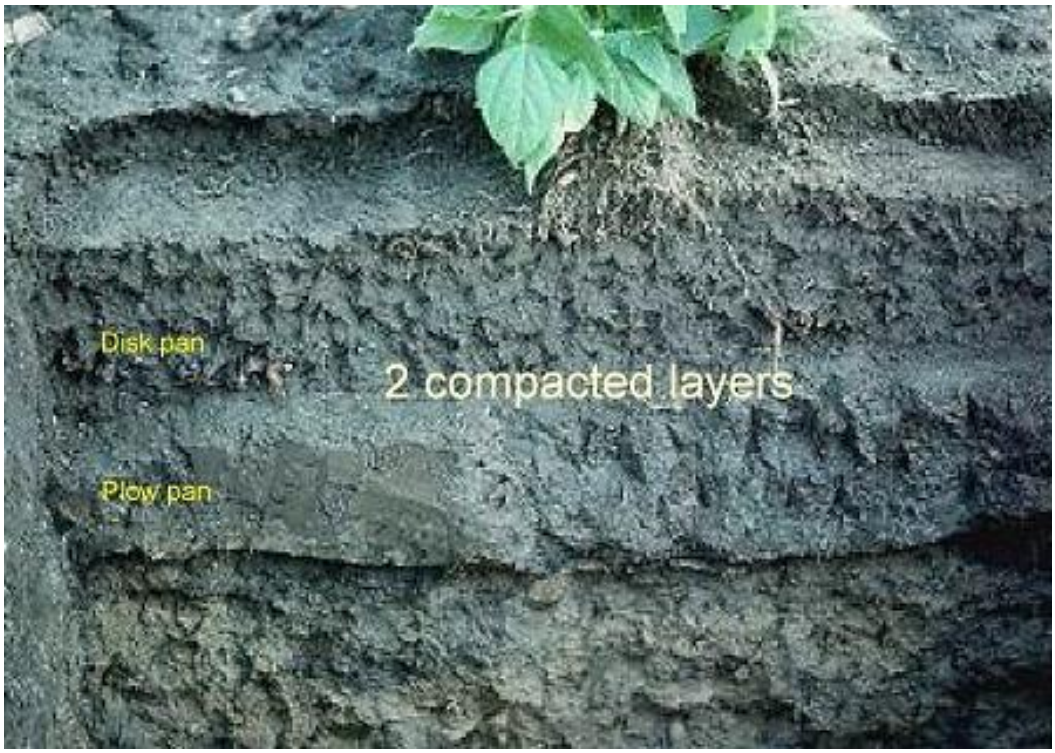
Slika 8. Pokorica i početni porast usjeva (Izvor: I. Jug prema Jug i sur., 2015.)

Biljni ostaci na površini tla ili vegetacija, djeluju vrlo pozitivno na izbjegavanje stvaranja pokorice, dok je na "golom" tlu onemogućeno normalno izbijanje klice na površinu tla, s tim da nije rijetkost da se zasijane površine na kojima se razvila jaka pokorica moraju

"presijati". Zbijanje tla formiranjem pokorice ubraja se u antropogeno zbijanje budući da je čovjek neadekvatnom obradom tla omogućio destruktivno djelovanje oborina.

2.3.3. Zbijanje uslijed obrade tla

Zbijanje tla obradom izrazito je učestao oblik antropogenog destruktivnog djelovanja na tlo. Antropogeno zbijanje tla pod utjecajem je nepravovremene ili nekvalitetne obrade, kao i suvišnog gaženja poljoprivrednih površina tijekom obrade, tijekom vegetacije ili izvan vegetacijskog razdoblja (Horn i sur., 2000.). Najizraženija i najučestalija posljedica antropogenog zbijanja tla je pojava *tabana obrade* (Slika 9.), odnosno *tabana pluga* i *tabana tanjurače*, sa svim negativnostima koje proizlaze i koje se uočavaju tijekom vegetacije (kada je već kasno za bilo kakvu ozbiljniju intervenciju popravke tla) i izvan vegetacijskog razdoblja (kada je najbolje vrijeme za primjenu odgovarajućih mjera popravke tla).



Slika 9. Taban tanjurače i taban pluga

(http://articles.extension.org/pages/18634/use-of-tillage-in-organic-farming-systems:-the-basics)

Indikatori koji ukazuju na zbijenost tla najlakše se uočavaju tijekom vegetacije, odnosno na dijelovima površine ili cijeloj površini tla, na kojima može ležati voda, ili su biljke slabije razvijene. Uporaba oruđa koja režu tlo, kao što je plug ili tanjurača, djeluje na zbijanje tla, a naročito ako se njima kontinuirano obrađuje u istom smjeru, a što je još važnije na istu dubinu. Zbijeni sloj može biti debeo i po nekoliko cm. Potencijal stvaranja "tabana obrade" daleko je veći na vlažnom nego na suhom tlu, a njegovim postojanjem reducira se efektivna dubina razvoja korijena čime se direktno utječe na rast i razvoj biljaka.

