

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

**FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

PÔDNA ORGANICKÁ HMOTA A UTLÁČANIE PÔD
Diplomová práca

Študijný program: Udržateľné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka
Študijný odbor: 6.1.1 Všeobecné poľnohospodárstvo
Školiace pracovisko: Katedra pedológie a geológie
Školiteľ: Ing. Nora Szombathová, PhD.
doc. Ing. Anton Zaujec, CSc.

Nitra 2010

Bc. Barbora Belanová

ABSTRAKT

V predloženej diplomovej práci je riešená problematika utláčania pôd ako jedného z hlavných degradačných procesov prebiehajúcich na poľnohospodárskych pôdach nielen Slovenskej republiky, ale i vo svete. Ponúka vysvetlenia a zdôvodnenia smerujúce k dodržiavaniu princípov a zákonov na ochranu pôdy, citlivého vzťahu človeka k pôde a zachovaniu jej funkcií.

V práci sme sa zamerali na podrobný opis jedného z hlavných procesov degradácie prebiehajúceho na poľnohospodárskych pôdach a to utláčanie pôd vo vzťahu k pôdnej organickej hmote a taktiež sprievodných javov, vyplývajúcich práve z tohto degradačného procesu, ako i na spôsoby predchádzania týmto nežiaducim procesom a tiež aplikáciu opatrení zabraňujúcich postupnej degradácii poľnohospodárskej pôdy.

Význam témy je nevyhnutné vyzdvihnúť najmä preto, že s rastom populácie sa zvyšujú i nároky na pôdu a jej produkčnú schopnosť. Keďže pôda je limitovaný a ľahko zničiteľný prírodný zdroj, musí byť chránený proti poškodeniu poľnohospodárskou činnosťou, eróziou, znečistením a degradáciou. Preto ochrana pôdy musí byť nielen záujmom štátu, ale i celej spoločnosti.

Táto problematika je v centre pozornosti i najvyšších orgánov EÚ, ktoré prijali v roku 2006 Stratégiu ochrany pôd v EÚ. Jej riešenie bude dlhodobé a komplikované, ale nevyhnutné z hľadiska ochrany pôd a trvalo udržateľného rozvoja.

Kľúčové slová: utláčanie pôdy, vlastnosti pôd, obrábanie pôdy, pôdna organická hmota.

ABSTRACT

The presented dissertation thesis is focused on the issue of soil compaction, one of the main degradation processes in agricultural soils, proceeding not only in the Slovak Republic but also worldwide. It shows the explanations and reasons for abiding the soil protection principles and laws, a sensitive relation between a man and a soil and preserving its functions.

The thesis is aimed at a detailed description of soil compaction in relation to soil organic matter as well as at side effects emerging just from this degradation process, but also describes the possibilities of preventing from these unwanted processes and using of measures which can stop gradual degradation of agricultural soil.

It is necessary to emphasize the meaning of this topic mainly because of bigger demands on soil and its productivity for the sake of accelerating number of population. Soil is a limited and easily destructible natural source and thus it must be prevented from damaging by agricultural activities, erosion, pollution and degradation. Not only the government but also the whole society must be interested in soil protection.

This issue is also in the spotlight of the supreme bodies of the European Union which approved The Thematic Strategy for Soil Protection in 2006. Its solution will be long-term and complicated, but essential for soil protection and sustainable development.

Key words: soil compaction, soil properties, soil cultivation, soil organic mater.

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaná Bc. Barbora Belanová vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Pôdna organická hmota a utlačanie pôd“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry. Predkladaná diplomová práca nadväzuje na bakalársku prácu „Príčiny a dôsledky utlačania pôd“ obhájenú v školskom roku 2007/08.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre dňa 10. apríla 2010

POĎAKOVANIE

Táto diplomová práca bola vypracovaná vďaka odbornému usmerňovaniu doc. Ing. Antona Zaujeca, CSc. a Ing. Nore Szombathovej, PhD., ktorým touto cestou chcem poďakovať za pomoc pri zostavovaní náplne diplomovej práce, za cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytli.

POUŽITÉ OZNAČENIE

V_h hygroskopické číslo, %

P pórovitosť, %

ρ_s merná hmotnosť pôdy, t.m^{-3} , kg.m^{-3}

ρ_d objemová hmotnosť pôdy, t.m^{-3} , kg.m^{-3}

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CIEĽ PRÁCE	10
3	METODIKA PRÁCE	11
4	PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	12
4.1	PÔDA	13
4.1.1	Súbor opatrení na ochranu pôdy	17
4.2	UTLÁČANIE PÔD	19
4.2.1	Proces utlačenia pôd	26
4.2.2	Faktory utlačania pôd	27
4.2.3	Utlačenie pôdy v poľných podmienkach	30
4.2.4	Vplyv utlačenia na pôdu a rastlinu	31
4.2.5	Objemové zmeny vyvolané mechanickým utlačením a jeho dôsledky na zmeny fyzikálneho stavu pôd	35
4.2.6	Preventívne opatrenia proti utláčaniu pôd	36
4.2.7	Opatrenia na zmiernenie a odstránenie utlačania pôd	37
4.3	PÔDNA ORGANICKÁ HMOTA	42
4.3.1	Úloha organickej hmoty v tvorbe pôdy a jej úrodnosti	46
4.3.2	Bilancia organickej hmoty v pôde a utláčanie pôd	47
4.4	VLASTNOSTI PÔD	53
4.4.1	Fyzikálne vlastnosti pôd	53
4.4.2	Hydrofyzikálne vlastnosti pôd	54
4.4.3	Chemické vlastnosti pôd	55
4.4.4	Biologické vlastnosti pôd	56
5	NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV	57
6	ZÁVER	58
7	POUŽITÁ LITERATÚRA	59

1 ÚVOD

Pôda je nenahraditeľným článkom kolobehu života, zároveň je základným výrobným prostriedkom našej spoločnosti a vytvára podmienky pre existenciu nielen človeka, ale aj ostatných živých organizmov. Pôda je živým organizovaným útvarom, preto k nej musíme pristupovať zodpovedne a vnímavo.

Ak je pôda správne obrábaná dochádza k vytváraniu štruktúry, ktorá umožňuje správny rast a vývin pestovaných plodín, ktoré následne poskytujú optimálne úrody. Naopak pri nesprávnej voľbe strojov a nevhodnom čase ich použitia, tak isto pri obrábaní príliš vlhkej pôdy dochádza k obmedzeniu prekorenenia, narušeniu pôdnej štruktúry, poklesom úrod a k utláčaniu pôd. Rovnako používanie nesprávnych osevných postupov, zanedbávanie aplikácie organických hnojív, absencia zeleného hnojenia, nedostatočné vápnenie a nadmerné používanie minerálnych hnojív môže viesť k zníženiu obsahu a zhoršeniu kvality pôdnej organickej hmoty a tým napomáhať utláčaniu pôd. Následne môže dochádzať k vzniku druhotných javov spôsobených práve utláčaním pôd nakoľko sú ovplyvňované fyzikálne, chemické, biologické a hydrofyzikálne vlastnosti pôd, čo má za následok zhoršenie pôdnej štruktúry, likvidáciu pôdnej mikroflóry, zhoršenie hospodárenia pôdy s vodou, vznik erózie, rozvoj chorôb a škodcov, redukcii hrčkotvorných baktérii, narušenie vzdušného a energetického režimu a napokon úplná degradácia pôdy.

Schopnosť pôdy poskytovať potraviny, krmoviny a suroviny nie je obmedzená. Medze sú určované ako terénnymi a klimatickými podmienkami tak i používanými technológiami a organizáciou poľnohospodárskej výroby. To znamená, že akékoľvek využívanie pôd prekračujúce hranice únosnosti má za následok dlhodobú degradáciu pôdnych vlastností a produkčnej schopnosti pôd.

Na základe štúdie zo 67 štátov v 5 regiónoch sveta bolo zistené, že spomalením degradačných procesov na pôde je možné citelne redukovať hlad na Zemi, aj keď sa tým problém podvýživy úplne nevyrieši. Riešenie sa ponúka v hľadaní zmien architektúry poľnohospodárskych plodín a to najmä ich koreňov, ktoré dokážu lepšie prijímať živiny a to dokonca z pôdy, ktorá nebude intenzívne hnojená. Osobitá pozornosť je venovaná suchu a dezertifikácii. Odhady geologického prieskumu USDA upozorňujú, že ak sa niečo nestane, potom v roku 2100 zníži dezertifikácia výmeru orných pôd na svete o 30 %. Stále nie je doceneným nebezpečenstvom pre zvyšovanie

dezertifikácie lokálne zvyšovanie stavov pasúcich sa hospodárskych zvierat, ktoré poškodzujú pôdu tým, že ju zhutňujú a tak znižujú jej potenciál pre zadržiavanie vody.

Význam pôdy pre človeka a životné prostredie definuje v dvanástich bodoch Európska charta o pôde, ktorá bola prijatá v roku 1972 Radou Európy a tieto zásady boli v máji 1992 opätovne zdôraznené v dokumente „Odporúčania na ochranu pôdy“ a Svetová charta o pôde schválená na konferencii FAO v novembri 1981. Ďalším dôležitým prijatým dokumentom bola „Svetová pôdna politika“, ktorú vydal UNEP v Nairobi v roku 1982. Tento dokument vychádzal z troch hlavných podstát – pôda je základom existencie ľudstva, pôdu možno nešetrným využívaním zničiť alebo na dlhú dobu znehodnotiť a napokon pôdu možno zlepšiť, ale nie vyrobiť.

V roku 2006 sa konal 18. svetový kongres o pôde, kde bolo identifikovaných osem najdôležitejších hrozieb pre pôdu a to – erózia pôdy, pokles obsahu pôdnej organickej hmoty, zhutňovanie pôdy, zasoľovanie, znečistenie, zábery, zosuvy a pokles biodiverzity v pôde, pričom uvedené riziká prinášajú značné ekonomické straty. Ročné škody spôsobené eróziou v krajinách Európskej únie sa odhadujú na 14 miliárd Eur. Pokles pôdnej organickej hmoty spôsobuje straty vo výške 5,6 miliárd Eur, straty z titulu znečistenia pôd predstavujú straty vo výške až 17 miliárd Eur.

Na ceste za nápravami určila Európska únia štyri rozhodujúce piliere pôdnej politiky – zlepšovanie vzťahu k pôde, výskum, prepojenie ochrany pôdy s inými problémami a záujmami a legislatíva.

Tieto a ďalšie nadväzujúce dokumenty zdôrazňujú význam a funkcie pôdy a vyzývajú verejnosť, ale najmä štáty a ich vlády, aby ochraňovali a zveľaďovali tento, pre človeka nepostrádateľný zdroj.

Z vyššie uvedených dôvodov je potrebné, aby sa problematike utláčania pôd venovala náležitá pozornosť a vykonávali sa opatrenia vedúce k eliminácii faktorov spôsobujúcich utláčanie pôd a venovala sa zvýšená pozornosť práve ochrane pôdy.

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce bola identifikácia jednotlivých príčin a faktorov, ako prírodných tak aj antropogénnych, ktoré výraznou mierou vplývajú, prípadne priamo spôsobujú utláčanie pôd. Budú hodnotené priame i nepriame dôsledky utláčania na pôdu a rastliny vyplývajúce zo súčasného stavu a spôsobov hospodárenia na pôdach. Ďalej bude poukázané na vzájomný vzťah medzi pôdnou organickou hmotou a utláčaním pôd.

Budú zdôraznené možné riešenia a opatrenia zabraňujúce alebo zmierňujúce tento nepriaznivý stav pôdy.

3 METODIKA PRÁCE

Pôda je nenahraditeľným článkom kolobehu života, zároveň je základným výrobným prostriedkom našej spoločnosti a vytvára podmienky pre existenciu nielen človeka, ale aj ostatných živých organizmov. Pôda patrí medzi hlavné, pre človeka dostupné zdroje, pričom využívanie týchto zdrojov nesmie zapríčiniť ich degradáciu (znehodnotenie) ani deštrukciu (zničenie), pretože na zachovaní nepretržitej produkčnej schopnosti pôdy závisí existencia ľudstva.

Materiálom na zostavenie diplomovej práce bola dostupná literatúra pozostávajúca z domácich i zahraničných knižných publikácií, záverečných správ, článkov z vedeckých zborníkov a taktiež literárnych zdrojov získaných z internetu.

Metodika pozostávala hlavne zo štúdia danej literatúry, jej spracovania a následného usporiadania do celkov týkajúcich sa utlačania pôd, pôdnej organickej hmoty a následných opatrení zabraňujúcich alebo zmierňujúcich tento nepriaznivý stav pôdy.

4 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Utláčanie pôd a znižovanie obsahu organickej hmoty v pôde, ktoré veľmi úzko súvisí s problematikou utlačania pôd je veľmi vážnym prvkom degradácie krajiny ako celku a tým narúša aj schopnosť krajiny poskytovať úžitok pre človeka.

Ochrana pôdy pred utláčaním a stratou organickej hmoty je základnou podmienkou pre udržanie prosperity poľnohospodárskych podnikov ale aj stability ekosystému ako celku. Podľa vzťahu k pôde sa hodnotí celková vyspelosť nielen vlastníkov pôdy a pracovníkov poľnohospodárskych podnikov, ale aj vyspelosť celého štátu a spoločnosti.

Základným predpokladom ochrany pôdy pred jej utláčaním je správne obhospodarovanie pôdy použitím vhodných mechanizmov, obrábanie pôdy za vhodných klimatických podmienok, dodržiavanie správnych osevných postupov a organického hnojenia, ktoré majú zabezpečiť optimálny obsah organickej hmoty v pôde. Pri správnom obhospodarovaní pôdy, používaní vhodných osevných postupov a zabezpečením dostatočného množstva organickej hmoty v pôde môžeme účinne predchádzať problému utlačania pôd. Správne obhospodarovanie pôdy znamená využívať jej produkčný potenciál v plnom rozsahu, ale zároveň nenarúšať celkovú ekologickú stabilitu nielen pôdy, ale celej krajiny.

Bolo vyčlenených šesť hlavných spôsobov degradácie pôdy podľa FAO, 1971:

1. Odnos povrchových vrstiev pôdy vodou stekajúcou po povrchu pôdy (vodná erózia).
2. Odnos povrchových vrstiev pôdy vetrom (veterná erózia).
3. Prirodzene alebo antropicky vyvolaná zamokrenosť pôdy a primárna resp. sekundárna zasolenosť pôdy (zamokrenie a zasolenie pôdy).
4. Nízke pH, alkalizácia pôdy, pôda kontaminovaná cudzorodými látkami (chemická degradácia a znečistenie pôdy).
5. Degradácia humusu v pôde, zhoršená štruktúra pôdy, utužená pôda (fyzikálna degradácia pôdy).
6. Zhoršené biologické vlastnosti pôdy ako dôsledok zhoršenia fyzikálnych a chemických vlastností pôdy (biologická degradácia pôdy) (Demo, 1998).

V diplomovej práci sme sa zamerali na problém utláčania pôd, ktorý vzniká ako dôsledok pôsobenia či už prírodných alebo antropogénnych faktorov.

4.1 PÔDA

Najväčším bohatstvom každého národa a štátu je jeho územie, teda pôda. Preto je nevyhnutné zabezpečovať jej udržateľný vývoj a to nielen v záujme jej samotnej, ale aj prírody ako celku. Pôda je svojim rozsahom a funkciami rozhodujúcou esenciálnou zložkou prírody, nešetrným využívaním ju možno zničiť alebo na dlhú dobu znehodnotiť. Pôdu možno zlepšiť, ale nie vyrobiť. Umožňuje produkovať potraviny a suroviny, recykluje odpady, tvorí lesu – poľnohospodársku krajinu, filtruje a zadržiava vodu na našom území, zabezpečuje kolobeh látok, udržiava diverzitu rastlinných a živočíšnych druhov a je základom existencie ľudstva (Vilček a i., 2005).

Pôda je nenahraditeľný prírodný zdroj, základná zložka životného prostredia a nezastupiteľná podmienka rastlinnej a vôbec poľnohospodárskej a lesnej výroby. V pôdnom prostredí prebieha kolobeh látok, je životným prostredím pre rastliny a živočíchy, zadržiava vodné zrážky, reguluje ich odtok a je tak zásobárňou vodných zdrojov (Lhotský, 2006).

Človek je od nepamäti závislý na pôde a na druhej strane i kvalita pôdy je závislá na činnosti človeka. Pôda zohráva dôležitú úlohu nielen z pohľadu produkčného, ale predstavuje významnú zložku životného prostredia. Má vplyv na kvalitu i kvantitu produkovaných potravín, je súčasťou rôznych ekosystémov sveta, ovplyvňuje hydrosféru i atmosféru.

Pôda je neoddeliteľnou súčasťou agroekosystémov, lesných i trávnych ekosystémov. Je základom produktivity ako prirodzených, tak umelých ekosystémov, ovplyvňuje ale i vodné a urbánne ekosystémy. V ekosystémovom prístupe si musíme uvedomovať interakcie medzi živými a neživými zložkami nášho prostredia. Pôda sa však vyvíja veľmi pomaly, asi 100 – 400 rokov je potrebných k vytvoreniu jedného centimetra pôdy (Šarapatka a i., 2002).

Pre človeka najdôležitejšou vlastnosťou pôdy je jej úrodnosť t.j. schopnosť zabezpečovať vhodné podmienky pre existenciu a reprodukciu rastlín a v závislosti na nich i existenciu živočíchov a ľudí (Tomášek, 1995).

Pôdna úrodnosť je teda rozhodujúcou vlastnosťou, ktorá je ovplyvňovaná mnohými faktormi. Okrem prirodzenej úrodnosti, ktorá tvorí základ, rozhoduje o úrovni potenciálnej úrodnosti pôdy i človek (Škoda a Cholenský, 1993).

Výmera poľnohospodárskej pôdy v SR v súčasnom období predstavuje 2 433 tisíc ha, z toho 1 388 tisíc ha ornej pôdy. Na jedného obyvateľa pripadá 0,45 ha poľnohospodárskej pôdy a 0,27 ha ornej pôdy. V povojnovej 45 – ročnej histórii (1945 – 1989) ubudlo z výmery poľnohospodárskej pôdy Slovenska 316 tisíc ha, z toho 277 tisíc ha ornej pôdy (88 % z celkového úbytku). Je veľmi žiaduce, aby si každý uvedomil, že zaberaním úrodnej pôdy znižujeme naše najväčšie a nenahraditeľné prírodné bohatstvo – pôdu (Zaujec a i., 2008).

Výsledky hodnotenia produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd v SR ukazujú, že z celkovej výmery máme len :

9,2 %	vysoko produkčných
19,6 %	veľmi produkčných
20,0 %	produkčných pôd
7,9 %	stredne produkčných
13,0 %	menej produkčných
13,5 %	málo produkčných
9,6 %	veľmi málo produkčných
5,2 %	menej vhodných pre poľnohospodársku výrobu
2 %	nevhodných pôd pre poľnohospodárstvo

Stabilitu poľnohospodárskej krajiny a kvalitu pôdneho fondu najviac ohrozuje – deštrukcia pôd vplyvom vodnej a veternej erózie, zamokrenie pozemkov a pokles pôdnej úrodnosti v dôsledku utlačania pôd, nadmerné vysušovanie pozemkov nesprávnou úpravou vodného režimu pôd, neracionálne používanie a preceňovanie agrochemikálií, kontaminácia pôd cudzorodými látkami.

Okrem zveľaďovania pôdy je potrebné venovať zvýšenú pozornosť aj ochrane poľnohospodárskeho pôdneho fondu. Súčasný stav poľnohospodárskeho pôdneho fondu SR charakterizuje aj štruktúra typologicko – produkčných kategórií pôdy (Vilček a i., 2005).

Tab.1. Štruktúra typologicko – produkčných kategórií poľnohospodárskeho pôdneho fondu SR (Džatko a i., 1985)

Označenie	Charakteristika subtypu	Výmera v %
Potenciálne orné pôdy:		
O 1	najproduktnejšie orné pôdy	6,6
O 2	vysoko produkčné orné pôdy	14,1
O 3	veľmi produkčné orné pôdy	7,1
O 4	produkčné orné pôdy	10,9
O 5	stredne produkčné orné pôdy	10,5
O 6	menej produkčné orné pôdy	6,9
O 7	málo produkčné orné pôdy	3,6
Spolu		59,7
Striedavé polia:		
OT 1	stredne produkčné polia a produkčné trávne porasty	1,4
OT 2	menej produkčné polia a produkčné trávne porasty	3,4
OT 3	málo produkčné polia a produkčné trávne porasty	8,4
Spolu		13,2
Trvalé trávne porasty:		
T 1 - T 3	produkčné trvalé trávne porasty	11,1
T 4	málo produkčné trvalé trávne porasty	14,1
Spolu		25,2
Nevhodné:		
N	pre agroekosystémy nevhodné územia	1,9

Pôdu môžeme definovať ako integrálnu súčasť ekosystémov Zeme situovanou medzi povrchom a materskou horninou. Je rozdelená na horizonty so špecifickými fyzikálnymi, chemickými a biologickými charakteristikami a rozdielnymi funkciami. Koncept pôdy tiež zahŕňa aj pórovité sedimentárne horniny a iné permeabilné materiály spolu s vodou, ktorú obsahujú, pričom jej najzákladnejšou vlastnosťou je úrodnosť. Pôda ako heterogénny trojrozmerný útvar pozostáva z pevnej, tekutej a plynnej časti.

Pevnú časť tvorí minerálny a organický podiel. Minerálny podiel pôdy charakterizuje petrografické, mineralogické, chemické a zrnitostné zloženie. Organický podiel tvoria živé organizmy (edafón a korene vyšších rastlín) a neživé organické látky ako sú pôdny humus (odumreté zvyšky organizmov, produkty rôzneho stupňa humifikácie – nešpecifikované a špecifikované humusové látky, cukry, organické kyseliny, enzýmy atď.). Pevná časť sa skladá z elementárnych častíc (zŕn, granúl), rôznej veľkosti (kamene, štrk, piesok, prach, íl a koloidy), ktoré spolu tvoria polydisperzný systém rôzneho mineralogického aj chemického zloženia. Častice sa v pôde nenachádzajú voľne, ale vo forme určitých zhlukov (agregáty, hrudky). Spojovaním elementárnych častíc rôznymi tmeliacimi látkami dochádza k vytváraniu pôdnych agregátov.

Zrnitostné zloženie pôdy – pôdnu textúru - charakterizujeme ako zastúpenie (obsah) jednotlivých frakcií (piesku, prachu a ílu) v pôdnej vzorke, vyjadrené v hmotnostných percentách. Zrnitostné zloženie pôdy rozhodujúcou mierou ovplyvňuje nielen samotné fyzikálne, chemické a fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy, ale i vzdušnú, tepelnú i vodnú kapacitu, štruktúrotvornú schopnosť, priepustnosť pre vodu a vzduch. Okrem toho zrnitostné zloženie pôd ovplyvňuje príľnavosť, plastičnosť, orbový odpor, prenikanie koreňov rastlín, ovocných drevín atď.

Kvapalnú časť predstavuje pôdny roztok. Je to vlastne v pôde sa vyskytujúca voda v kvapalnom stave. Pôdny roztok obsahuje rozpustené soli, organické zlúčeniny, plyny a dispergované látky rozličného pôvodu. Je veľmi dynamickou zložkou pôdy, ktorej zloženie závisí od zmien pôdnej vlhkosti, ale i reakcií pôdnej vody s minerálnym i organickým podielom. Zloženie a koncentrácia pôdneho roztoku je výsledkom biologických, fyzikálno-chemických, fyzikálnych a chemických procesov, ktoré sa uskutočňujú v pôdach pri rôznom pôsobení teploty, vlhkosti a prevzdušnenia.

Plynná časť – pôdny vzduch sa dostáva do pôdy z atmosféry pôsobením teploty, pohybu vzduchu a barometrického tlaku. Príjem vzduchu do pôdy závisí od pórovitosti, vlhkosti a pohybu vody v pôde. Voda a vzduch sú vzájomnými antagonistami, to znamená, že tam kde je vzduch, nedostane sa voda a opačne. Tak ako rastliny nemôžu existovať bez vody, nemôžu existovať ani bez vzduchu v pôde. Pôdny vzduch sa svojím chemickým kvantitatívnym i kvalitatívnym zložením odlišuje od atmosferického vzduchu, ktorý prenikajúc do pôdy sa v nej obohacuje plynými produktami rozkladu organických látok (CO_2 , NH_3 , H_2S , H_2) a vodnými parami, preto pôdny vzduch je spravidla bohatší na CO_2 i vodné pary a chudobnejší na O_2 (Vilček a i., 2005).

4.1.1 Súbor opatrení na ochranu pôdy

Ochrana poľnohospodárskej pôdy pred eróziou

Erózia poľnohospodárskej pôdy predstavuje úbytok povrchovej najúrodnejšej vrstvy poľnohospodárskej pôdy, úbytok živín, humusu, organickej hmoty, zníženie mikrobiologického života a stratu funkcií pôdy.

Vlastník alebo užívateľ je povinný vykonávať trvalú a účinnú protieróznu ochranu poľnohospodárskej pôdy vykonávaním ochranných agrotechnických opatrení podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy, ktoré sú:

- výsadba účelovej poľnohospodárskej a ochrannej zelene,
- vrstevnicová agrotechnika,
- aplikácia mulčovacích medziplodín kombinovaných s bezorbovou agrotechnikou,
- oševné postupy so striedaním plodín s ochranným účinkom,
- usporiadanie honov v smere prevládajúcich vetrov,
- iné opatrenia, ktoré určí pôdna služba podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy.

Ochrana poľnohospodárskej pôdy pred zhutnením

Zhutnenie poľnohospodárskej pôdy je nepriaznivý stav poľnohospodárskej pôdy zapríčinený zvýšením objemovej hmotnosti. Zhutnenie poľnohospodárskej pôdy vzniká v dôsledku nesprávnych oševných postupov a postupov hnojenia, nedostatočného vápnenia a nesprávneho používania poľnohospodárskej techniky.

Vlastník alebo užívateľ je povinný pri využívaní poľnohospodárskej pôdy na poľnohospodársku výrobu vykonávať agrotechnické opatrenia, ktoré predchádzajú hrozbe zhutnenia poľnohospodárskej pôdy a zhutneniu poľnohospodárskej pôdy, a to najmä správnu voľbou plodín, oševných postupov a technológií obhospodarovania.

Ochrana poľnohospodárskej pôdy pred rizikovými látkami

Každý, kto má podozrenie, že môže dôjsť k poškodeniu poľnohospodárskej pôdy rizikovými látkami, alebo zistí poškodenie poľnohospodárskej pôdy rizikovými látkami, je povinný túto skutočnosť ohlásiť príslušnému orgánu ochrany poľnohospodárskej pôdy alebo pôdnej službe.

Každý, kto svojou činnosťou rizikovými látkami poškodí poľnohospodársku pôdu, je povinný bezodkladne vykonať opatrenia na odstránenie poškodenia. Ak tak neurobí, orgán ochrany poľnohospodárskej pôdy tomu, kto poškodenie spôsobil, uloží opatrenia na odstránenie poškodenia poľnohospodárskej pôdy navrhnuté pôdnou službou (dostupné na internete: <www.portal.gov.sk>).

4.2 UTLÁČANIE PÔD

Jedným z najzávažnejších a najnebezpečnejších javov vo vývoji pôdnej úrodnosti na intenzívne obrábaných pôdach je kritický nárast nadmerného zhutňovania pôd, ktorý negatívne ovplyvňuje úrodnosť pôdy a jej ekologické poslanie (Bedrna, 2002).

Zhutnenie pôdy (pedokompakcia) je rozšírený fenomén fyzikálneho poškodenia predovšetkým poľnohospodárskych pôd v dôsledku ťažkej mechanizácie alebo nadmernej pastvy. Dochádza k degradácii pôdnej štruktúry, ktorá so sebou nesie potenciálne ohrozenie ďalších pôdnych funkcií – pôda má zníženú pórovitosť, schopnosť infiltrácie, je obmedzený rast rastlín a biologická aktivita. Pedokompakciou sú tiež zvyšované riziká vodnej erózie a záplav. Pedokompakcia hlbších vrstiev pôdy je ťažko vratný proces (Sáňka a Materna, 2004).

Proces zhutnenia má dve hľadiská:

- obsah morfológický – zvýšenie objemovej hmotnosti, deformácia systému pórovitosti a zmeny v jej kvalite,
- obsah biologický – účinky zhutnenia na transportné procesy a pochody dôležité pre zásobovanie rastlín živinami, vodou a kyslíkom, narušené systémy transportu vody a kyslíka predlžujú stresové stavy rastlín a znižujú výnos (Erlich a i., 1987).

Na Slovensku máme viac ako $\frac{3}{4}$ milióna ha orných pôd, ktoré trpia nadmerným zhutňovaním, 150 tisíc ha kontaminovaných pôd, z toho 35 tisíc ha nadlimitne, na takýchto pôdach treba obmedziť alebo úplne zakázať poľnohospodárske využívanie pre účely potravinárske a krmovínárske a 567 tisíc ha ornej pôdy s kyslou pôdnou reakciou, ktorú treba vápniť. Problém je o to akútnejší, že prevažná časť týchto pôd sa nachádza v našich najproduktnejších oblastiach, kde sú inak dobré podmienky pre intenzívne hospodárenie na pôde. Nadmerné zhutňovanie pôd má buď svoj primárny, pedogenetický pôvod alebo je vyvolané sekundárnymi technogénnymi vplyvmi (Bedrna, 2002).

Utláčanie pôdy - pedokompakcia je zmenšovanie jej objemu znižovaním pórovitosti, t.j. priestoru pre vodu a vzduch v pôde. Rozoznávame prvotné prírodné a antropogénne príčiny utlačania pôd. Prvotne prírodná pedokompakcia vzniká pôdotvornými procesmi s vytváraním kompaktných utlačených horizontov.

Antropogénna pedokompakcia vzniká ako dôsledok pôsobenia ťažkých mechanizačných a dopravných prostriedkov na pôdu. Technogénne vplyvy nadmerného zhutňovania pôd možno spájať s nedostatkami hospodárenia na pôde, ako je nevhodná štruktúra osevov, najmä nízky podiel plodín zlepšujúcich a stabilizujúcich štruktúru pôdy, nevhodné striedanie plodín, nedocenenie významu organických hnojív, nedostatočné vápnenie kyslých pôd. Nemenej závažné sú aj nedostatky v usporiadaní pôdneho fondu, nadmernej veľkosti a nevhodného tvaru honov, nedostatky v obrábaní pôdy, nevhodné technické vybavenie a používanie neadekvátnych pestovateľských technológií (Bedrna, 2002).

Sekundárne zhutnenie poľnohospodárskych pôd postihuje približne 30 % orných pôd, navyše 15 % poľnohospodárskych pôd sú pôdy geneticky ťažké. Podľa odborného odhadu teda približne 45 % orných pôd vykazuje symptómy zhutnenia (Lhotský, 2006).

Charakteristickým znakom zhutnenia je obmedzené vsakovanie zrážkovej vody do pôdy. Najzávažnejšie príčiny zhutňovania sú technologické postupy používané v rastlinnej výrobe, spojené s častými prejazdmi mechanizačných prostriedkov po pozemkoch, zvlášť pri vyššej pôdnej vlhkosti (Hůla a i., 1997).

Od roku 1950 sa merný tlak traktorov zvýšil takmer o 100 % a pri dopravných prostriedkoch až o 200 %. Z literatúry je známe, že poľnohospodárska technika pôsobí tlakom na pôdu od 150 – 800 kPa, pričom už tlak 240 kPa výrazne znižuje pórovitosť, zhoršuje prevzdušnosť a obmedzuje infiltračnú schopnosť pôdy. Len za jedno vegetačné obdobie sa prejazdí 20 – 80 % pozemku. U náročnejších plodín ako je cukrová repa je to až 225 % plochy a viac, z toho niektoré pruhy sú prejazdené až 9 – krát. Zhutnenie pôdy vplyvom tlaku kolies ťažkých mechanizmov sa sústreďuje do vrchných vrstiev pôdy. Zapríčiňuje pokles povrchu pôdy v koľajisku, vedie k poklesu pôdneho objemu, zníženiu pórovitosti, nárastu objemovej hmotnosti, narušeniu štruktúry, vzdušného a vodného režimu. Komplikuje sa i využitie živín, prirodzená odolnosť pôd voči erózii a tým i vytváranie priaznivých podmienok pre pestovanie kultúrnych rastlín. Súčasne sa zvyšuje odpor pôdy pri jej obrábaní a ďalších agrotechnických úkonoch.

Nadmerná pedokompakcia je narušenie rovnovážneho objemového stavu pôdy, s kritickým poklesom podielu pórov v pôdnom objeme, keď optimálne hodnoty pórovitosti pre biotu predstavujú viac ako polovicu objemu pôdy.

Mieru pedokompakcie hodnotíme konzistenciou, čiže silou potrebnou na prienik cudzieho telesa do pôdy zisťovanou penetrometrom (MPa), pórovitosťou (v

objemových %) alebo objemovou hmotnosťou ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) stanovovanou v klasických Kopeckého valčekoch. Hodnoty slabej, strednej a silnej pedokompakcie sú uvedené v tabuľke 2 (Bedrna, 2002).

Tab.2. Miera pedokompakcie (Bedrna, 2002)

Pôda	Hodnota	Nízka	Stredná	Vysoká
Ílovitá	% obj.	43 – 45	43 – 45	< 40
	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1400 – 1500	1500 – 1700	> 1700
	MPa	2 – 3	3 – 4	> 4
Hlinitá	% obj.	38 – 40	35 – 38	< 35
	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1500 – 1700	1700 – 1900	> 1900
	MPa	3 – 4	4 – 5	> 5
Piesočnatá	% obj.	33 – 35	30 – 33	< 30
	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1600 – 1800	1800 – 2100	> 2100
	MPa	4 – 5	5 – 6	> 6

Údaje nadväzujú na optimálne hodnoty pôdnej konzistencie pre kultúrne rastliny (tabuľka 3). Ide väčšinou o jednoročné rastliny, ktoré majú slabšiu koreňovú sústavu nedokonale prispôsobenú nedostatku vzduchu v pôde. Najlepšie odolávajú pedokompakcii a teda nedostatku vzduchu v pôde rastliny s hlbokým kolovým koreňom (vlčí bôb, lucerna, chren), alebo s plytkým zakoreňovaním (cesnak, skorocel), prípadne s odnožami, poplazmi a hľuzami (pýr, pupenec).