2.3.4. Zbijanje kotačima

Ovaj oblik zbijanja tla može se podijeliti na dva tipa – plitko i duboko zbijanje. *Plitko zbijanje* se definira kao bilo koje zbijanje u zoni obrade tla i ono je obično privremenog, odnosno sezonskog karaktera i popravlja se uobičajenom obradom tla (Slika 10.). *Duboko zbijanje* se definira kao zbijanje dubljih slojeva tla, odnosno ispod razine uobičajene obrade tla. Ono je uzrokovano primjenom teških strojeva i oruđa, odnosno maksimalnim osovinskim opterećenjima (Horn i sur., 2000.). Zbijanje tla na većim dubinama je vrlo teško eliminirati a može i trajno promijeniti strukturu tla, zbog čega je za ovaj tip zbijanja izrazito važna prevencija. Zbijanje na većim dubinama smatra se dugoročnom prijetnjom produktivnosti tla.



Slika 10. Površinsko zbijanje tla pneumaticima traktora

(https://www.bkt-tires.com/around-bkt/blog/post/soil-compaction-how-to-avoid-it)

Zbijanje tla na većim dubinama tijekom dužeg vremenskog razdoblja utječe na:

- pristupačnost vode biljkama,
- pristupačnost i usvajanje glavnih biljnih hraniva, a posebice dušika i kalija,
- rast, razvoj, visinu i kvalitetu prinosa,
- odgoda sjetve, žetve ili neke druge radne operacije zbog sporijeg sušenja tla.

Zbijanje na većim dubinama obično se događa u vrijeme berbe/žetve u jesenskom razdoblju, kada su poljoprivredne površine obično vlažne ili mokre, a po tlu se prometuje teškim strojevima i priključnim oruđima.

3. AGROTEHNIČKE MJERE POPRAVKE ZBIJENIH TALA

Zbijena tla opterećena su nizom problema koji direktno i indirektno utječu na njegov fizikalno-mehanički, kemijski i biološki kompleks. Popravak ovakvih tala predstavlja često puta pravi izazov, a posebice ako se zna da je ponekada dosta teško na vrijeme uočiti zbijenost tla. Ovisno o tipu zbijenosti tla, ono se ponekada rješava vrlo jednostavnim zahvatom obrade tla, a ponekada su ti zahvati izrazito kompliciranI, skupi i dugotrajni. Zato je uvijek najbolji put sprječavanje nastanka zbijanja tla. Problemu popravke zbijenih tala treba pristupati pažljivo i na temelju prethodno pomno isplaniranih aktivnosti. Prvi korak u provedbi mjera popravka je utvrđivanje zbijenosti tla.

3.1. Utvrđivanje zbijenosti tla

Utvrđivanje zbijenosti tla mjera je koja se u praksi najčešće primjenjuje tek nakon problema vidljivih na poljoprivrednim proizvodnim površinama. Zbijena tla imaju puno simptoma, a indikatori koji ukazuju na zbijenost najlakše se uočavaju tijekom vegetacije, odnosno na dijelovima površine ili cijeloj površini tla. Najčešći znakovi koji mogu upućivati na zbijenost tla su:

- vidljivi tragovi kotača u usjevu,
- zadržavanje vode na ravnoj ili blago nagnutoj površini tla (Slika 11.),
- jaka vodena erozija na površini s blagim nagibom,
- deformirano korijenje (najčešće raste i razvija se horizontalno umjesto vertikalno),
- povećana potrošnja energenata pri obradi tla u odnosu na uobičajenu potrošnju (potrebno više snage),
- usporen rast biljaka (zbog vode i/ili hraniva),
- heterogen porast usjeva na poljoprivrednoj površini,
- neugodan miris tla (zbog anaerobnih uvjeta),
- spora mineralizacija žetvenih ostataka (slabo aerirano tlo),
- smanjenje prinosa.

Utvrđivanje zbijenosti tla obavlja se primjenom jednostavnih metoda i tehnika, ali ono zahtjeva strpljivost i točnost. Na temelju dobivenih podataka i utvrđene razine zbijenosti tla, mogu se donijeti odluke o potrebnim mjerama popravke tla, te o primjeni odgovarajuće tehnike i tehnologije, odnosno sustava obrade tla.



Slika 11. Zbijenost kotačima traktora uzrokuje ležanje vode na površini tla u usjevu

(http://www.soilpro.eu/en/life/soilmonitoringinsicilyfirst)

Prema Jug i sur. (2015.) pri utvrđivanju zbijenosti tla tri su osnovna parametra koja je potrebno utvrditi, i to:

- rahlost tla u zoni ukorjenjivanja

  (postojanje zbijenog sloja tla se utvrđuje u sloju od 0 do 50 cm, a to je dubina ukorjenjivanja glavne mase korijena),
- dubina nastanka zbijenog sloja

  (ovaj pokazatelj upućuje na uzrok i način formiranja zbijenog sloja, odnosno je li on nastao obradom ili gaženjem. Što je zbijeni sloj bliže površini tla to je njegova štetnost veća, budući da će ukorjenjivanje biljaka biti pliće),
- debljina zbijenog sloja

  (debljina zbijenog sloja indikator je koji upućuje na težinu oštećenja tla i razinu rizika koji se može očekivati. Obično se uzima kako sloj debljine do 0,5 cm ne

predstavlja značajan rizik, dok sloj debljine preko 5 cm predstavlja izrazito veliki rizik koji može uzrokovati pad prinosa i preko 40%).