Pedokompakcia pôsobí nepriaznivo aj na pôdny edafón. Najmä na tvorbu hrčkotvorných baktérii na koreňoch leguminóz a fixáciu vzdušného dusíka čo vedie k premnoženiu patogénnych mikroskopických húb (Bedrna, 2002).

Tab.3. Optimálne hodnoty objemovej hmotnosti pôdy (Bedrna, 2002)

Plodiny	Objemové hmotnosti (t.m⁻³)
Trávy	1,25 - 1,5
Ovos	1,1 - 1,4
Cukrová repa	1,0 - 1,3
Kukurica, pšenica	1,1 - 1,3
Jačmeň, ľan, raž	1,2 - 1,4
Ďatelina, slnečnica	1,2 - 1,3
Hrach	1,1 - 1,2
Karfiol, zemiaky	1,0 - 1,2
Mrkva	0,75 - 1,0
Red'kovka	0,75 - 0,9

Každá pôda, v každom čase sa vyznačuje určitou hustotou uloženia, s určitou formou usporiadania pôdnych častíc a agregátov v danej jednotke pôdneho objemu. Za optimálny možno považovať stav, keď polovica pôdneho objemu pripadá na objem pevnej pôdnej fázy a druhá polovica pripadá na objem pórov. Z fyzikálneho hľadiska je dôležité, aby 2/3 z celkového objemu pórov tvorili jemné, kapilárne póry a 1/3 hrubé, nekapilárne póry.

Pokles objemu pórov v procese zhutnenia pôdy nastáva buď v dôsledku zmien v uložení, alebo v usporiadaní štruktúrnych agregátov a vtedy hovoríme o štruktúrnom zhutnení, alebo nastáva narušenie, či deštrukcia štruktúrnych agregátov a ich rozpad, vrátane zmien v uložení, či usporiadaní pôdnych častíc, a vtedy hovoríme o textúrnom zhutnení, spojenom s totálnym kolapsom fyzikálnej stavby pôdy (Zrubec, 1998).

Výsledky monitoringu pôd SR poukazujú na to, že v období rokov 1993 – 2001 došlo k zhoršovaniu fyzikálnych vlastností a zhutneniu pôd, najmä na intenzívne obhospodarovaných pôdach (černozeme, hnedozeme), v SR je reálne zhutnených asi 700 000 ha poľnohospodárskych pôd (Kobza, 2002).

Veľmi citlivé na pedokompakciu sú kultúrne rastliny – zemiaky, cukrová repa, mrkva, petržlen, cvikla, zeler a i. Pre obmedzený priestor vytvárajú bizarné tvary hl'úz, buliev a koreňov. Výskumom bolo dokázané, že pri objemovej hmotnosti vyššej než 1 940 kg.m⁻³ už nerastú žiadne rastliny, výrazný pokles úrod ozimnej pšenice nastáva

pri hodnotách $1\ 630\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pórovitosti 39 %, koreňovej zeleniny a cukrovej repy nad $1\ 450\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pórovitosti 46 % (Bedrna, 2002).

Tab.4. Vplyv utlačenia pôdy na úrody ovsa a využitelnosť živín (Ptelkau a Dannowski, 1989)

Stupeň utlačenia	Priemerný kontaktný tlak kPa	Pokles úrody		Využitelnosť živín neutlačená pôda 100 %				
		t.ha ⁻¹	%	N	P	K	Ca	Mg
1	100	0,16	3,6	81	90	71	64	78
2	300	1,11	26,0	70	80	60	64	78
3	500	1,21	28,3	61	60	50	59	67

Tab.5. Kvantitatívne a kvalitatívne ukazovatele cukrovej repy na utlačenej a neutlačenej pôde (Záhradníček a i., 1993)

Ukazovateľ	Stanovište			
	Postoloprty		Knovíz	
	utlačené	neutlačené	utlačené	neutlačené
Hmotnosť bulvy (g)	699	963	525	622
Cukornatosť (%)	15,8	15,4	18,3	17,6
Počet jedincov na ha (v tisícoch)	55	55	61	65
Úroda buliev (t.ha ⁻¹)	38,4	53,0	32,1	40,6
Úroda polarizovaného cukru (t.ha ⁻¹)	6,1	8,2	5,9	7,1
Podiel zelerových buliev (%)	12,7	7,3	39,0	17,0
Zberové straty repnej hmoty (%)	-	-	19,2	7,7

Pri úprave prírodného prostredia sa často miesto pestovanej plodiny presadzovala požiadavka na bezproblémový prístup mechanizácie na pole. Ďalším problémom bola šablónovitosť, vyplývajúca z koncepcie jednotného prostredia. Predimenzovávanie návrhových parametrov (väčšia hĺbka uloženia drénov) viedlo k nadmernému vysušovaniu a odtoku vodorozpustných látok. Boli prípady, kedy prišlo k plytkému zabudovávaniu drénov, najmä pri úprave vodného režimu zasolených a alkalických pôd v dôsledku čoho bol zúrodňovací efekt minimálny.

V snahe intenzifikovať výrobu na pôde v uplynulých 40 rokoch veľmi výrazne do ekosystému poľnohospodárskej krajiny zasiahla chemizácia. Dlhodobá aplikácia zvýšených dávok minerálnych hnojív pozitívne ovplyvnila množstvo prístupných živín v pôde a výšku úrod. Zároveň sa však prejavili aj jej negatívne účinky, ku ktorým sa pridali priemyselné exhaláty a ďalšie škodlivé aplikované komponenty.

V dôsledku šablónovitého prístupu k hodnoteniu pôdných podmienok, nerešpektovania zásobenosti pôd živinami a pravdepodobne nepresných noratív zásobenosti živinami prišlo na niektorých pôdach k silnému narušeniu ich agrochemického, fyzikálneho a biologického stavu, čo ovplyvňuje i kvalitu rastlinnej produkcie. Preto optimalizácia výživy rastlín ako jeden z dôležitých prvkov racionálnej sústavy hospodárenia na pôde musí prísne rešpektovať všetky pôdno – ekologické danosti v celom ich komplexe (Bedrna, 2002).

Tab.6. Zmeny objemovej hmotnosti nakyprenej ornice v závislosti od formy hnojiva a doby po orbe (Hnojársky pokus po 24 rokoch, Novák 1983)

Doba po orbe v dňoch	Objemová hmotnosť v kg.m ⁻³		
	Hnojivá		
	žiadne	organické	minerálne
1	980	760	990
10	1030	820	1090
30	1110	890	1230
90	1140	900	1410
180	1200	910	1530

Pre celosvetový trend vývoja stále väčších a ťažších mechanizačných a dopravných prostriedkov dochádza na ornej pôde k značnému utláčaniu pôdnej hmoty. Toto utláčanie má dynamický charakter. Najintenzívnejšie je v lete a v jeseni po zbere plodín, najmenšie je po orbe a kyprení v jarých a neskorých jesenných mesiacoch. Na ornej pôde sa utláčanie sústreďuje do povrchových vrstiev. Pre sústavné prekyprovanie pôdy do hĺbky 0,28 m vzniká často podornicová utlačená vrstva. Tú môžeme odstrániť hĺbkovým kyprením (0,4 – 0,6 m). V niektorých krajinách sa ako

melioračné opatrenie aj realizuje. Ekonomicky je ale spravidla neefektívne (Bedrna, 2002).

Pedokompaktnosť – je vratný enviromentálny znak označujúci rozsah a rýchlosť predpokladaného utlačenia pôdy a je opakom miery odolnosti proti potenciálnej pedokompakcii. Pedokompaktnosť predstavuje mieru potenciálnej neschopnosti pôdy odolávať utláčaniu. Rozdelenie regiónov podľa miery pedokompaktnosti – slabá (nízka), stredná a silná (vysoká):

Slabá (nízka) pedokompaktnosť (vysoká odolnosť pôd proti kompakcii):

- Záhorská nížina s prevahou ľahkých rengozemí, fluvizemí, kambizemí a podzolov vytvorených z nekarbonátových naviatych pieskov a ľahkých aluviálnych sedimentov, fragmenty Podunajskej a Východoslovenskej nížiny s karbonátovými ľahkými regozemami.
- Ploché časti pahorkatín a západnej časti Žitného ostrova s karbonátovými černozemami na ľahkej spraši a starších aluviálnych sedimentoch.
- Karbonátové pohoria (Veľká Fatra, Malá Fatra, Belianske Tatry atď.) s rendzinami a pararendzinami s vysokým obsahom karbonátov a skeletu.
- Vysoké pohoria (Tatry, Slovenské Rudohorie, Oravská Magura) a vulkanické pohoria (Kremnické vrchy, Poľana), s pôdami typu ranker, litozem, podzol, andozem, kambizem s vysokým obsahom skeletu.

Stredná pedokompaktnosť (stredná odolnosť pôd proti kompakcii):

- Nížiny s hlinitými fluvizemami, prípadne s rôznymi subtypmi černozemí na spraši a aluviálnych sedimentoch.
- Kotliny stredných a nižších polôh s kambizemami na ľahkých a hlinitých pôdotvorných substrátoch.
- Vrchoviny, pahorkatiny a nižšie pohoria s hlbokými kambizemami na hlinitých substrátoch (flyšová oblasť).
- Niektoré karbonátové pohoria (Slovenský kras, Muránska planina) s hlinitými rubefikovanými hnedozemami, kambizemami a luvizemami na reliktných pôdných sedimentoch a s hlbšími rendzinami a pararendzinami na zvetralinách karbonátových a silikátovokarbonátových hornín.

Silná (vysoká) pedokompaktnosť (nízka odolnosť pôd proti kompakcii):

- Záhorská, Podunajská a Východoslovenská nížina s ťažkými černozemami, čiernicami, fluvizemami a glejmi, lokálne aj so salsodickými pôdami.

- Pahorkatiny s hnedozemami, luvizemami a pseudoglejmi na hlinitých a ťažších pôdotvorných substrátoch.
- Stredné a vyššie položené kotliny s príahľými úpäťami svahov a pseudoglejmi a luvizemami pseudoglejmi na neogénnych ťažších sedimentoch.

Podľa rozlohy okrskov pôd je na Slovensku 8 % s nízkou pedokompaktnosťou (veľkou odolnosťou pôd proti kompácii), 60 % so strednou a 32 % s vysokou pedokompaktnosťou (nízkou odolnosťou pôd proti kompácii) (Bedrna, 2002).

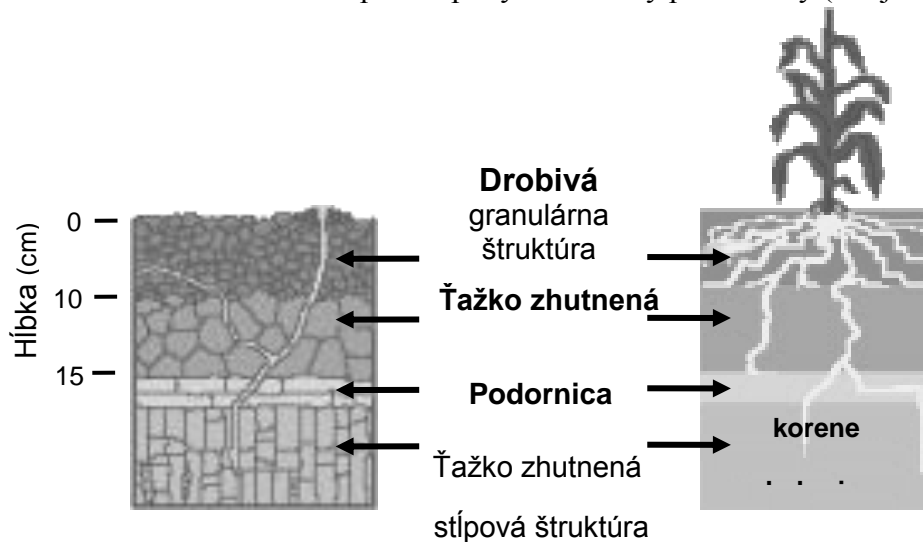
4.2.1 Proces utlačenia pôd

V procese utlačenia možno rozlišovať dva typy tlakového poškodenia pôdy, a to zvrätané, s ľahko navrátilým prechodom do pôvodného stavu pred stlačením, alebo nezvrätané, keď sa poškodený stav nezregeneruje do pôvodného stavu. Oba typy sú ohraničené elastickými resp. plastickými vlastnosťami pôdy. Keďže vlhká pôda je skôr plastická ako elastická, prevláda druhý typ utlačenia, aj keď je medzi nimi ťažko rozlíšiteľná hranica. Plastickým správaním sa prejavujú len jemnejšie prachovité a ílovité častice. Rozsah plasticity závisí predovšetkým od povrchových vlastností ílovitých častíc. V procese utlačenia musia byť jednotlivé častice plastickej pôdy alebo ich agregáty schopné pohybovať sa jeden po druhom, aby mohli zaujať novú polohu s menším objemom systému. Podmienkou je dostatočne nízka kohézia umožňujúca pohyb alebo zmenu polohy častíc a agregátov.

Stlačiteľnosť pôdy v laboratórnych podmienkach možno celkom jednoducho charakterizovať, a to buď štandardnou záťažou, dopadajúcou na povrch pôdnej vzorky z určitej výšky, alebo pôsobením na pôdu určitým tlakom. Závisí predovšetkým od podstaty a vlastností pôdy a od veľkosti záťaže, či tlaku. Veľmi dôležitá úloha v procese utlačenia pôdy pripadá vlhkosti. Filmové povlaky vody okolo pôdných častíc znižujú kohéziu a pôsobia ako mazadlo, ktoré uľahčuje pohyb alebo zmenu polohy pôdných častíc a agregátov. Vplyvom tlaku alebo záťaže dochádza k vyplneniu pórového priestoru pôdnymi časticami a agregátmi. Najskôr sa zaplňujú hrubšie, vzduchom zaplnené póry. Zmenou polohy častíc a agregátov a pri súčasnom odvedení vody z pôdy dochádza k hustejšiemu uloženiu pôdných častíc a agregátov s preskupením kategórie

pórov s väčším priemerom do kategórie pórov s menším priemerom so zmenšením celkového objemu pôdneho systému (Bedrna a i., 1989).

Obr.1. Pôdna štruktúra a kompakcia pôdy a dôsledky pre rastliny (Zaujec a kol., 2008)



Vysušená pôda sa dá len veľmi ťažko stlačiť do stavu vysokej kompaktnosti. S postupným navlhčovaním narastá možnosť utlačenia pôdy. Pre každú pôdu existuje určitý limit vlhkosti z hľadiska možnosti jej maximálnej stlačiteľnosti. Prekročením vlhkosti pôdy za túto hranicu sa zastavuje možnosť ďalšieho znižovania pôdneho objemu utlačením a nastáva miesenie pôdnej hmoty s veľmi škodlivými deštruktívnymi účinkami zhoršenia objemových vlastností pôdy. V ťažkých pôdach pri hodnotení vzťahov medzi navlhčovaním a stlačiteľnosťou treba rátať s opačným pôsobením a procesom napučievania spojeného so zväčšovaním objemu pôdneho systému (Bedrna, a i., 1989).

4.2.2 Faktory utlačania pôd

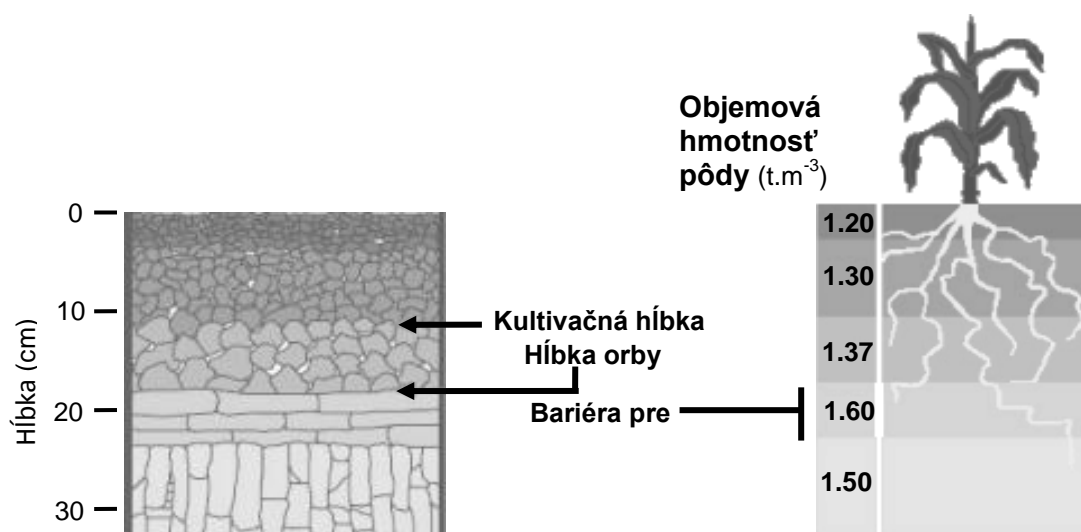
Vo všeobecnosti môžeme príčiny zhutňovania pôdy rozdeliť na prirodzené (primárne) a antropogénne (sekundárne). Medzi hlavné prirodzené príčiny zhutňovania pôdy patria – vysoký obsah ílovitých častíc, veľký podiel určitých skupín ílových minerálov, ilimerizácia, intenzívne (prívalové) dažde, tlak vrchnejších vrstiev pôdy na spodnejšie, málo organickej hmoty a humusu v pôde, trvalejšie zamokrenie pôd atď.