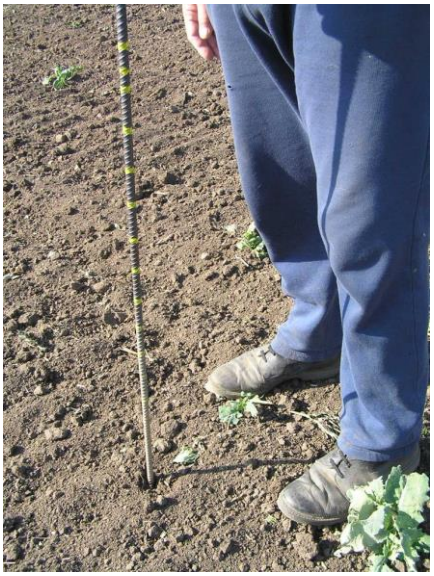
Utvrđivanje debljine i dubine zbijenog sloja tla može se obaviti na nekoliko načina, a najčešće su upotrebi štapna sonda, štihača i penetrometar.

3.1.1. Štapna sonda

Ovo je jedna od najjednostavnijih metoda utvrđivanja položaja i debljine zbijenog sloja. Štapna sonda je ustvari metalna šipka debljine 8-9 mm i duljine 100-120 cm, s oznakama na svakih 5 ili 10 cm, šiljasta na vrhu, a može se izraditi u tvornici (Slika 12.) ili u kućnoj radinosti (Slika 13.). Radi na principu laganog utiskivanja u tlo (silom od oko 60 kg). Na mjestu gdje štapna sonda "zapne", tamo počinje prvi zbijeniji sloj. Tada ga treba primiti pri površini tla i izvući. Zbrajanjem udaljenosti zareza može se odrediti dubina na kojoj se nalazi zbijeni sloj. Slijedeći korak je utiskivanje štapne sonde kroz taj zbijeni sloj, a zatim ju na početku sljedeće zapreke treba ponovno izvući i utvrditi dubinu (brojanjem razmaka na svakih 5 cm), čime se utvrđuje početak drugog zbijenog sloja. Način utvrđivanja zbijenosti je po principu dijagonalnog kretanja po površini i utiskivanje štapne sonde na svakih 10 – 20 m, u ovisnosti o utvrđenim simptomima zbijenosti. Štapna sonda uvijek se mora utiskivati ravnomjerno kako se ne bi dobila kriva očitanja i krivo izveo zaključak.



Slika 12. Štapna sonda tvorničke izrade (Jug i sur., 2015.)



Slika 13. Štapna sonda izrađena u kućnoj radinosti (Jug i sur., 2015.)

Utvrđivanje zbijenosti štapnom sondom može se provoditi u više navrata, a najmanje 2-3 puta godišnje. Idealni termini određivanja zbijenosti jesu: odmah nakon prašenja strništa, zatim nakon obavljanja sjetve i treće tijekom vegetacije u punom porastu usjeva.

Nakon određivanja zbijenosti, stanje tla se ocjenjuje kao:

- *vrlo dobro*, ako se sonda može lagano utisnuti u tlo do 40 cm dubine na bilo kojem dijelu parcele,
- *dobro*, ako se zbijeni sloj pojavljuje između 30-35 cm dubine,
- *osrednje*, ako se zbijeni sloj tla nalazi na dubini od 20-25 cm,
- *nepovoljno*, ako sonda u tlo ne prodire dublje od 10-20 cm, na bilo kojem dijelu parcele.

3.1.2. Štihača

Test na zbijenost tla štihačom također se ubraja u jednostavne načine ispitivanja, a obavlja se štihačom standardnog ili pravokutnog oblika (Slika 14.). Termini obavljanja testa jesu isti kao i kod testiranja štapnom sondom. Po parceli se obično obavlja 10-tak proba, a po potrebi i više.



Slika 14. Utvrđivanje zbijenosti tla štihačom (Jug i sur., 2015.)

Postupak testiranja provodi se tako da se štihačom označe kvadrati, zatim sa sve četiri strane štihaču utisnemo do kraja. Štihačom izvađeni uzorak položimo na tlo i izmjerimo dubinu. Zatim se ispita struktura i vlažnost tla, te eventualna pojava tragova gnječenja, zbijeni sloj od tanjuranja (taban tanjurače), potražimo hodnike gujavica, žetvene ostatke i prebrojimo gujavice. Za provjeru podoraničnog sloja tla, odnosno utvrđivanje eventualnog zbijenog sloja (taban pluga) često je potrebno ići u dubinu na jednu i pol do dvije duljine štihače.

Nakon testiranja stanje zbijenosti tla se ocjenjuje kao:

- *dobro*, ako je cijeli uzorak dobre mrvičaste strukture, nema zbijenog sloja, ali ima odgovarajući broj gujavica i njihovih hodnika,
- *osrednje*, ako se uz veći pritisak uzorak raspadne na veće ili manje grude, nema jače zbijeni sloj, sadrži manji broj hodnika gujavica,
- *nepovoljno,* ako se u uzorku nalazi tvrdi, zbijeni sloj, teško ga je razlomiti (i kada ga bacimo na tvrdu podlogu), nema hodnika gujavica, a istodobno ima nerazgrađenih ili pljesnivih žetvenih ostataka,

3.1.3. Penetrometar

Utvrđivanje zbijenosti tla penetrometrom ubraja se u najpreciznije načine određivanja, a jedini nedostatak je što aparati za njegovo mjerenje mogu biti skupi. Penetrometri u osnovi mogu biti mehanički ili elektronički (Slika 15. i 16.).





Slika 15. Mehanički penetrometar (http://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=14824)

Slika 16. Elektronički penetrometar (https://www.vanwalt.com/penetrologgers.php)

Ovim se aparatima ustvari određuje mehanički otpor tla na probijanje sondom. Mjerenja se obično mogu obavljati do dubine od 80 cm, s preciznom razdiobom mjerenja od 1 do 5 cm. Uporaba penetrometra je u svojoj primjeni vrlo jednostavna, a da bi rezultati mjerenja bili pouzdani i vjerodostojni, odnosno da se ne bi donijeli krivi zaključci, uz mjerenje otpora tla obavezno se mora mjeriti i vlažnost tla. Otpori se izražavaju u MPa, a mogu se prikazivati u realnom vremenu na displeju uređaja (ovisno o modelu). Princip rada je vrlo sličan radu štapnom sondom. Nakon utvrđivanja otpora tlo se obično rangira u prema sljedećim graničnim vrijednostima (Silva i sur., 2000.):

- 1-2,5 MPa: povoljno rahlo stanje, nema zbijenih slojeva,
- 2,5-3,0 MPa: osrednje zbijeno stanje, postoji zbijeni sloj,
- >3,0-5,0 MPa: jako zbijeno stanje, postoji izraziti zbijeni sloj.

3.2. Prevencija zbijanja tla

U današnjoj suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji potpuno izbjegavanje zbijanja tla je gotovo nemoguće postići, ali ga je moguće svesti na što je moguće manju mjeru. Kao jedna od najvažnijih mjera za smanjenje zbijanja tla je izbjegavanje obrade tla ili prometovanja po tlu uopće dok je ono prevlažno ili mokro (Butorac i sur., 2006.), (Slika 17.).



Slika 17. Jako zbijanje kotačima na mokrom tlu

(https://heidismist.wordpress.com/tag/nationales-kompetenzzentrum-boden/)

Najbolji primjer ovoga je možda izgleda površine tla nakon vađenja šećerne repe u jesen, jer se vađenje, manipulacija i transport šećerne repe vrlo često odvija na prevlažnom tlu, po kojem još nekontrolirano prometuje veliki broj strojeva ali i kamiona. Izbor oruđa obrade tla predstavlja vrlo bitnu stavku u prevenciji zbijanja. Ovo posebno dolazi do izražaja ako znamo da plug i tanjurača dovode do stvaranja "tabana obrade", a naročito ako se duži niz godina obrađuje na istu dubinu. Oranjem se također u tlo inkorporira previše žetvenih ostataka što negativno djeluje na niz drugih procesa i pojava u tlu (erozija, biota tla…). Kako bi se što više smanjilo tlačenje teškim strojevima i oruđima po jedinici površine tla, trebalo bi odabirati šire pneumatike, kao i udvojene kotače, ali i smanjiti osovinski pritisak. U prevenciji zbijanja tla vrlo važnu ulogu ima i odabir pravilnog sustava obrade tla, odnosno primjena reduciranih i konzervacijskih sustava obrade tla (Birkas i sur., 2011.). Teoretski gledano, najmanje zbijanje tla biti će na tlu na kojem se najmanje prometuje, a to bi u ovom slučaju bio sustav direktne sjetve, odnosno izostavljena obrada tla. Pored navedenog i neki posebni načini obrade utječu na prevenciju zbijanja tla i to na način da se određenim mjerama i postupcima utječe na korekciju mehaničkog sastava tla odnosno njegovu teksturu.