Antropogénne príčiny zhutňovania pôdy môžu mať ráz biologický, chemický a mechanický. Najzávažnejšou príčinou zhutňovania biologického rázu je nedostatočný prísun organickej hmoty do pôdy. Môže byť zapríčinený nevhodnou štruktúrou plodín napríklad pri prevahe plodín zo skupiny spotrebiteľov nad plodinami zo skupiny zdrojov uhlíkatých hmôt, monokultúrne pestovanie plodín, nevhodné technológie chovu hovädzieho dobytku z hľadiska produkcie maštalného hnoja atď. Medzi chemické príčiny zhutňovania patrí nevhodná skladba priemyselných hnojív s vysokým podielom takých, ktoré obsahujú jednomocné kationy spôsobujúce peptizáciu pôdnych koloidov, nedostatočné vápnenie atď.

Veľmi významné sú mechanické príčiny zhutňovania pôd. Patria k nim – vysoký merný tlak poľnohospodárskych strojov na pôdu, nevhodná skladba a typy náradí na obrábanie pôdy, zbytočné prejazdy mechanizačných prostriedkov po poli, neregulovaná doprava na poli, najmä pri nevhodnej vlhkosti, jazda kolesami traktora v brázde po orbe, čím sa zhutňuje podorničie, obrábanie pôdy pri nevhodnej vlhkosti, používanie nevhodných náradí a technologických postupov pri obrábaní pôdy, nedostatočná hĺbka orby (Demo a i., 1995).

Najvýznamnejším faktorom ovplyvňujúcim utláčanie pôdy je textúra. Slabú odolnosť majú ílovité a prachovité častice, zatiaľ čo vysokú odolnosť majú piesočnaté, štrkovité a kamenisté pôdy. Vplyv má i kvalita ílových minerálov, keď nižšiu stabilitu majú pôdy s vyšším obsahom kaolinitu alebo ilitu (Šarapatka a i., 2002).

Obr.2. Objemová hmotnosť, štruktúra pôdy a jej kompakcia (Zaujec a kol., 2008)



Ďalším významným faktorom ovplyvňujúcim utlačanie pôd je jednoznačne vlhkosť pôdy. Prevlhčenie pôdy znižuje jej kohéziu a tým je umožnený pohyb alebo zmena polohy pôdnych zŕn a agregátov. Vysušená pôda sa dá len veľmi ťažko stlačiť do stavu vysokej kompaktie. S postupným zvyšovaním vlhkosti pôdy narastá i možnosť jej utlačenia (Šarapatka a i., 2002).

Intenzívne obrábanie pôdy zvyšuje riziko degradácie pôdneho prostredia čo sa môže prejavovať ako sekundárne zhutňovanie. Ťažké pôdne druhy (ílovito – hlinité a ílovité) sú náchylné na primárne tzv. prirodzené zhutňovanie. Často tu dochádza ku kombinovanému zhutňovaniu, t.j. primárnemu aj sekundárnemu, ktoré je spôsobené výlučne činnosťou človeka. Proces zhutňovania sa odráža v celom súbore pôdnych vlastností, pričom fyzikálne vlastnosti pôdy sú priamym zrkadlom jej stavu z tohto hľadiska. Objemová hmotnosť pôdy a pórovitosť sú najmarkantnejšími ukazovateľmi zhutňovania (Houšková, 1998).

Utlačenie pôdy ovplyvňuje tiež množstvo a kvalita organických látok v pôde. Minerálne pôdy s obsahom humusu menším než 1% (luzizeme, regozeme) majú menšiu schopnosť odolávať kompaktii v porovnaní s pôdami obsahujúcimi 3 – 6% humusu (černozeme, čiernice) (Šarapatka a i., 2002).

Pedokompaktiu znižuje aj kvalitná pôdna štruktúra podporovaná organickou hmotou a uhličitami v pôde. Nízku odolnosť proti kompaktii majú kyslé pôdy s nepriaznivou štruktúrou (Bedrna, 2002).

Používanie ťažkej poľnohospodárskej techniky (zaťaženie nápravy 20t) spôsobuje zhutnenie podornice až do hĺbky 0,6 m. Zhutnenie pôdy korešponduje s kvalitatívnym zastúpením pórov a obsahom využiteľnej vody čo sa následne prejavuje redukciou tvorby koreňového systému. Vplyv zhutnenia podornice na tvorbu konečnej úrody výrazne ovplyvňuje množstvo a rozdelenie zrážok v jednotlivých rokoch (Bujnovský a Juráni, 1995).

Z mechanických faktorov z hľadiska utlačania pôdy je dôležitý typ utlačovacieho mechanizmu, veľkosť a čas trvania záťaže, veľkosť a tvar kolesa, typ a tlak pneumatiky, počet prejazdov po pôde atď. (Bedrna a i., 1989).

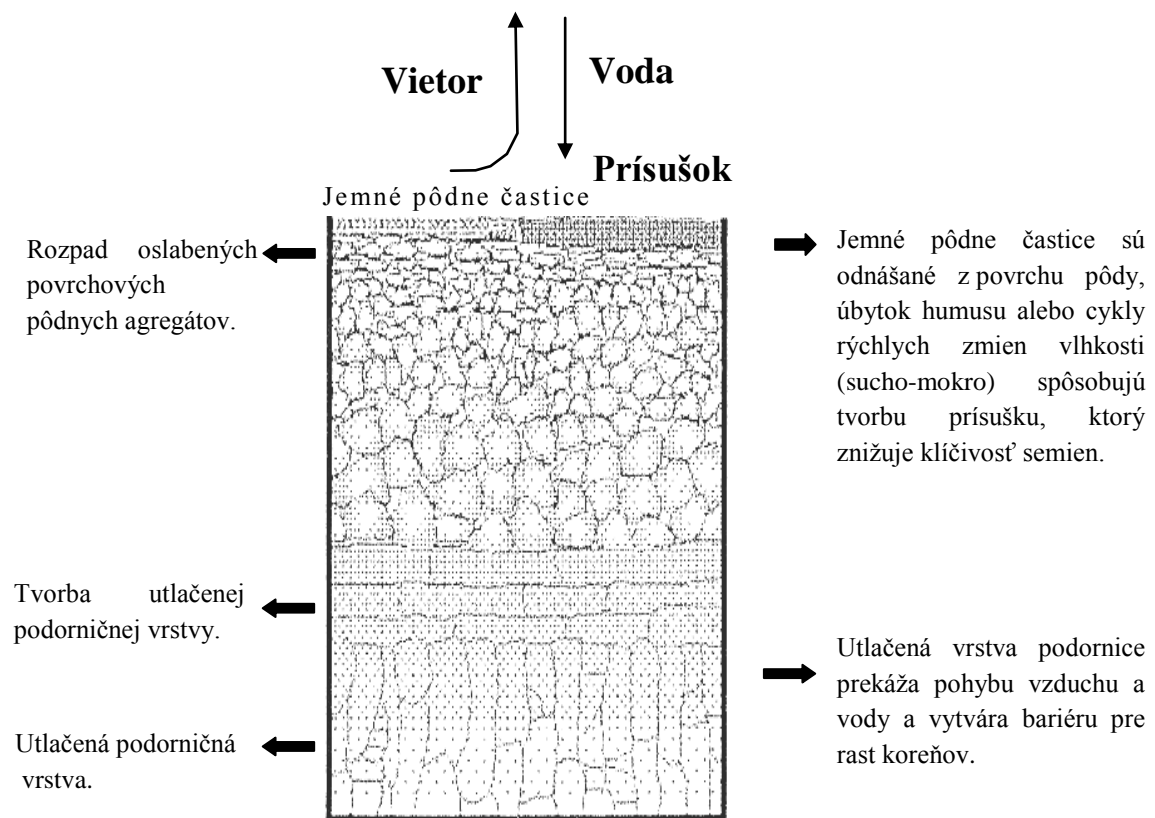
Vizuálne možno o zhutnení usudzovať podľa kaluží, v ktorých dlho po daždi alebo závlahe stojí voda, podľa deformovaných koreňov, podľa malého výskytu pôdnej fauny atď. Pomocou laboratórnych metód možno stav zhutnenia pôdy posúdiť porovnaním celkovej pórovitosti, podľa objemovej hmotnosti pôdy, agregátovými

analýzami, testami priepustnosti pôdy pre vodu. V poli sa stav zhutnenia jednotlivých vrstiev pôdy posudzuje pomocou penetrometrov (Demo a i., 1995).

4.2.3 Utlačenie pôdy v poľných podmienkach

Utlačenie pôdy v poľných podmienkach pri vysokej intenzite poľnohospodárskej výroby s vysokým stupňom mechanizácie poľných prác môže nadobúdať značné rozmery. S utlačením pôdy možno spájať všetky operácie na pôde, s výnimkou základných spracovateľských operácií (Bedrna a i., 1989).

Obr.3. Utlačenie pôdy v poľných podmienkach (Zaujec a kol., 2008)



Utlačenie pôdy vplyvom tlaku kolies mechanizačných a dopravných prostriedkov sa sústreďuje do vyšších vrstiev pôdy. Zapríčiňuje pokles povrchu pôdy v koľajisku s výrazným zmenšením pôdneho objemu, znížením pórovitosti a zvýšením objemovej hmotnosti pôdy so škodlivým dosahom na objemové usporiadanie pôdy. Je príčinou značnej heterogenity objemových zmien pôdy. Jeho rozsah a intenzitu ovplyvňuje celý rad pôdnych a mechanických faktorov. Pôdne faktory sú určené

podstatou a vlastnosťami pôdy vo vzťahu k jej stlačiteľnosti. Z mechanického hľadiska je dôležitý typ utlačovacieho mechanizmu, veľkosť a čas trvania záťaže, veľkosť a tvar kolesa, typ a tlak pneumatiky, tlak kolesa na jednotku plochy pôdy, počet prejazdov po pôde, rýchlosť pri prejazdoch atď. Najvýraznejšie pôsobenie tlaku je vo vrstvách blízko povrchu pôdy. Vo všetkých prípadoch tu presahuje hranicu 100 kPa a postupne s hĺbkou pôdneho profilu klesá.

Hodnota 100 kPa sa všeobecne uvádza ako hraničná hodnota škodlivého pôsobenia tlaku na pôdu za podmienok, že pôda je v priaznivom vlhkosťnom stave, s hodnotou vlhkosti menšou, ako je limit plasticity pôdy. Utlačenie pôdy vplyvom opakovaných prejazdov vedie k zvýšeniu objemovej hmotnosti v ornici.

Aj samotná orba vykonávaná na rovnakú hĺbku a za nevhodných podmienok môže vyvolávať silné utlačenie pôdy pod orníčnou vrstvou s veľmi škodlivým dosahom na zhoršenie fyzikálnych vlastností pôdy.

Pretrvávanie utlačeného stavu pôdy vyvolaného tlakom kolies mechanizačných a dopravných prostriedkov bude závisieť od rekompakčnej schopnosti pôdy ohraničenej jej reakciou na pôsobenie prírodných síl. Väčšie problémy s pretrvávaním utlačenia môžu byť na pôdach s nízkym obsahom aktívneho ílu v oblastiach s nedostatočným premrzaním pôdy.

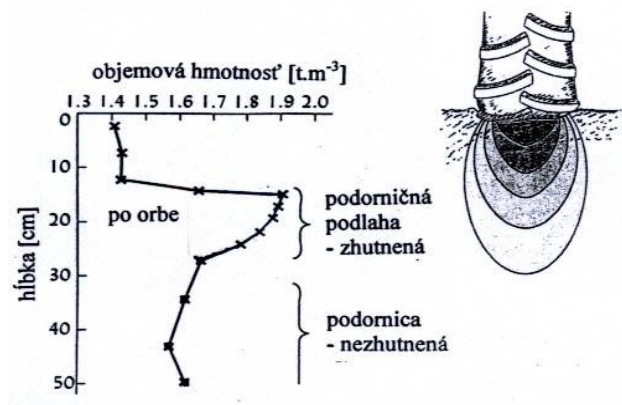
Vážny problém môže predstavovať utlačenie ornice v priebehu vegetačnej sezóny spojené s intenzívnym odberom vody z pôdy (výparom, transpiráciou) a zmršťovaním pôdy. Eliminovanie tohto problému možno riešiť orbou alebo iným nakypovacím zásahom často len po zbere úrody (Bedrna a i., 1989).

4.2.4 Vplyv utlačenia na pôdu a rastliny

Utlačenie pôdy ovplyvňuje všetky aspekty využitia pôdy. Narušenie rovnovážneho objemového pomeru medzi jednotlivými fázami pôdneho systému za určitú hranicu vedie k narušeniu základných funkcií pôdy ako dôležitého prírodného zdroja, stanovišťa kultúrnych rastlín a zložky životného prostredia. Nepriaznivý vplyv utlačenia pôdy nemusí byť ani taký škodlivý pre rastlinu, ako pre samu pôdu a jej funkciu vo vzťahu k zabezpečeniu optimálnych podmienok pre priebeh všetkých fyzikálnych, chemických a biotických procesov v pôde, spojených s regeneráciou pôdnej úrodnosti (Bedrna a i., 1989).

Utláčanie pôdy nepriaznivo vplyva na tvorbu hrčkotvorných baktérii na koreňoch leguminóz a obmedzuje asimiláciu vzdušného dusíka. Vede k rozvoju nežiaducich procesov v pôde, k rozširovaniu chorôb a škodcov. Poškodzuje nielen samotnú pôdu, ale limituje aj výšku úrod a kvalitu produktov dorábaných na pôde. Nadmerná mechanická pevnosť utlačených vrstiev sťažuje obrábanie pôdy, obmedzuje prenikanie a vetvenie koreňov v pôdnom profile. Tým limituje využitie pôdneho objemu, pôdnej vody a živín z pôdy aj z dodávaných hnojív (Bedrna, 2002).

Obr.4. Vplyv orby na pôdu (Zaujec a kol., 2008)



Utláčanie pôd nepriaznivo ovplyvňuje hospodárenie s vodou. Vplyvom utlačenia pôdy sa znižuje pórovitosť a schopnosť akumulovať vodu. Znižuje sa priepustnosť pre vodu, infiltračná a drenážna schopnosť pôdy (Šarapatka a i., 2002).

Za takéhoto stavu sa pôda v rovinných alebo depresných polohách v čase výdatnejších dažďov alebo závlah ľahko zamokruje. V oblastiach s miernym sklonom svahov dochádza k zvýšeniu povrchového odtoku vody z pôdy a k jej nenapraviteľnému poškodeniu vodnou eróziou. Súčasne s tým sa odplavujú z pôdy živiny, humus a ostatné pôdne substancie, dôležité pre úrodnosť pôdy. To vedie k znečisteniu povrchových vodných zdrojov.

Zhoršenie pórovitosti na utlačených pôdach poškodzuje aj vzdušný pôdny režim, výmenu vzduchu medzi pôdou a atmosférou, čím sa brzdí metabolická aktivita koreňov, poškodzuje sa ich zdravotný stav a celková vitalita.

Jednotlivé plodiny reagujú na utlačenie pôdy rôzne. Veľmi citlivé na utlačenie pôdy sú koreňové plodiny, menej citlivé na utlačenie pôdy sú obilniny (Bedrna a i., 1989).

Prílišné zhutnenie pôdy môže byť problémom v tých systémoch rastlinnej výroby, kde sa pestujú rastliny s technológiou sejby do neobrobenej pôdy. Pórovitosť pôdy sa však môže znížiť až do takej miery, že nastane nadmerný odtok vody a jej využiteľnosť pre rast plodín bude obmedzená (Miština a i., 1993).

Rovnako zanedbávanie aplikácie organických hnojív, absencia zeleného hnojenia, nedostatočné vápnenie a nadmerné používanie minerálnych hnojív môže viesť k znižovaniu obsahu a zhoršeniu kvality pôdnej organickej hmoty a tým napomáhať utláčaniu pôd.