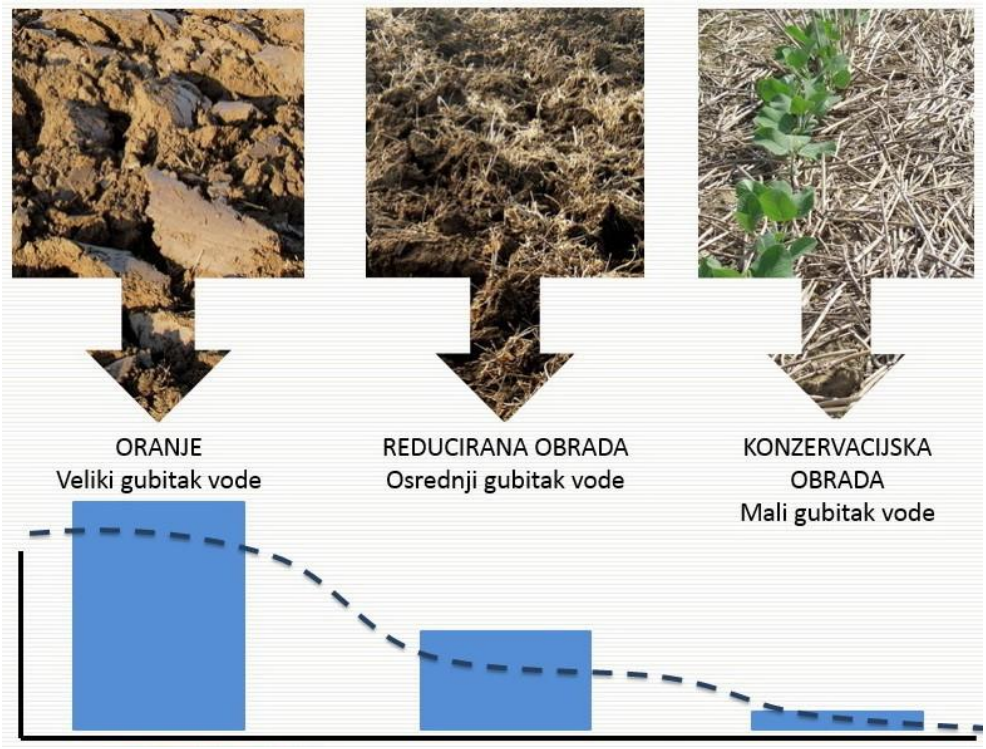
3.3. Odnos sustava obrade i zbijanja tla

Osnovni zadatak svake obrade tla je u ostvarivanju i zadržavanju potrebnih uvjeta i stanja za optimalan i nesmetan rast i razvoj uzgajanih usjeva. Ovakvo stanje se između ostaloga postiže kvalitetnom obradom tla, kojom se mora osigurati povoljna rahlost, prozračnost, povoljan kapacitet za vodu, procjednost, povoljna i nesmetana opskrbljenost lako pristupačnim hranivima i organskom tvari, povoljna biogenost i dr. Svaki od navedenih faktora u uskoj je uzročno-posljedičnoj vezi sa svim ostalim faktorima. Odnosno, nezadovoljavajuća razina kvalitete jednog od faktora direktno ili indirektno utječe na ostale, što u konačnici može imati negativan utjecaj na krajnji cilj svake biljne proizvodnje – ostvarivanje prinosa (Kassam i Friedrich, 2011.).

Negativni učinci zbijanja tla posebno su istaknuti frazom "pretjerano zbijanje tla teškom mehanizacijom iziskuje pretjeranu obradu još težom mehanizacijom", te kroz svoj nepovoljan utjecaj na rast i razvoj biljaka, u ranim fazama, postaje sve veći agroekološki

problem. Stoga je glavni zahtjev današnje poljoprivredne biljne proizvodnje usklađivanje svakog pojedinog sustava obrade tla sa agroekološkim uvjetima uzgojne sredine ali u skladu sa zahtjevima biljke u uzgoju.

Različiti sustavi obrade tla, kao što su konvencionalna obrada tla, reducirana obrada tla i konzervacijska obrada, različito utječu na stanje zbijenosti tla poljoprivrednih tala (Busari i sur., 2015.). Intenzitet zbijanja tla gaženjem prvenstveno ovisi o optimalnom stanju vlažnosti tla (konzistenciji), njegovom mehaničkom sastavu, primijenjenoj mehanizaciji i sl. (Slika 18.). Niti jedan od navedenih sustava nije idealan, već se svaki od njih u određenim agroekološkim uvjetima, ponaša na specifičan način. Koji od navedenih sustava odabrati, obzirom na gaženja i shodno tome zbijanja tla, ovisi o filozofiji u pristupu obradi tla i načinu uzgoja poljoprivrednih kultura.



Slika 18. Tri osnovna sustava obrade tla (Jug i sur., 2017.)

Konvencionalni sustavi obrade tla za ozime i jare kulture, u našim agroekološkim uvjetima podrazumijevaju primjenu osnovnih i dopunskim zahvata obrade tla, a samim tim i veći broj prohoda traktorima, odnosno strojevima i oruđima po obradivim površinama (Jug i sur., 2010.). Međutim, pri ovom sustavu obrade tla prisutan je godišnji ciklus zbijanja i rahljenja tla, koji djeluje psihološki i na prvi mah djeluje "ohrabrujuće", jer se "tlo ipak

razrahli svake godine tijekom zimskog razdoblja", te se ne uočavaju odmah degradirajući procesi ovakvih zahvata.

Za razliku od prethodnog sustava, reducirani i konzervacijski sustavi obrade tla, nemaju godišnjeg ciklusa zbijanja i rahljenja, te se u prvi mah stječe dojam da se tlo kontinuirano zbija svake godine, odnosno da "postaje tvrdo kao beton". Poznato je da ovo kao činjenica ne stoji, jer tlo svoju maksimalnu napetost (zbijenost) postiže već za 2-3 godine, iza čega može doći samo do smanjenja ukupne zbijenosti tla, odnosno rahljenja tla.