Utláčanie pôd negatívne ovplyvňuje všetky agronomické a ekologické aspekty využitia pôdy v produkčnom aj reprodukčnom zmysle, zapríčiňuje výrazné zníženie úrod o 10 – 30 % a nežiaduco ovplyvňuje:

- Fyzikálne, chemické, biologické a hydrofyzikálne vlastnosti pôd
- Efektívnosť využitia živín z pôdy
- Hospodárenie pôdy s vodou – spôsobuje dočasné povrchové zamokrenie pôd
- Zvyšuje sa povrchový odtok vody z pôdy – erózia
- Dochádza k narúšaniu vzdušného a energetického režimu pôd
- Brzdí metabolickú aktivitu koreňov
- Redukuje tvorbu hrčkotvorných baktérií
- Podporuje rozvoj chorôb a škodcov (Kováč a i., 2002)

Jedným zo sprievodných javov utláčania pôdy je erózia, ktorá vzniká ako dôsledok pôsobenia vody a vetra na pôdny povrch. Výrazne sa zrýchľuje a deštruktívne prejavuje najmä v intenzívne využívanej krajine. Erózia poškodzuje rastliny obnažovaním ich koreňov, ale aj zanášaním porastov. Najväčšie straty sa prejavujú na pôde, pretože eróziou sa odnášajú najúrodnejšie vrstvy pôdneho povrchu s dlhodobými následkami prejavujúcimi sa znížením produkčného a ekologického potenciálu erodovaného pozemku. Pôdne častice transportované povrchovo stekajúcou vodou sa môžu kumulovať na úpätí svahov, alebo môžu byť odnášané do hydrologickej siete. Splaveniny zanášajú prirodzené i umelé vodné toky, vodné nádrže, zvyšujú nivelitu ich dna, vyvolávajú nebezpečie nežiaducich inudácií a zvýšenie hladiny podzemnej vody v priľahlých územiach.

Na Slovensku je eróziou poškodená a ohrozená takmer 570 tisíc ha ornej pôdy, čo je až 38 % z celkovej výmery ornej pôdy. Celkový prehľad ohrozenosti poľnohospodárskej pôdy eróziou (Jambor a Ilavská, 1998).

Tab.7. Ohrozenosť poľnohospodárskej pôdy SR vodnou eróziou (Jambor a Ilavská 1998)

Katégorie erodovanosti	Intenzita erózneho ohrozenia	Výmera v ha	% z PPF
1.	bez až slabo ohrozené 0 – 4 t.ha ⁻¹ . rok ⁻¹	1 065 420	45
2.	stredne ohrozené, zmyv 4 - 10 t.ha ⁻¹ . rok ⁻¹	473 520	20
3.	silne ohrozené, zmyv 10 - 30 t.ha ⁻¹ . rok ⁻¹	426 170	18
4.	extrémne ohrozené, zmyv > 30 t.ha ⁻¹ . rok ⁻¹	402 490	17

Tab.8. Ohrozenosť poľnohospodárskej pôdy SR veternou eróziou (Jambor a Ilavská 1998)

Katégorie erodovanosti	Intenzita erózneho ohrozenia	Výmera v ha	% z PPF
1.	bez až mierne ohrozené	2 213 700	93,5
2.	stredne ohrozené	113 650	4,8
3.	silne ohrozené	9 470	0,4
4.	extrémne ohrozené	30 780	1,3

Erózia poľnohospodárskej pôdy nadobudla taký rozmer, že prekročila rámec poľnohospodárskej výroby a stala sa celospoločenským problémom s vážnymi negatívnymi dopadmi na životné prostredie. Následkom vysokého obsahu chemických zlúčenín z priemyselných hnojív, ktoré sa eróziou dostávajú do vodných tokov, dochádza k eutrofizácii vody – prejavujúcej sa nadmerným rozšírením vodnej vegetácie a narušením samočistiacich procesov vo vodných zdrojoch. Okrem vyššie uvedených chemických zlúčenín, do tokov a nádrží sú s pevnými splaveninami odnášané aj chemické látky z pesticídov a herbicídov aplikovaných v poľnohospodárstve (Bielik a i., 1991).

Výskumom sa zistilo, že za dve desiatky rokov sa odplavila z plôch na svahoch nad 5° priemerne 100 mm vrstva pôdy, pritom odnos 10 mm vrstvy pôdy znamená zníženie úrodnosti pôdy o 3 – 30 %. Zrejme záleží na type, hĺbke pôdy a výške jej produkčného potenciálu.

Napriek nebezpečenstvu, ktoré erózia predstavuje, nielen ako deštrukčný činiteľ pôdneho krytu, ale aj ako nebezpečenstvo jeho úplného zničenia, v praxi sa jej riešenie zanedbáva a podceňuje.

Protieróznou ochranou možno v krátkom čase nielen zvýšiť produkciu organickej hmoty, lepšie využiť zásobu živín, vody, slnečnú energiu, ale stabilizovať aj vnútro – ekosystémový obsah látok a podstatne zlepšiť životné prostredie. Dôležitým opatrením protieróznej ochrany pôdy je správne obrábanie pôdy, najmä vrstevnicová agrotechnika. Takýto spôsob agrotechniky na svahovitom teréne znižuje zmyv o viac ako 60 % a zvyšuje úrody o 12 – 25 %. Protierózne pôsobí aj rotácia plodín s ochranným účinkom, t.j. zaraďovanie do poľného sledu iba také plodiny, ktoré čo najviac chránia pôdu pred eróziou (oziminy, viacročné krmoviny, trávy, d'atelinoviny a ich miešanky). Bezorbová agrotechnika v kombinácii s mulčovaním tvorí najsilnejší článok ochrany pôdy pred veternou eróziou (Kutílek, 1978).

Hlavným cieľom protieróznej ochrany je udržiavať patričnú úroveň úrodnosti pôdy a zamedzovať znečisťovaniu vody. Protierózna ochrana pôdy si vyžaduje dodržiavanie troch základných opatrení:

- Zamedziť antropogénnym vplyvom, ktoré zrýchľujú erózne procesy, ktoré vyplývajú z nesprávneho využívania a obrábania pôdy.
- Zvýšiť protieróznou odolnosť pôdneho povrchu zlepšením štruktúrneho stavu pôdy a racionálnym využívaním pôdoochranného účinku porastov.
- Chrániť pôdu proti erózii takými prostriedkami, ktorými možno čeliť deštrukčným účinkom vody a vetra na obnaženom pôdnom povrchu (Bielik a i., 1991).

4.2.5 Objemové zmeny vyvolané mechanickým utlačením a jeho vplyv na zmeny fyzikálneho stavu pôd

Mechanické utlačenie je významným činiteľom ovplyvňujúcim objemové zmeny pôdy, ku ktorým dochádza pôsobením tlaku mechanizačných a dopravných prostriedkov používaných na pôde v pestovateľskej praxi. Utlačenie možno spájať so zmenšením objemu pôdneho systému, poklesom pórovitosti a zvýšením objemovej hmotnosti. Keďže základná pôdna hmota ani pôdny roztok sa prakticky nedajú stlačiť, zmenšenie pôdneho objemu treba spájať predovšetkým so zmenšením objemu pórov,

predtým zaplnených vzduchom, prípadne zmenou ich usporiadania, kontinuity a podobne.

Keď je pôda v čase utlačenia nasýtená vodou nad hranicu, ktorá prevyšuje limit plasticity, potom okrem utlačenia môže dôjsť k premieseniu základnej pôdnej hmoty s rôznym stupňom deštrukcie agregátov a likvidáciou pôdnych pórov. Následné vysušenie pôdy vedie k podstatnému zmenšeniu objemu, s výrazným nárastom objemovej hmotnosti a kompaktnosti pôdy s veľmi negatívnym dosahom na mechanické vlastnosti.

So zmenami objemových vlastností vyvolaných utlačením sa zásadne mení správanie sa pôdy nielen voči pôsobeniu mechanických síl, ale rovnako aj voči pôsobeniu prírodných síl. Menia sa podmienky pre priebeh fyzikálnych, chemických a biotických procesov v pôde. Tieto zmeny nemusia byť také dôležité pre rastlinu ako pre samotnú pôdu z hľadiska priebehu procesov spojených s reprodukciou jej úrodnosti (Miština a i., 1993).

4.2.6 Preventívne opatrenia proti utláčaniu pôd

Technické:

- znižovanie tlaku na pôdu (odľahčenie pojazdových mechanizmov, dvojmontáže, nízkotlakové pneumatiky, pásové mechanizmy, zaťaženie osí – rozloženie nákladu na viacero osí, ťahané mechanizmy uprednostniť pred nesenými), limit 6 t na nápravu alebo 150 kPa, prípadne 8 t na tandem,
- aplikácia bezpojazdových technológií.

Organizačné:

- vstup na pole len keď má pôda primeranú vlhkosť (vylúčenie prejazdov pri nadmernej vlhkosti pôdy), limit: 80 % PVK (pôdnej vodnej kapacity) pre stredne ťažké a ťažké pôdy, 90 % PVK pre piesčité pôdy,
- vylúčenie alebo aspoň obmedzenie dopravy po poli (oddelenie poľnej a cestnej dopravy),
- obmedzovanie prejazdov po poli agregáciou operácií,
- aplikácia technológií s riadenými prejazdmi po poli (kol'ajové medziriadky),

- optimálne využívanie sily mechanizmov (pri preťažení dochádza k prešmykovaní, v opačnom prípade dochádza obyčajne k zbytočnému zaťaženiu pôdy ťažným mechanizmom),
- optimálna rýchlosť (pri nízkej rýchlosti vyšší stláčací efekt, pri vysokej jeho znásobovanie vibráciami).

Agrotechnické:

- vhodné oševné postupy (štruktúra osevu, dodržanie zásad striedania plodín, dostatočné zastúpenie štruktúrotvorných plodín),
- zvyšovanie odolnosti pôdy voči zhutneniu (dostatočné organické hnojenie, zelené hnojenie, racionálne vápnenie).

Pôdoochranné:

- hĺbkové mechanické kyprenie (zahrňujúce prípravu pozemku - výber vhodnej predplodiny včas opúšťajúcu pozemok, voľbu vhodného kypriaceho náradia, dodržanie technologickej disciplíny pri vhodnej vlhkosti pôdy 25 - 30 %),
- následné zúrodňovacie opatrenia stabilizujúce účinok hĺbkového kyprenia:
 - následné prejazdy oddialiť možno až do jari, najmenší odstup 3 týždne,
 - niektoré operácie spracovania pôdy je možné vďaka hĺbkovému kypreniu vynechať,
 - diferencovaná úprava oševného postupu s voľbou hĺboko koreniacich štruktúrotvorných plodín,
 - diferencované hnojenie – vápnenie podľa potreby, voľba nekyslých a nepeptizujúcich hnojív, profilová aplikácia hnojív podľa potreby podporujúca biologické oživenie hlbších častí pôdneho profilu (Kobza a i., 2005).

4.2.7 Opatrenia na zmiernenie a odstránenie utláčania pôd

V pôdach deficitných teda tých, kde sa stretávame napr. s extrémnym zrnitostným zložením, je nutné pristúpiť k náročnejším melioračným opatreniam. Na ťažkých pôdach ide o vyláhčovanie, kde k najstarším spôsobom patrí pieskovanie alebo navážanie popola. Avšak k tomuto opatreniu je dnes množstvo výhrad, pretože po aplikácii piesku môže dôjsť k jeho spojeniu s ílovými minerálmi a naopak k spevneniu pôdy.

K účinným vyľahčovacím hmotám patria organické hnojivá pokiaľ sú aplikované v dostatočnej dávke. Je dôležité použiť kombináciu týchto hnojív spolu s hlbokým mechanickým zásahom (Šarapatka a i., 2002).

Dávka organických hnojív by sa mala pohybovať od $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, na organické hnojenie môžeme použiť maštalný hnoj, kompost, slamu. Organické hnojivá majú pozitívny vplyv na mechanické vlastnosti ťažkých pôd, fyzikálne režimy a podporujú celkovú biologickú aktivitu. Vyľahčenie pôdy musí zahŕňať nielen ornicu, ale aj podorničie (Hlušičková a Lhotský, 1994).

Najviac používanou technológiou odstraňovania utlačených vrstiev je hĺbkové kyprenie so súčasťou aplikáciou rôznych stimulátorov regenerácie pôdnej štruktúry, napr. organické látky, vápenaté hnojivá a iné komponenty.

Dôležitá je i podpora stability pôdnych agregátov, kedy najbežnejším chemickým stabilizátorom je vápnik. Stabilizácia môže byť i fyzikálna s tepelnou a magnetickou stabilizáciou (Šarapatka a i., 2002).

Chemická stabilizácia štruktúry – zahŕňa posilňovanie tvorby a stability pôdnych agregátov a elimináciu tých javov a procesov v pôdnom prostredí, ktoré pôsobia destabilizačne. Patrí k nej tiež znižovanie objemovej hmotnosti ťažkých pôd. Najbežnejším chemickým stabilizátorom je vápnik. Vápnik upraví reakciu kyslých pôd, vyvolá vyzrážanie pôdnych koloidov a tak vytvorí predpoklady k tvorbe pôdnych zhlukov a neskôr agregátov. Následnými procesmi v pôde sa vápnik dostáva do kremičitanovej formy a v tejto podobe akéhosi umelého „skeletu“ posilňuje odolnosť pôdnych agregátov.

Pre melioráciu štruktúry veľmi ťažkých pôd boli a sú skúšané rôzne syntetické látky. Štruktúrotvorne pôsobia makromolekulárne látky s lineárnou štruktúrou, väčšinou odvodené od kyseliny polyakrylovej. Účinné sú už v relatívne nízkych dávkach (0,01 – 0,1%). Princíp účinnosti je v umelom pútaní ílovitých častíc do zhlukov. Doba pôsobenia je závislá na rozpustnosti látky, na pevnosti väzieb a na odolnosti voči rozkladným procesom v pôde (2 – 10 rokov). Ide o látky, ktoré pôdnemu prostrediu neškodia, sú ale veľmi drahé a preto sa v praxi nepoužívajú, resp. iba výnimočne. Podobný účinok má u nás známy a overený latex (0,01%).

Ako veľmi účinné sa ukazujú *fyzikálne princípy stabilizácie* pôdnej štruktúry. Používajú sa dve metódy – tepelná a magnetická meliorácia pôdnej štruktúry.

Tepelná stabilizácia – vychádza z princípu nevratných zmien v mineralogickom zložení ílu vplyvom vysokej teploty, ktoré sa prejavujú znížením objemovej hmotnosti ílu a zvýšením pevnosti agregátov.

Magnetická stabilizácia – je založená na účinku magnetického poľa na magnetizovateľné častice v pôde. Magnetické pole vyvoláva zmeny pôdných pochodov postihujúcich fyzikálne, mikrobiologické a chemické charakteristiky pôdy. Tieto zmeny následne prispievajú k tvorbe novej štruktúry pôdy s lepšou odolnosťou voči negatívnym vplyvom a zlepšujú vlastnosti ťažkých aj silne zhutnených pôd (zvýšením priepustnosti pre vodu a vzduch, zlepšenie spracovateľnosti). Zmeny vplyvom magnetizácie sú podmienené prítomnosťou feromagnetických častíc v pôde, predovšetkým rozptýlených železitých minerálov, čo v praxi znamená obsah železa 2 – 3%. Magnetizáciu pôdy je možné aplikovať pri spracovaní pôdy v celom jej profile, v ornici, podornici i spodine.

V súčasnosti najlacnejšou a spoľahlivou cestou meliorácie pôdnej štruktúry ťažkých pôd sú *biologické spôsoby*. Pôsobia sami o sebe a sú súčasne neoddeliteľnou súčasťou a sprievodnou zložkou všetkých ostatných (mechanických, chemických, fyzikálnych) opatrení k meliorácii pôdnej štruktúry. Základom je vhodná štruktúra plodín s dostatočným zastúpením hlboko koreniacich strukovín, účelné striedanie plodín v osevnom postupe a dostatočný prísun organickej hmoty do pôdy vrátane zeleného hnojenia (strniskové plodiny, podsevy). Ich spoločným pôsobením sa vytvára z nestabilnej primárnej štruktúry stabilná sekundárna štruktúra (Hlušičková a Lhotský, 1994).

Podľa Zrubca (1998) môžeme utláčanie pôd obmedziť:

- znížením počtu operácií obrábania pôdy,
- vylúčením mechanického obrábania pôdy v mokrom stave,
- používaním flotačných pneumatík na strojoch a náradí,
- kyprením podpovrchových vrstiev pôdy,
- zabraňovaním prehrievaniu a vysušovaniu pôdy,
- regulovaním vodného a vlhkostného režimu pôdy,
- zmenou štruktúry plodín.

Houšková (1998) udáva, že základom je obrábanie pôd pri vhodnej vlhkosti, najmä v podornici a to v intervale: medza súdržnosti a dolný index plasticity. Toto pravidlo je dôležité dodržať najmä u pôd náchylných na sekundárne zhutňovanie.

Na odstránenie nepriaznivého vplyvu mechanizácie na pôdu sa využívajú celý rad opatrení. Niektoré slúžia na okamžitú nápravu spôsobených škôd, inými znižujeme rozsah negatívneho pôsobenia, alebo pôsobíme nepriamo na ich odstránenie. Medzi takého opatrenia patria:

a) Odstránenie uľahnutosti pôdy do hĺbky orby sa dá pomerne ľahko urobiť správnym vykonaním hlbkej orby. K odstráneniu uľahnutosti pôdy v podorničných horizontoch využívame predovšetkým hĺbkové kypriče. Kypriče musia vždy pracovať pod utuženou vrstvou a pokiaľ je to možné, mali by rozrušiť celú hĺbku uľahnutého podorničia. Pôda sa má kypriť keď je primerane suchá, t.j. keď je obsah vody na hranici plasticity. Ak sa robí kyprenie pôdy pri vyššej vlhkosti, vtedy pracovné orgány kypriča majú obmedzený účinok a vo vlhkých vrstvách sa pôda lepí a maže a tak sa ešte viac utužuje. Najlepší kypriaci efekt sa dosiahne v lete po zbere obilnín. Podľa pôvodu a intenzity zhutnenia prichádzajú do úvahy najmä tieto mechanické zásahy:

- podrývanie do 0,40 m (orba do hĺbky 0,28 – 0,30 m s podrývaním do hĺbky 0,40 m),
- dlátovanie do 0,40 m (stredne hlboké kyprenie),
- prehlbovací orba (na pôdach s plytkou ornou a bezkamenitým uľahnutým podorničím),
- hĺbkové kyprenie do 0,60 m i viac (hlboké pôdy s uľahnutými podorničnými horizontmi),
- hlboká melioračná orba (len na hlbokých humózných pôdach),
- krtičia drenáž ako súčasť hĺbkového kyprenia (pri odstraňovaní uľahnutosti na zamokrených ťažkých pôdach s obsahom ílovitých častíc nad 60 %).

b) Agregácia náradia a využitie minimalizačných systémov pri spracovaní pôdy. Podľa charakteru pôdy a klimatických podmienok je možné tieto racionalizačné opatrenia využiť prakticky na všetkých stanovištiach. Jedná sa o spájanie pracovných operácií a uplatňovanie niektorých minimalizačných prvkov pri spracovaní pôdy. Najmä pri jarnej predsejbovej príprave pôdy treba obmedziť prejazdy po poli. V tomto období spôsobené škody v pôdnom prostredí sa výrazne prejavujú na vzchádzaní a pri ďalšom raste jarých plodín.

c) Zavedenie sejby s vytváraním koľajových riadkov má v súčasnej dobe svoje opodstatnenie. Vytvorenie koľajových riadkov ako vodiacich stôp pre pohyb

mechanizmov má svoje opodstatnenie najmä pri hustosiatych obilninách. Uskutočňovanie niektorých agrotechnických zásahov (prihnojovanie, chemická ochrana rastlín) sa týmto opatrením môže urobiť aj v neskoršom období vegetácie obilnín bez toho, že by sa porast podstatnejšie poškodil. Kolajové riadky prispievajú k obmedzovaniu náhodného utuženia pôdy. Pri vstupoch do porastov bez kolajových riadkov, kedy sa mechanizmy pohybujú vždy na inom mieste, sa pôda utláča na 40 – 50 % celkovej plochy pozemku. Pri sústredení pracovných jász do kolajových riadkov sa obmedzia škody na vnútornej stavbe pôdy a stopy po kolesách mechanizmov je možné aj skypríť.

- d) Znižovanie uľahnutosti pôdy pomocou koreňového systému pestovaných plodín patrí medzi biologické opatrenia. Napríklad pri pravidelnom pestovaní medziplodín sa zvýšila pórovitosť pôdy až o 5 %. Za biologické spracovanie pôdy v interakcii s mechanickými zásahmi do pôdy je možné považovať aj mnohostranné pôsobenie organického hnojenia a hlbokokoreniacich rastlín. Veľmi významný vplyv na pôdu majú aj dážd'ovky spolu s mikroorganizmami. Na menej úrodných pôdach vápnenie možno považovať za chemický pluh. Vápnik okrem vplyvu na chemizmus pôdy výrazne zlepšuje prevzdušnosť pôdy, vďaka jeho štruktúrotvorným a stabilizačným účinkom.
- e) Pri technickom zlepšovaní strojov a náradí musí ísť predovšetkým o znižovanie tlaku na jednotku plochy. Z hľadiska technického môžeme zníženie merných tlakov na pôdu pri kolesových prostriedkoch riešiť nasledovne – zaviesť používanie radiálnych pneumatík na traktoroch a samochodných strojoch. Nevýhodou týchto pneumatík je, že sa nedajú používať na strojoch, ktoré jazdia po verejných komunikáciach. Ďalšou z prevencií, ako zabrániť nežiadúcemu utláčaniu pôdy je aj dostatočné vybavenie poľnohospodárskych podnikov potrebnou technikou, pretože zber, alebo spracovanie pôdy v agrotechnickom termíne neprináša také riziko utláčania, ako za zhoršených klimatických podmienok najmä v neskorom jesennom a jarnom období.

Prevenia utláčania pôd spočíva v odľahčovaní techniky, oddelení cestnej a poľnej dopravy, v racionálnej úprave výmery a tvaru pozemkov, v znížení počtu vjazdov na pole, obmedzení počtu prejazdov po poli a v šetrnom spôsobe obrábania pôdy a ošetrovania rastlín (Demo a i., 1995).

4.3 ORGANICKÁ HMOTA A JEJ VZŤAH K PEDOKOMPAKCIÍ

Pôdna organická hmota je veľmi dôležitým faktorom, ktorý vplýva na pedokompakciu.

Pedokompakciu ovplyvňuje množstvo a kvalita organických látok v pôde. Minerálne pôdy s obsahom humusu menším než 1% (luzizeme, regozeme) majú menšiu schopnosť odolávať kompakcii v porovnaní s pôdami obsahujúcimi 3 – 6% humusu (černozeme, čiernice) (Šarapatka a i., 2002).

Tab.9. Obsah humusu v pôdných typoch Slovenska (Bedrna, 2002)

Pôdny typ	Lesné pôdy (t.ha⁻¹)	Poľnohospodárske pôdy (t.ha⁻¹)
Regozem	50 – 110	40 – 90
Luzizem	160 – 190	85 – 190
Hnedozem	160 – 290	120 – 180
Pseudoglej a glej	140 – 230	120 – 180
Rendzina	100 – 240	130 – 210
Černozem	250 – 500	100 – 220
Fluzizem	180 – 360	150 – 350
Podzol	300 – 560	300 – 550
Kambizem	160 – 600	130 – 450
Čiernica	350 – 650	200 – 600

Organická hmota patrí k najdôležitejším štruktúrotvorným látkam – jej dostatočný prísun je podmienkou tvorby požadovanej štruktúry pôdy i ako preventívne opatrenie proti poškodeniu pôdy zhutnením. Organická hmota v pôde je zdrojom výživy mikroorganizmov, zdrojom živín pre rastliny a zdrojom látok pre vznik humusu v pôde. Po stránke pôdnej mechaniky zvyšuje väčší podiel organickej hmoty v pôde odolnosť pôdnej štruktúry voči deformácii (Hlušičková a Lhotský, 1994).

Organická hmota pôdy je zložitým, heterogénnym, polydisperzným súborom organických látok rozličného pôvodu s premenlivým zložením, stupňom disperzity, aktivity a tým i vzťahom k ostatným zložkám pôdnej hmoty a živým organizmom. Formuje sa súčasne s ostatnými zložkami pôdy v pôdotvornom procese pôsobením

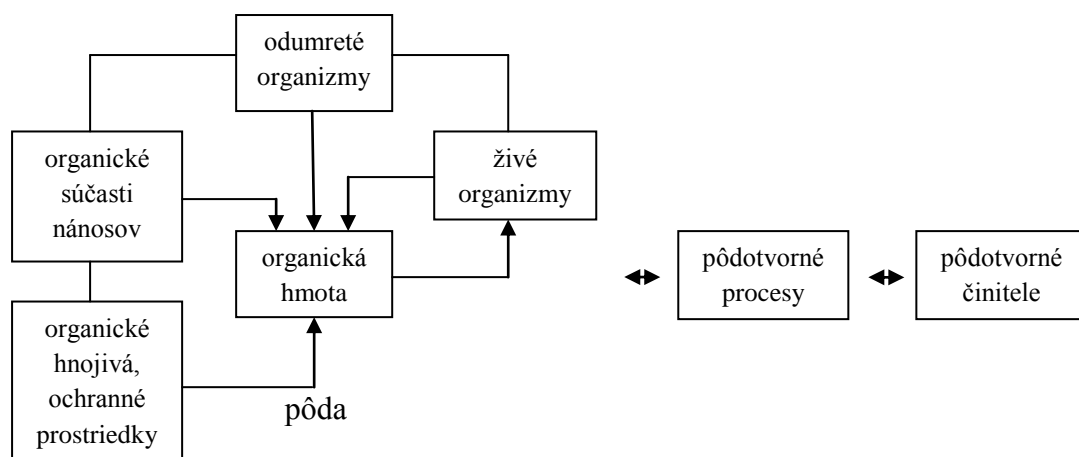
pôdotvorných činiteľov. Podstatu zložitého súboru tvoria humusové látky špecifickej a nešpecifickej povahy, t.j. jednoduchšie identifikovateľné zlúčeniny a zlúčeniny so zložitou stavbou, zložením a vlastnosťami. Tieto látky môžu byť biologického i abiotického pôvodu formujúce sa za účasti enzýmov a minerálnej časti pôdy ako katalyzátorov. Nachádzajú sa väčšinou v pevnej, ale často i v kvapalnej a plynnej fáze pôdy. Vyznačujú sa rozličnou rozpustnosťou, pohyblivosťou a funkciou (Sotáková, 1982).

Pôdna organická hmota je kľúčovou zložkou pôdy. Je tvorená organickými zvyškami rastlín a živočíchov, živými organizmami a humusom ako produktom rozkladu a humifikácie organických látok v pôde. Pôdna organická hmota je významná z hľadiska pôdnej úrodnosti, ochrany proti erózii, zvyšovania pufračnej kapacity a udržiavania biodiverzity. Hlavným komponentom pôdnej organickej hmoty je organický uhlík. Odhaduje sa, že každoročne je v pôde uložených vo forme organickej hmoty 2 Gt uhlíka, čo je významný podiel z odhadovaných emisií 8 Gt uhlíka ročne. Predpokladá sa preto, že týmto spôsobom môže pôda významne pozitívne ovplyvňovať klimatické zmeny. K stratám pôdnej organickej hmoty dochádza nevhodnými poľnohospodárskymi praktikami, vodnou a veternou eróziou (Sánka a Materna, 2004).

Základnou charakteristikou organickej hmoty v pôde je jej ustavičná premenlivosť (Nováková, 1984).

Tvorba organickej hmoty pôdy má svoje vnútorné a vonkajšie (priestor, hĺbka) zákonitosti, ktoré súvisia s biologickou produktívnosťou, biochemickou aktivitou, hydrotermickými a geochemickými podmienkami prírodného i kultúrneho prostredia. Pôvodom zložitého súboru organických látok sú produkty činnosti rozličných skupín organizmov, výlučky a metabolity, odumreté zvyšky organizmov ukladajúce sa na pôde alebo v rozličnej hĺbke pôdy a organické zložky nánosov. V obhospodarovaných pôdach sa dostávajú do pôdy okrem pozberových zvyškov pestovaných rastlín aj organické hnojivá a ochranné prostriedky (Sotáková, 1982).

Obr.5. Tvorba organickej hmoty (Sotáková, 1982)



pôdotvorné procesy – mineralizácia, humifikácia, rašelinenie, karbonizácia

pôdotvorné činitele – organizmy, klíma, materská hornina, činnosť človeka, reliéf, vek

Priestorová i vnútorná rôznorodosť a premenlivosť je výsledkom cyklického charakteru činnosti pôdných organizmov, vyšších rastlín, striedania podmienok vlhkosti a teploty, reakcie, oxidačno – redukčného režimu pôdy a priebehu protichodných reakcií. Táto rôznorodosť a premenlivosť organickej hmoty má však zákonitý charakter. Pohybuje sa v určitom rozpätí, ktoré zodpovedá vytváraniu rovnovážneho stavu charakteristického pre každý pôdny typ, jeho umiestnenie v reliéfe, hĺbku a štruktúrny charakter.

Organická hmota pôdy je tá súčasť pôdy, ktorá ju odlišuje od horniny a ktorá pôde zabezpečuje úrodnosť. Jej zastúpenie a zloženie je významným morfológickým znakom. Jednotlivé zložky sa podieľajú na tvorbe sorpčného komplexu, štruktúrnych agregátov, objemovej a mernej hmotnosti, zásob energie a biogénnych prvkov. Organické látky pôdy majú vplyv na formovanie priaznivých fyzikálnych a technologických vlastností, vodno – vzdušného potenciálu a tepelného režimu, sorpčnej schopnosti, oxidačno – redukčného režimu a chemizmu vôbec. Nechýbajú medzi nimi enzýmy, vitamíny, antibiotiká, stimulatory a inhibitory, ktoré sa vznačujú priamym fyziologickým účinkom na živé organizmy. Významná je aj sanitárno – hygienická úloha organických látok v pôde.

Veľkosť akumulácie organickej hmoty v pôdach je výsledkom súčasného pôsobenia zložitého komplexu činiteľov prírodného prostredia a činnosti človeka. Sú to však najmä organizmy – rastliny, živočíchy a mikroorganizmy, ktoré v meniacich sa

podmienkach vlhkosti, teploty, fyzikálnych, chemických a fyzikálno – chemických vlastností substrátov a pôd produkujú organickú hmotu (Sotáková, 1982).

Primárnym zdrojom humusotvorného materiálu sú na poľnohospodárskej pôde najmä pozberové a koreňové zvyšky rastlín. Tieto však kryjú ročnú potrebu organických látok na ornej pôde v závislosti od štruktúry pestovaných plodín iba asi na 50-60 %. Deficit organickej hmoty musíme doplniť organickými hnojivami.

Významným zdrojom organických látok je maštalný hnoj. Produkcia tohto klasického organického hnojiva je na Slovensku nízka. Na vyhnojenie len 25 % ornej pôdy aspoň dávkou 30 t je potrebné až 11 miliónov ton. Norma v krajinách Európskej únie povoľuje aplikovať ročne maximálne 40t/ha organických hnojív. Preto na regulovanie humusového režimu orných pôd možno využiť aj hnojovicu, najvýhodnejšie v týchto kombináciách: hnojovica + slama, hnojovica + zelené hnojenie, hnojovica + slama + zelené hnojenie.

O najvhodnejšej kombinácii rozhoduje zastúpenie plodín v osevnom postupe, pôdny druh, pôdna vlhkosť a termín aplikácie hnojovice. Výhodným spôsobom zúžitkovania hnojovice je jej kompostovanie (Zaujec a i., 2002).

Tab.10. Vypočítaná produkcia organických hnojív zo živočíšnej výroby na Slovensku (Zaujec, 2002)

Rok	Hovädzí dobytok	Ošípané	Ovce	Hydina	Spolu (t)	t/ha p.p.	t/ha o.p.
1989	1 559 400	2 410 400	482 400	12 247 300	36 516 400	14,7	24,5
	15 594 000	19 283 000	1 447 200	192 200			
1993	1 048 900	1 787 100	342 500	8 757 900	25 975 800	10,4	17,4
	10 489 000	14 296 800	1 027 500	162 500			
1998	704 800	1 592 600	326 200	13 116 800	20 977 300	8,4	14,5
	7 048 000	12 740 800	978 600	209 900			

Ďalším zdrojom, ktorým dodávame do pôdy organickú hmotu s minimálnymi nákladmi je priame hnojenie slamou (včítane kukuričia). Je však dôležité vzhľadom na široký pomer C : N v tomto zdroji (80 - 90 : 1) vyrovnať deficit dusíka, aby pri mikrobiálnom rozklade slamy nedochádzalo k zníženiu prístupného dusíka v pôde. Prihnojenie zapravenej slamy dusíkom a fosforom tiež zintenzívňuje procesy premeny slamy.

Hnojenie zelenou fytomasou je veľmi účinné zúrodňovacie opatrenie na všetkých pôdach, ktorým sa nahrádza nedostatok maštalného hnoja. Mimoriadne

uplatnenie má mať predovšetkým v špecializovaných poľnohospodárskych podnikoch bez živočíšnej výroby, ale aj na honoch s nízkou produkčnou schopnosťou, alebo osevných postupoch s vysokým zastúpením obilnín. Zvlášť významné je hnojenie zelenou organickou hmotou v pásmach hygienickej ochrany vôd.

Doplňkom hospodárskych organických hnojív môžu byť priemyselné komposty, pri výrobe ktorých sa používa rašelina a rozličné druhy domového i priemyselného odpadu.

Ak sa zvolia správne sústavy hospodárenia (štruktúra zastúpenia plodín v osevnom postupe), systematické hnojenie organickými hnojivami (na podklade poznania zásoby humusu a jeho kvality v konkrétnych pôdach) ako aj cieľavedomé používanie minerálnych hnojív, nedochádza k úbytku organickej hmoty a zaznamenáva sa mierny vzostup humusu (Zaujec a i., 2002).

4.3.1 Úloha organickej hmoty v tvorbe pôdy a jej úrodnosti

Pôsobenie organickej hmoty v pôdotvornom procese súvisí s jej hlavnou funkciou premeny materskej horniny na pôdu, so všetkými znakmi, zložkami a vlastnosťami. Akumulácia organickej hmoty v povrchových vrstvách hornín a pôd sa uskutočňuje v nepretržitom procese syntézy a rozkladu organických látok. Výdatným činiteľom a tvorcom organických zlúčenín v procese fotosyntézy sú vyššie rastliny, ktoré majú hlavný podiel na vytváraní zásob humusotvorného materiálu. Transformátormi odumretých zvyškov sú pôdne živočíchy a mikroorganizmy, ktoré predovšetkým majú zásluhu pri rozklade týchto zvyškov, ale aj pri syntéze špecifických humusových látok. Jedným zo základných znakov, ktoré odlišujú pôdu od materskej horniny je prítomnosť organickej hmoty, ktorej množstvo a charakter do značnej miery určuje smer pôdotvorných procesov, biochemických, chemických, fyzikálnych vlastností a úrodnosť pôdy.