Općenito pri reduciranim sustavima obrade tla, kao i direktnoj sjetvi, postoje dva osnovna pristupa u rješavanju problematike pretjeranog zbijanja površinskih i podpovršinskih (dubinskih) zbijanja tla. Prvi je primjena stalnih tragova u vegetacijskoj sezoni ili čak tijekom više godina, a drugi je primjena strojeva i oruđa sa širokim pneumaticima i s nižim tlakom u kotačima, kako bi opterećenje na tlo bilo ravnomjernije raspoređeno po tlu. Zbijanje tla će u svakom slučaju biti manje pri reduciranim i konzervacijskim sustavima nego na konvencionalnoj obradi tla, jer je prisutan i manji broj prohoda strojevima i oruđima po poljoprivrednim površinama.

Površinsku i plitku pod površinsku zbijenost tla nastalu prirodnim procesima ili agrotehničkim zahvatima (obrada, transport, zaštita i dr.), obično se može popraviti ili ublažiti laganim oruđima kao što su npr. drljače, kultivatori i rahljači. Rahljenjem *chisel* oruđima vrlo uspješno se može popraviti zbijeno tlo na manjim dubinama. Međutim, popravljanje zbijenih slojeva na većim dubinama obično pripada u teže zahvate, i gotovo redovno kao mjeru popravka uključuje *podrivanje* (Slika 19.).



Slika 19. Podrivač u radu (Izvor: osobno, Knežević, 2013.)

Primjena podrivanja preporuča se samo u slučajevima kada su prinosi limitirani postojanjem zbijenog sloja na većim dubinama. Pozitivan učinak provedenog podrivanja je reverzibilan proces, a koliko će on potrajati do "povratka na staro", ovisi o mnogočemu, a prvenstveno o kontroli prometovanja po tlu, primjeni konzervacijske / reducirane obrade tla, plodoredu, itd. Učinci podrivanja i rahljenja nisu dugog vijeka, skupi su i zahtijevaju dosta uloženog vremena i truda, stoga ove mjere popravka, a posebice podrivanje, treba provoditi samo prema potrebi.

Najbolji učinak podrivanja obično se postiže pri dubini od 70-80 cm, ali u ovisnosti o stanju tla postoje i odstupanja. Dubina rada podrivača i razmak njegovih radnih elemenata trebaju biti usklađeni, a u pravilu razmak ne bi trebao biti veći od 75-85 cm. Povećanjem razmaka izostaje učinak rastresanja i rahljenja tla. Smatra se kako je radni učinak podrivanja dobar ako se površina tla izdigne za oko 15 cm u odnosu na prethodnu razinu. Pravac kretanja podrivača treba biti pod kutom od 45^{o} ili 90^{o} u odnosu na liniju uobičajenog smjera obrade tla. Na nagibima većim od 5% postoji opasnost od erozije, pa se pravac kretanja podrivača treba prilagoditi smjeru okomitom na nagib terena. Odabir podrivača uvelike ovisi o cijeni podrivača, snazi traktora, veličini gospodarstva odnosno obimu prosječnog iskorištenja tog oruđa i sl. U osnovi postoje dva tipa podrivača: kruti i vibracijski. Kruti podrivači su jednostavnije izrade, lakši su u podešavanju, dugotrajniji su u eksploataciji, ali je njihov učinak rastresanja i rahljenja tla manji u odnosu na vibracijske podrivače. Najbolji učinak podrivanja ostvaruje se podrivačima s tri ili četiri radna elementa, ali su za njihovu primjenu potrebni traktori veće snage (obično 150-200 kW). Ovi su traktori teški te mogu dodatno jače sabiti tlo pa je njihova primjena opravdana samo na koherentnim, dobro prosušenim tlima. Podrivanje kao mjera popravke zbijenih tala nikada se ne smije obavljati po mokrom tlu. Dnevni učinak ovih podrivača je od 10-20 ha, ovisno o stanju tla i dubini rahljenja, što predstavlja vrlo dobar radni učinak, a posebice ako se uzme u obzir kako je povoljno stanje za obradu ovakvih tala obično vrlo kratko.

3.4. Posebni načini obrade tla

Pretpostavka jačeg zbijanja tla je nepovoljan mehanički sastav, odnosno veći sadržaj gline u obradivom, ali i u podobradivom sloju. Popravljanjem mehaničkog sastava ostvaruju se

preduvjeti za povoljniji rast i razvoj poljoprivrednih biljaka, odnosno smanjuje se potencijal za zbijanje tla. Neki od posebnih načina obrade ubrajaju se preventivne mjere zbijanja tla, a to su u prvom redu:

- iznošenje pijeska na površinu tla,
- miješanje horizonata tla,

dok se primjena eksploziva ubraja u mjere popravke tla i to je ujedno najagresivnija mjera popravke tla koja se primjenjuje u poljoprivredi (Jug i sur., 2015.).