V povrchových horizontoch pôd sa v organickej hmote akumuluje potenciálna energia a biogénne prvky. Preto najmä zásluhou organickej hmoty pôda nadobúda schopnosť produkcie nových pokolení živých organizmov, nadobúda úrodnosť. Prítomnosť humusu v pôdach umožňuje zásobovanie vyšších rastlín a mikroorganizmov uhlíkom, dusíkom, fyziologicky aktívnymi látkami, ale aj sprístupňovanie mnohých makro i mikroprvkov, najmä fosforu, draslíka, síry a železa. Organické látky sa aktívne

zúčastňujú na tvorbe štruktúrnych agregátov, porózności, kyprostí povrchových horizontov, na tepelnej bilancii, na veľkosti sorpcie, na zložení a aktivite výmenných kationov, na regulovaní pôdnej reakcie, oxidačno – redukčného potenciálu, na chemickej i biologickej detoxikácii pôd a na zvyšovaní celkovej biologickej aktivity. V pôdotvorných procesoch, ako aj pri formovaní úrodnosti pôd spĺňa humus dvojakú úlohu, a to účasť na zložitých biochemických i geochemických premenách uskutočňujúcich sa pri rozklade a syntéze organických a minerálnych zlúčenín (Sotáková, 1982).

4.3.2 Bilancia organickej hmoty v pôde a utláčanie pôd

Organická hmota v pôde je základnou súčasťou pôdy, ktorá má nezastupiteľnú funkciu v pôdotvornom procese a pri formovaní pôdnej úrodnosti. Obsah a kvalita pôdneho humusu ovplyvňujú priamo či nepriamo fyzikálne, chemické, biologické a environmentálne vlastnosti pôd.

Humus obsahom a kvalitou, priamo i nepriamo ovplyvňuje fyzikálne vlastnosti pôd a tým i pôdnu úrodnosť. Hlavne pôdnu štruktúru a tým i vytváranie optimálnych podmienok pre príjem vody a živín, v prírodných podmienkach, kde človek nemôže tieto podmienky pre rastliny umelo vytvoriť, túto úlohu regulátora väčšiny nevyhnutných parametrov pre rast rastlín plní humus. Význam humusu pre fyzikálne vlastnosti pôd je tým väčší, čím sú nepriaznivejšie podmienky stanoviska.

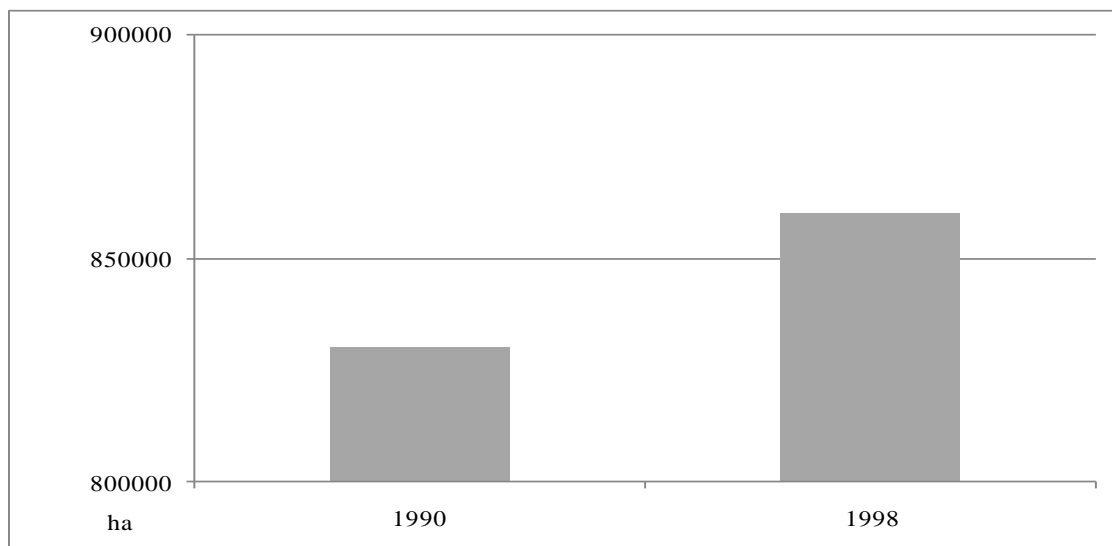
Podľa Strutta 3% obsah humusu, ale i nižší obsah môže byť dostatočný na dlhodobú produkciu obilnín na stabilných pôdach, ale stáva sa nedostatočným na nestabilných pôdach s vysokým obsahom piesku a prachu. Greenland zistil, že nekarbonátové pôdy s obsahom pôdnej organickej hmoty < 3,4% sú náchylné k zhoršovaniu pôdnej štruktúry, kým pôdy obsahujúce > 4,3% humusu považuje za veľmi stabilné (Zaujec, 2002).

Najzávažnejšou príčinou zhutňovania biologického rázu je nedostatočný prísun organickej hmoty do pôdy. Môže byť zapríčinený nevhodnou štruktúrou plodín napríklad pri prevahe plodín zo skupiny spotrebiteľov nad plodinami zo skupiny zdrojov uhlíkatých hmôt, monokultúrne pestovanie plodín, nevhodné technológie chovu hovädzieho dobytku z hľadiska produkcie maštalného hnoja atď. (Demo a i., 1995).

Dôležitá je zásada striedania plodín a využívania zeleného hnojenia. Účinok zeleného hnojenia závisí od druhu pestovaných plodín na danom stanovišti a potrebné je zohľadniť aj nároky jednotlivých plodín na pôdny druh, vlahu, teplotu a dĺžku vegetácie. Cieľom je, aby vyprodukovali veľké množstvo fytohmoty za relatívne krátke vegetačné obdobie. Výhodou je hlboko koreniaci koreňový systém a schopnosť obohacovať pôdu o dusík. Korene medziplodín a zanechaná organická hmota zlepšujú fyzikálny stav pôdy, čo v praxi znamená významné opatrenie proti zhutneniu resp. jeho zmiernenie (dostupné na internete: <www.agroserver.sk>).

Rastlinné zvyšky z produkcie obilnín sú významným zdrojom vstupov organických látok do našich pôd. Produkcia slamy ako vedľajšieho produktu však má u nás i vo svete klesajúci trend i vďaka využívaniu výkonnejších kultivarov, ktoré sa vyznačujú poklesom hodnôt pomerov – slama: zrno, i hodnôt zberových indexov. Dôsledkom toho sú i klesajúce vstupy organických látok do našich pôd, čo sa zákonite prejavuje v zhoršovaní bilancie a poklesoch obsahu humusu v našich pôdach čo je obecne konštatované a zistené i monitorovaním našich pôd (Zaujec, 2002).

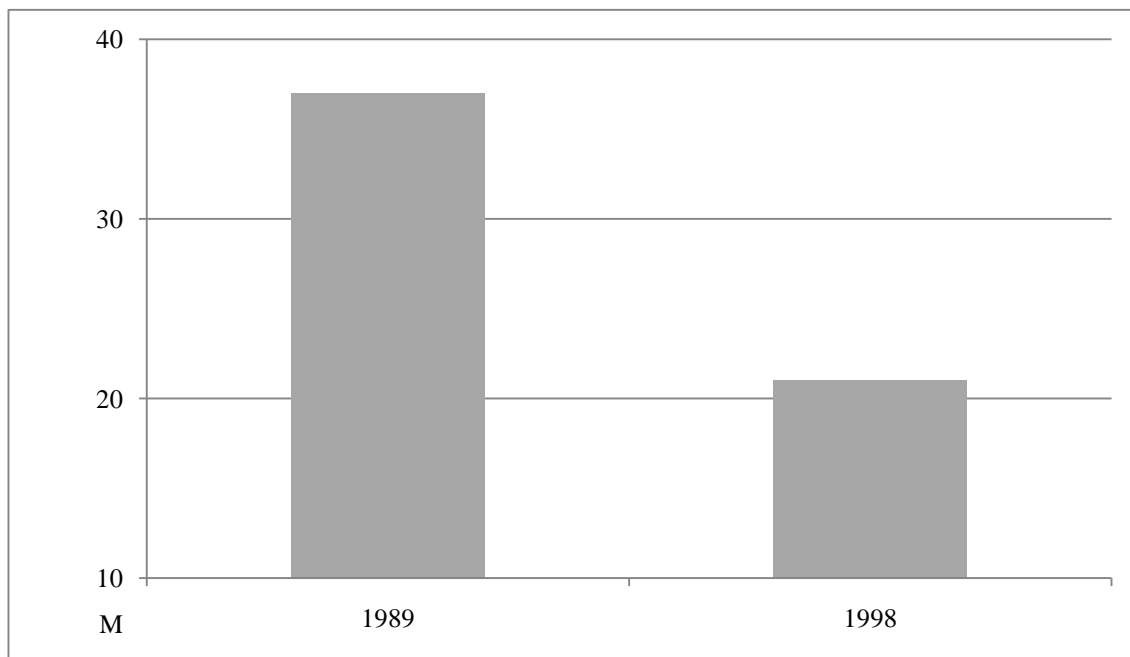
Obr.6. Osevná plocha obilnín v SR (ha) (Zaujec, 2002)



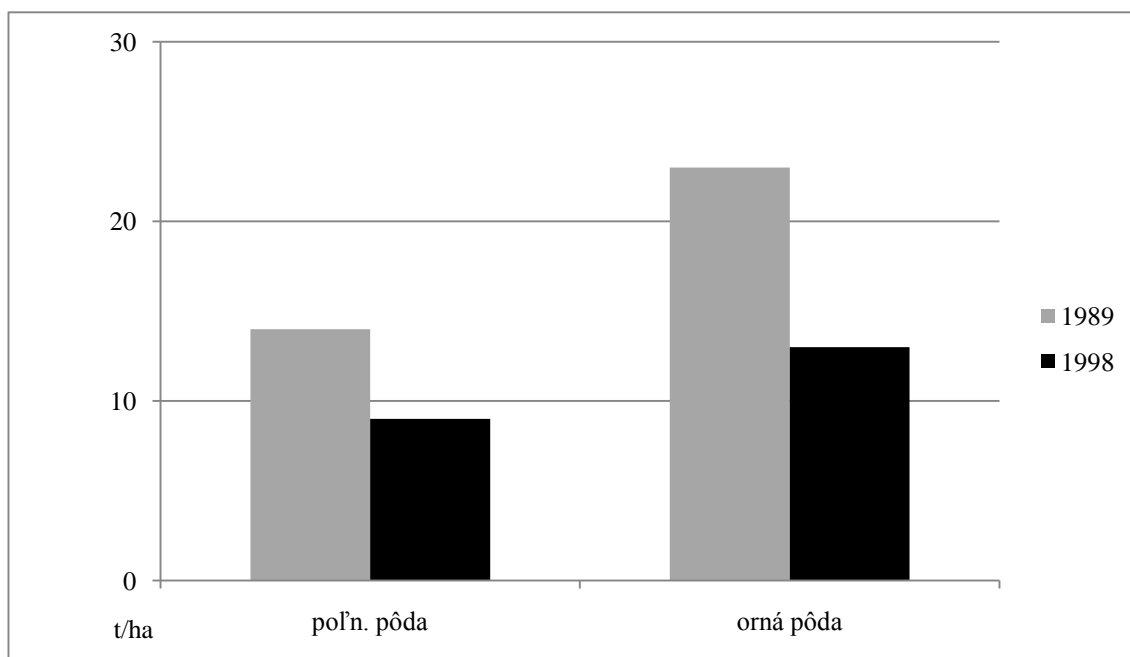
Ďalším významným zdrojom organických látok vstupujúcich do pôdy a riešiacich bilanciu organickej hmoty v nich sú organické hnojivá. Žiaľ i produkcia organických hnojív v dôsledku poklesu intenzity živočíšnej výroby u nás v období od roku 1989 má klesajúcu tendenciu. Kým krajiny Európskej únie ako Holandsko a Dánsko majú problémy s nadprodukciou organických hnojív, keďže v Európskej únii

je povolené aplikovať maximálne 40 t/ha organických hnojív ročne, u nás sa situácia v ich produkcii výrazne zhoršila. Poklesom vstupov organických látok do našich pôd zákonite bude klesať i ich bioenergetický potenciál a úrodnosť (Zaujec, 2002).

Obr.7. Produkcia organických hnojív v SR (Zaujec, 2002)



Obr.8. Produkcia organických hnojív na ha poľnohospodárskej a ornej pôdy v SR (Zaujec, 2002)



Je potvrdená výrazná lineárna závislosť medzi obsahom humusu a fyzikálnymi vlastnosťami určujúcimi úrody plodín. So zmenou obsahu organického uhlíka sa súčasne zmení:

- hygroskopickosť pôdy o 0,08 – 0,10 % hmotn.,
- vodná kapacita o 0,5 – 0,6 % hmotn.,
- sorpčná kapacita o 7 mmol (p⁺).kg⁻¹,
- objem pórov o 1 %,
- objemová hmotnosť suchej zeminy sa zmenší (zníži) o 10 – 20 kg.m⁻³.

Pôdna organická hmota ďalej výrazne zvyšuje schopnosť pôdy odolávať erózii – zadržiavaním väčšieho množstva vody, pozitívnym vplyvom na pôdnu štruktúru, stabilitu agregátov, atď. Pôdna organická hmota má priamy vplyv na chemické vlastnosti pôd a to pufovacia schopnosť pôdy a sorpčnú kapacitu, ovplyvňuje pozitívne prístupnosť mikroelementov, slúži ako zdroj N, P a S, ktoré sa z nej uvoľňujú mineralizáciou, zvyšuje prípustnosť fosforečnanov, ako dôsledok chelatizácie polyvalentných iónov organickými kyselinami a ďalšími rozkladnými produktmi, významný je vplyv na správanie organických pesticídov, má schopnosť ich viazať a znižovať fytotoxicitu, vyplavovanie, volatilizáciu atď.

Biologická funkcia humusu je často v praxi nedocenená, hoci humus pôsobí ako zdroj energie a živín pre makro a mikrofaunu (množstvá baktérií, aktinomycét, húb sú podmienené obsahom humusu v pôde, dážďovky a iný zooedafón sú silne podmienené množstvom rastlinných zvyškov dostávajúcich sa do pôdy. Pôdna organická hmota môže mať i priamy fyziologický vplyv na rast rastlín, je známych veľa faktorov vplývajúcich na pôsobenie patogénnych organizmov priamo alebo nepriamo spojených s pôdnou organickou hmotou.

Environmentálne funkcie pôdnej organickej hmoty sú úzko spojené s kolobehom pôdneho uhlíka a spoločenský záujem sa sústreďuje do nasledovných oblastí:

- cieľavedomého využívania krajiny na rôzne využitie organických odpadov a odpadových produktov,
- možné syntézy karcinogénnych látok pôsobením pôdných mikroorganizmov,
- osud syntetických organických chemikálií aplikovaných do pôdy za účelom kontroly škodcov a semien,
- kontaminácia pôdy toxickými alebo nebezpečnými priemyselnými chemikáliami – havárie,

- prispievanie pôdneho uhlíka jeho mineralizáciou k nárastu CO₂ v atmosfére.

Zmenou vegetácie sa mení i pôda, či už ako dôsledok ľudského činiteľa alebo nie. Tomu zároveň korešpondujú zmeny obsahu a kvality humusu organickej hmoty tým, že sa mení ročný input organickej hmoty do pôdy a tiež, že sa mení rýchlosť, ktorou sa táto rozkladá. Obvykle nie je možné oddeliť od seba tieto dva aspekty, analyzujúc výsledky danej zmeny hospodárenia. Zároveň na obsah organickej hmoty v pôde má výrazný vplyv hnojenie. Pokles obsahu humusu v pôdach je úzko spojený s jej obrábaním (Bielik, 2002).

Väčšina moderných poľnohospodárskych systémov hospodárenia uspokojuvito rieši udržiavanie obsahu organickej hmoty v pôde práve využívaním rastlinných zvyškov a organických hnojív.

Vysokú úroveň produkcie možno dosiahnuť len uplatnením správnych agronomických opatrení v harmónii s prírodnými, chemickými a biologickými procesmi. Preto neodkladnou úlohou poľnohospodárskej praxe, ale i výskumu je riešenie bilancie pôdnej organickej hmoty, zníženie erózie pôd, ich degradácie a kontaminácie, prekonanie poklesu poľnohospodárskej produkcie. Zvýšenie bioenergetického potenciálu našich pôd je možné dosiahnuť rozumnou poľnohospodárskou politikou, využívaním integrovaných systémov výživy rastlín, vyváženou rastlinnou a živočíšnou produkciou a vytvoriť tak podmienky pre trvale udržateľné poľnohospodárstvo i pre budúce generácie.