3.4.1. Iznošenje pijeska na površinu tla

Ova se metoda još naziva "pjeskarenje" ili "pjeskanje", a primjenjuje se radi popravljanja teksturnog (mehaničkog) sastava tla Primjena ove metode moguća je samo na tlima na kojima se u njegovim dubljim slojevima nalazi sloj pijeska. Ovaj je zahvat zbog svoje specifičnosti izrazito skup, a svoje opravdanje može imati samo na tlima koja u svom obradivom sloju imaju puno gline. Postupak izbacivanja pijeska na površinu provodi se specijalnim strojem, koji radi na principu beskonačne pužnice. Pijesak koji se na taj način izvuče, na površini se raspoređuje u sloju debljine 3-5 cm. Nakon toga tlo se obrađuje nekim od rotacijskih oruđa, kako bi se izbačeni pijesak što bolje homogenizirao s površinskim slojem tla. Primjena pijeska u popravci nepovoljnog mehaničkog sastava može se provoditi i na druge načine (npr. dovoženjem pijeska) ili prirodnim putem poplavama.

3.4.2. Miješanje horizonata tla

Ova se mjera provodi u slučajevima kada uslojenost profila tla nije zadovoljavajuća u uzgoju biljaka. Princip rada je miješanje horizonata tla, ali na način da tlo ostaje na mjestu *in situ*, a ne da se nepovoljni slojevi iznose na površinu tla. Ovdje se površinski, plodni sloj tla ostavlja na mjestu, a niži slojevi se međusobno zamijene, tj., kvalitetniji sloj obradivog sloja se prebacuje preko nepovoljnog sloja. Za tu se namjenu koriste specijalna oruđa, tzv. *krilni dubinski rahljači*, koji na donjem dijelu imaju proširenje poput krila, pa im otuda i naziv. Radna dubina im se kreće oko dva metra, a radni elementi su položeni pod kutom od 45^{o}. Pod ovim kutom, radni elementi podižu teksturno lakše tlo (pijesak) do visine krila i tu ga ostavljaju, a na "prazno mjesto" dolazi teksturno teže i nepovoljnije tlo. Prednost ovog postupka je u tome što teksturno lakše tlo smješteno odmah ispod oraničnog sloja,

omogućuje lakše procjeđivanja vode u dublje slojeve. Kao i prethodno opisani postupak i ova je metoda također skupa, masivna i energetski vrlo zahtjevna.

3.4.3. Primjena eksploziva

Prije primjene ove metode potrebno je vrlo precizno utvrditi stanje tla, odnosno položaj i debljinu zbijenih i nepropusnih slojeva, budući da primjena eksploziva u poljoprivredi pripada u najradikalnije, najagresivnije i najučinkovitije mjere rahljenja tla. S primjenom eksploziva se niti jedna druga metoda ne može uspoređivati, a posebice ako se zna da primjena eksploziva ima dugo rezidualno djelovanje. Ova se mjera koristi isključivo u melioracijske svrhe ili kao njihova supstitucija. Eksploziv se koristi za razbijanje vrlo kompaktnih slojeva tla, koji se ne mogu razrahliti nekim drugim i uobičajenijim mjerama melioracijske obrade tla. Njegova je primjena učinkovita i u razbijanju, odnosno uništavanju sloja *sljepljenca* (ortštajna), koji onemogućava kretanje vode i hraniva. Prije primjene eksploziva, po površini tla se može razbacati kompost ili zreli stajski gnoj, koji nakon eksplozije vrlo dobro homogenizira s tlo, te se na taj način potiče bioaktivacija tla.

Prije upotrebe bilo koje od navedenim posebnih načina obrade tla, s ciljem popravke zbijenih ili nepropusnih slojeva tla, potrebno je dobro razmotriti koje su to prednosti koje možemo ostvariti njihovom primjenom, jer su to redom vrlo skupi i zahtjevni zahvati.

4. ZAKLJUČAK

Jedan od najznačajnijih ograničavajućih (limitirajućih) faktora u postizanju povoljnog stanja tla u uzgoju ratarskih usjeva je zbijenost tla. S obzirom na sve veće zahtjeve suvremene poljoprivrede za primjenom sve većih i težih strojeva i oruđa ona postaje sve izraženiji problem. Zbijenost tla umanjuje njegovu proizvodnu sposobnost (infiltracija i zadržavanje vode, slabija raspoloživost hraniva, slabije ukorjenjivanje, itd.), nekada i do granice ekonomske održivosti.

Uslijed intenzivnog korištenja i obrade tla vlada stalni trend narušavanja svih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla. Uslijed brojnih prohoda u osnovnoj i dopunskoj obradi teškim strojevima i oruđima, te uslijed stalne ili podjednake dubine provedbe zahvata obrade tla, gotovo redovno dolazi do pojave nastanka tabana tanjurače i tabana pluga, kao najčešćih oblika zbijenosti tla. Ove negativne procese destrukcije tla treba obavezno prekinuti i to smanjivanjem broja prohoda teškim strojevima i oruđima, a posebice pri nepovoljnom stanju vlažnosti.

Najučinkovitiji način borbe protiv zbijenosti tla je njegovo izbjegavanje, odnosno primjena niza mjera prevencije, kao što je primjerice obrada tla s variranjem dubine, popravka mehaničkog sastava tla, primjena optimalnog sustava obrade tla. Tako primjenom reduciranih i konzervacijskih sustava obrade tla, u usporedbi s konvencionalnim, dolazi do smanjenja pokrivenosti površine tla prohodima pneumatika strojeva i oruđa odnosno do smanjenja zbijanja tla.

Mjere popravke zbijenih tala kreću se od vrlo jednostavnih zahvata pa sve do vrlo složenih, u ovisnosti o stupnju zbijenosti tla, debljini zbijenog sloja i njegovom položaju u profilu. Sve mjere popravke zbijenih tala potrebno je vrlo pomno isplanirati na temelju prethodno obavljenih ispitivanja stanja zbijenosti tla. Samo kvalitetno provedenim mjerama popravke zbijenih tala mogu se postići povoljni uvjeti u tlu, kojima se mogu ostvariti pozitivni rezultati u uzgoju poljoprivrednih usjeva.

5. LITERATURA

1. Birkás, M., Kisić, I., Jug, D., Smutny, V. (2011): Remedying water-logged soils by means of adaptable tillage. 4th International Scientific/Professional Conference, Agriculture in Nature and Environment Protection, Vukovar, 1th – 3rd June 2011. 11-21.
2. Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A.A. (2015): Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. Int. Soil Water Conserv. Res. 3, 1–11.
3. Butorac, A. (1999): Opća agronomija. Školska knjiga, Zagreb.
4. Butorac, A., Kisić, I., Butorac, J. (2006): Konzervacijska obrada tla u europskim zemljama. Agronomski glasnik 2/2006, pp. 109-136.
5. Horn, R., Akker van den, J.J.H., Arvidsson, J. (ur.) (2000): Subsoil Compaction. International Union of Soil Science (IUSS), Catena Verlag GMBH, Germany, 462.
6. Horn, R., Fleige, H., Peth, S., Peng, X (ur.) (2006): Soil Management for Sustainability. International Union of Soil Science (IUSS), Catena Verlag GMBH, Germany, 497.
7. Jug, D., Birkás, M., Kisić, I. (2015): Obrada tla u agroekološkim okvirima. Sveučilišni udžbenik. Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tala (HDPOT), Osijek, Hrvatska, 275.
8. Jug, D., Birkás, M., Seremesic, S., Stipešević, B., Jug, I., Žugec, I., Djalovic, I. (2010): Status and perspectives of soil tillage in South-East Europe (Plenary). 1st International Scientific Conference-CROSTRO, Soil tillage-Open approach, Osijek, 09-11 September, 50-64.
9. Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017): Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Sveučilišni priručnik. Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tala (HDPOT), Osijek, Hrvatska, 176.
10. Jug, D., Stošić, M., Birkás, M., Dumanović, Z., Šimić, M., Vukadinović, V., Stipešević, B., Jug, I. (2009): Soil trafficking analysis for different reduced soil tillage systems. 2nd International Scientific/Professional Conference. Agriculture in Nature and Environment Protection. Vukovar. 04-06. June 2009. 51-59.

11. Kassam, A., Friedrich, T. (2011): Conservation Agriculture: Global Perspectives and Developments. Regional Conservation Agriculture Symposium 2011. 8-10 February 2011, Johannesburg, South Africa.
12. Kisić, I. (2016): Antropogena erozija tla. Sveučilišni udžbenik. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
13. Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Nestroy, O., Sabolić, M. (2005): Erozija tla vodom pri različitim načinima obrade. Priručnik. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
14. Silva, V. R. da, Reinert, D. J., Reichert, J. M. (2000): Soil strenght as affected by combine wheel traffic and two soil tillage systems. Ciencia rural, Vol. 30, No. 5, pp. 795-801.
15. Soane, B.D., Ouwerkerk van, C. (ur.) (1994): Soil Compaction in Crop Production. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 662.
16. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011): Ishrana bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
17. Vukadinović, V., Jug, I., Đurđević, B. (2014). Ekofiziologija bilja. Sveučilišni udžbenik. Neformalna savjetodavna služba. Osijek.

6. POPIS SLIKA

Slika 1. "Idealan" sastav tla (lijevo) i zbijeno tlo (desno) 4
Slika 2. Prikaz rada sijačice 5
Slika 3. Dobro strukturirano tlo 6
Slika 4. Loše strukturirano / zbijeno tlo 6
Slika 5. Horizontalan rast korijena iznad zbijenog sloja tla 6
Slika 6. Saturirano tlo 7
Slika 7. Podpovršinska zbijenost horizonta tla 8
Slika 8. Pokorica i početni porast usjeva 9
Slika 9. Taban tanjurače i taban pluga 10
Slika 10. Površinsko zbijanje tla pneumaticima traktora 12
Slika 11. Zbijenost kotačima traktora uzrokuje ležanje vode na površini tla u usjevu 14
Slika 12. Štapna sonda tvorničke izrade 15
Slika 13. Štapna sonda izrađena u kućnoj radinosti 15
Slika 14. Utvrđivanje zbijenosti tla štihačom 16
Slika 15. Mehanički penetrometar 18
Slika 16. Elektronički penetrometar 18
Slika 17. Jako zbijanje kotačima na mokrom tlu 19
Slika 18. Tri osnovna sustava obrade tla 20
Slika 19. Podrivač u radu 22