Stabilita pôdnych agregátov je miera ich zraniteľnosti vonkajšími deštruktívnymi silami. Obecne vyšší obsah vodoodolných agregátov znižuje erodovateľnosť pôdy. Pôdne agregáty sú produktom pôdnej mikrobiálnej komunity, pôdnych organických a minerálnych zložiek, pôsobenia rastlinného spoločenstva a histórie ekosystému. Sú dôležité pre pohyb a zadržiavanie pôdnej vody, pôdne prevzdušenie, eróziu, koreňový rozvoj a aktivitu mikroorganizmov. Rozbitie agregátov je prvým krokom k vytvoreniu krustu – prísušku, čo sa prejavuje v zhoršení infiltrácie vody a zväčšení erózie.

Všeobecne platí, že väčšie množstvo vodoodolných agregátov podporuje zlepšenie kvality pôdy. Pôdne agregáty zvyšujú kvalitu pôdy – chránením pôdnej organickej hmoty nachádzajúcej sa v agregátoch, znižovaním erodovateľnosti pôdy, zlepšovaním fyzikálnych podmienok pre rast koreňov rastlín.

Pre dosiahnutie optimálneho fyzikálneho stavu pôdy prostredníctvom štruktúry je nevyhnutná nielen tvorba agregátov, ale aj stabilizácia. Rozhodujúcimi faktormi v tomto smere sú hlavne – obsah a aktivita organickej hmoty v pôde, obsah a aktivita

pôdnych koloidov, druh výmenných katiónov v koloidnom systéme. Z uvedeného vyplýva, že starostlivosť o pôdnu organickú hmotu je dôležitá (Zaujec, 2002).

Vzájomný vzťah medzi utláčaním pôd a pôdnou organickou hmotou je veľmi významný, pretože pôdy s nižším obsahom organickej hmoty sú náchylnejšie na pedokompakciu ako pôdy s vyšším obsahom organickej hmoty, nakoľko organická hmota patrí k najdôležitejším štruktúrotrvorným látkam. Nedostatok organickej hmoty v pôde resp. jej nedostatočný prísun do pôdy je najzávažnejšou príčinou pedokompakcie biologického charakteru. Dôsledky zhutnenia sa následne prejavujú hlavne u fyzikálnych a chemických vlastností pôd v dôsledku čoho dochádza k zhoršovaniu pôdnych podmienok ako pre rast rastlín tak aj mikroorganizmy žijúce v pôde.

4.4 VLASTNOSTI PÔD, KTORÉ MAJÚ VZŤAH K ÚTLÁČANIU PÔDY

Pôdne vlastnosti či už ide o fyzikálne, hydrofyzikálne, chemické alebo biologické pomerne výrazne vplyvajú na mieru pedokompakcie pôd, pričom dôsledky zhutnenia sú najzreteľnejšie práve vo sfére fyzikálnych vlastností pôd – zvýšenie objemovej hmotnosti, zníženie pórovitosti, čo sa následne prejavuje v zníženej priepustnosti pôdy pre vodu, vzduch a v zníženej biologickej aktivite.

4.4.1 Fyzikálne vlastnosti pôd

Každá pôda (typ) je charakteristická viacerými fyzikálnymi vlastnosťami, ktoré sú podmienené disperzitou pôdných častíc, ich priestorovým usporiadaním a vzájomnými vzťahmi medzi pevnými časticami, kvapalnou fázou (pôdnym roztokom) a vzduchom. Medzi základné fyzikálne vlastnosti pôd patrí: merná hmotnosť pôdy, objemová hmotnosť pôdy, pórovitosť a štruktúra pôdy.

Merná hmotnosť pôdy, ρ_s predstavuje pomer hmotnosti pevnej fázy pôdy bez pórov k hmotnosti toho istého objemu vody pri 4 °C. Môžeme ju definovať aj ako hmotnosť 1 m³ pevnej, neporóznej zeminy vyjadrenú v tonách. Merná hmotnosť pôdnej hmoty sa mení len veľmi málo, pretože je závislá predovšetkým od mernej hmotnosti minerálov, z ktorých pôda pozostáva a od obsahu humusu v pôde. Minerálny podiel pôdy zastúpený prevažne kremeňom, živcami, sľudami a ílovými minerálmi má priemernú hodnotu hmotnosti v rozpätí 2,6 – 2,7 t.m⁻³. Na zvýšenie mernej hmotnosti značne vplyva aj prítomnosť železitých minerálov. Organické hmoty zapravované do pôdy a pôdny humus majú mernú hmotnosť od 1,0 – 1,6 t.m⁻³. V pôdnych vzorkách jednotlivých pôdnych horizontov sa merná hmotnosť pohybuje v rozmedzí 2,35 – 2,75 t.m⁻³. Nižšie hodnoty sa vyskytujú len v rašelinných pôdach.

Objemová hmotnosť pôdy, ρ_d je hmotnosťou určitého objemu pôdy (1 m³) v prirodzenom uložení. Jej hodnota je vždy nižšia ako hodnota mernej hmotnosti. Má veľký vplyv na rast i úrody rastlín, v dôsledku zhutnenia pôdy dochádza k zvyšovaniu objemovej hmotnosti. Jej vysoké hodnoty nepriaznivo vplyvajú na rast koreňov, priamo

zhoršujú vodno – vzdušný režim pôdy a nepriamo aj živinový režim. Objemová hmotnosť minerálnych pôd kolíše v rozpätí 0,8 – 1,8 t.m⁻³. V rašelinových pôdach sa pohybuje od 0,2 – 1,5 t. m⁻³. Najčastejšie pôdy s malou zásobou humusu majú objemovú hmotnosť 1,3 – 1,6 t. m⁻³ v dôsledku orby sa výrazne mení a klesá až do 0,8 t.m⁻³ potom pôda sa postupne zhutňuje a objemová hmotnosť sa zvyšuje až dosiahne pre danú pôdu konštantnú rovnovážnu hodnotu (černozem 1,4 t.m⁻³, hnedozem 1,5 t.m⁻³). Pre väčšinu poľnohospodárskych plodín sa vytvárajú optimálne podmienky vodného, vzdušného a tepelného režimu pri objemovej hmotnosti pôdy od 1,0 – 1,3 t.m⁻³. Pri objemovej hmotnosti vyššej než 1,94 už nerastú žiadne rastliny.

Pórovitosť, P vyjadruje celkový percentuálny objem voľného priestoru, ktorý nie je vyplnený pevnými časticami pôdy. Popri celkovej pórovitosti má pre funkciu a vodno – vzdušný režim pôdy význam najmä tvar a veľkosť pórov. Znížením pórovitosti, spôsobenej zhutnením pôdy dochádza k obmedzeniu rastu rastlín a biologickej aktivity. Rozlišujeme:

Nekapilárne póry, ktoré rýchlo prepúšťajú gravitačnú vodu a umožňujú výmenu vzduchu.

Kapilárne póry, ktoré neumožňujú výmenu vzduchu, ale zabezpečujú vztlákanie vody.

Štruktúrnosť pôdy je schopnosť vytvárania väčších agregátov stmelením zrn rôzneho priemeru, v dôsledku čoho vzniká osobitné zloženie pôd. Z hľadiska vytvárania rozdielnej pôdnej štruktúry sa rozlišujú dva základné procesy:

Drobenie pôdy, na rôzne agregáty (zhluky) prostredníctvom vysušovania, činnosťou mrazu, koreňovým systémom rastlín, živočíchmi, strojmi a pod.

Vytváraním agregátov tmeliacimi látkami z elementárnych častíc pôdy (Vilček a i., 2005).

4.4.2 Hydrofyzikálne vlastnosti pôd

Vlhkosť pôdy udáva momentálny obsah vody v pôde v hmotnostných alebo objemových percentách k pôde vysušenej pri 105°C. Momentálne vlhkosť pôdy je veľmi premenlivá veličina, najmä vlhkosť povrchovej časti pôdy.

Maximálna hygroskopickosť (hygroskopické číslo Vh) je najväčšie množstvo vody, ktoré môže pútať pôda v póroch z ovzdušia pri relatívnej vlhkosti blízkej k 100%. Vyjadruje sa v percentách k pôde vysušenej pri 105°C (Hraško a kol., 1962). Táto hodnota je pomerne stála a charakteristická pre rôzne pôdy. Jej hodnota závisí od zrnitostného zloženia pôd, od charakteru ílových minerálov a od množstva a kvality organickej hmoty. Je to voda pre rastliny nedostupná a jej hodnota sa používa pre stanovenie hranice fyziologicky neprístupnej vody – bodu vädnutia.

Priepustnosť pôdy je schopnosť pôdy infiltrovať vodu z povrchu do hlbších vrstiev pôdy. Vyjadruje sa koeficientom priepustnosti, ktorý predstavuje množstvo vody (v 1000 mm³), ktoré prechádza cez 10 mm stĺpec zeminy na ploche 100 mm² pri tlakovom rozdieli 10 mm vodného stĺpca. Pri nízkej priepustnosti dochádza k tomu, že voda stojí na povrchu pôdy, naopak pri vysokej priepustnosti voda rýchlo uniká za hranice pôdneho profilu a stáva sa pre rastliny nedostupná. Priepustnosť pôdy závisí od zrnitosti, štruktúrnosti, mineralogického zloženia a sorbovaných katiónov. Taktiež zhutnenie pôdy znižuje priepustnosť pre vodu .

Vododržnosť vyjadruje schopnosť pôdy obmedzovať pohyb vody a zadržiavať ju. Vyjadrujeme ju rôznymi formami vodnej kapacity. Najcharakteristickejšou veličinou vododržnosti je poľná vodná kapacita, ktorá vyjadruje množstvo vody, ktoré je pôda schopná po úplnom nasýtení dlhší čas udržiavať pri vylúčení výparu a kapilárneho prítoku z podzemnej vody (Demo, 1995).

4.4.3 Chemické vlastnosti pôd

Obsah humusu v pôde je pomerne stály a mení sa veľmi pomaly. Zisťuje sa stanovením oxidovateľného organického uhlíka v pôde. Obsah humusu vyjadrujeme v percentách k hmotnosti príslušného pôdneho horizontu.

Pôdna reakcia sa vzťahuje na pôdny roztok a môže byť od veľmi kyslej po zásaditú. Číselne sa pôdna reakcia vyjadruje hodnotou pH. V prírodnom prostredí tieto hodnoty kolíšu v jednotlivých horizontoch v rozmedzí od 2 do 11.

Obsah uhličitanov, vo forme uhličitanov sa v pôde môžu nachádzať najmä vápnik a horčík, ale aj sodík, draslík a železo. Najväčšiu časť uhličitanov v pôde tvorí uhličitan vápenatý, menej uhličitan horečnatý.

Sorpčné vlastnosti pôdy charakterizuje sorpčná kapacita, množstvo sorbovaných báz, hydrolytická kyslosť a sorpčná nasýtenosť.

Oxidačno – redukčný potenciál je charakteristickou veličinou pre definovanie aeróbných (oxidačných) a anaeróbných (redukčných) procesov v pôde. Vyjadruje sa v milivoltoch ako napätie elektrického prúdu medzi dvoma elektródami umiestnenými v pôde alebo pôdnom roztoku.

Obsah pre rastliny prístupných živín v pôde je dôležitým parametrom úrodnosti pôd. Prirodzený obsah pre rastliny prístupných živín na poľnohospodársky využívaných pôdach je výrazne regulovaný aplikovanými hnojivami (Vilček a i., 2005).

4.4.4 Biologické vlastnosti pôd

Pôdne organizmy tvoria biologicky aktívnu časť organickej zložky stanovišťa. Ich životný priestor z ekologického hľadiska označujeme ako biotop, ich životné spoločenstvo biocenóza. K pôdnym organizmom patria zástupcovia rastlinnej, živočíšnej a mikrobiálnej ríše. Biologický faktor sa považuje za rozhodujúci pri vzniku každej pôdy. Pôdne organizmy svojou činnosťou podmieňujú – zvetrávanie hornín a minerálov, rozklad a syntézu organických látok, premiešavanie minerálnych a organických zložiek a tvorbu štruktúrnych agregátov. V pôde žije trvale a dočasne veľký počet mikroorganizmov a makroorganizmov. Na 1 m² sa vyskytuje 1 – 200 tisíc jedincov makrofauny a miliardy jedincov mikrofauny (Vilček a i., 2005).

5 NÁVRH NA VYUŽITIE POZNATKOV

Obnova priaznivých funkcií pôdy, hlavne jej úrodnosti je síce možná, ale vyžaduje enormné úsilie. Práve preto je výhodnejšie vhodnými opatreniami predchádzať postupujúcej utlačnosti pôdy a strate organickej hmoty z pôdy, tohto pre človeka a všetky živé organizmy významného prírodného zdroja.

Poznatky získané štúdiom literatúry a následne spracované v diplomovej práci môžu slúžiť ako jednoduchý návod na predchádzanie procesu utlačania pôdy, strate organickej hmoty z pôdy a tiež na aplikáciu preventívnych opatrení a opatrení zmiernujúcich alebo zabraňujúcich tomuto nepriaznivému stavu pôdy.

6 ZÁVER

Vo všeobecnosti môžeme uviesť, že v dôsledku utlačania pôd či už vplyvom prírodných alebo antropogénnych faktorov sa zvyšuje objemová hmotnosť pôdy, ktorá má potom výrazný vplyv na ďalšie, z agrotechnického hľadiska významné vlastnosti pôdy, ako je štruktúra pôdy, vodná a vzdušná kapacita, množstvo pôdnej mikrofauny, obsah organickej hmoty v pôde a pod. Takže v konečnom dôsledku utlačanie pôdy do značnej miery ovplyvňuje podmienky pre pestovanie jednotlivých plodín, najmä čo sa týka úrodnosti pôdy.

Okrem toho utlačanie pôdy má výrazný vplyv na hodnotu merného odporu pôdy a tým súčasne aj na energetickú náročnosť jednotlivých technologických operácií, zvlášť čo sa týka základného spracovania pôdy.

Je veľmi dôležité na pôdach utlačených prípadne náchylných na utlačanie využívať všetky dostupné prostriedky a metódy, prostredníctvom ktorých môžeme utlačaniu pôdy predchádzať prípadne minimalizovať následky na pôdach poznačených pedokompakciou. Utláčaním pôd dochádza k zhoršeniu stavu pôdnej štruktúry, ktorá je významným indikátorom kvality pôdy.

Riešenie negatívneho trendu zhoršovania fyzikálnych, hydrofyzikálnych, chemických a biologických vlastností našich pôd spočíva v zabezpečení zvýšených vstupov organických látok do pôd, v dodržiavaní osevných postupov, v nových technológiách minimálneho obrábania pôd a v znížení deštruktívneho pôsobenia poľnohospodárskej techniky.

Z vyššie uvedených dôvodov je výhodnejšie tomuto stavu pôdy predchádzať či už z hľadiska ekonomického alebo ekologického.

7 POUŽITÁ LITERATÚRA

1. BEDRNA, Z. 2002. *Environmentálne pôdoznanectvo*. vyd. Bratislava: VEDA Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 2002. 352 s. ISBN 80 – 224 – 0660 – 0.
2. BEDRNA, Z. a i., 1989. *Pôdne režimy*. vyd. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 1989. 221 s. ISBN 80 – 224 – 0028 – 9.
3. BIELIK, P. a kol., 1991. *Ohrozená pôda*. vyd. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 1991. 77 s. ISBN 80 – 85361 – 01 – 9.
4. BIELIK, P. a kol. 2002. Pedofórum 2002: Zborník príspevkov. In ZAUJEC, A. *Bilancia organickej hmoty v pôde a utlačanie pôd*. vyd. Bratislava: Edičné stredisko Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2002. 40 s. ISBN 80 – 85361 – 99 – X.
5. BUJNOVSKÝ, R. – JURÁNI, B. 1995. *The subsoil/podornica*. vyd. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Soil Fertility Research Institute Bratislava 1995. 31 s. ISBN 80 – 85361 – 13 – 2.
6. DEMO, M. a kol. 1995. *Obrábanie pôdy*. vyd. Nitra: Vysoká škola poľnohospodárska, 1995. 309 s. ISBN 80 – 7137 – 255 – 2.
7. ERLICH, P. a kol. 1987. *Metodika č. 2 – Využití penetrometrických metod pro výzkum a projektování zúrodňovacích opatření*. vyd. Praha: Výzkumný ústav pro zúrodnění zemědělských půd, 1987. 45 s.
8. DŽATKO, M. – DUBOVČOVÁ, M. 1985. *Hodnotenie vhodnosti pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie poľnohospodárskych plodín a kultúr*. vyd. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a výživy rastlín, 1985. 66 s.
9. HLUŠIČKOVÁ, J. – LHOTSKÝ, J. 1994. *Ochrana půdnej struktury před technogenní degradací*. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1994. 40 s. ISBN 0231 – 8470.
10. HOUŠKOVÁ, B. 1998. Optimalizácia fyzikálnych vlastností pôdy vo vzťahu k procesom degradácie. In: *Trvalo udržateľná úrodnosť pôdy a protierózna ochrana: Zborník referátov z odbornej konferencie*. Nitra: Sielenica, 1998. s. 103.

11. HOUŠKOVÁ, B., 2002: Assessment of the state of soil compaction in Slovakia. *Advances in GeoEcology* 35, CATENA VERLAG GMBH. 402 s. ISBN 3 – 923381 – 48 – 4.
12. HŮLA, J. – ABRAHÁM, Z. – BAUER, F. 1997. *Zpracování půdy*. vyd. Praha: Brázda, 1997. 140 s. ISBN 80 – 209 – 0265 – 1.
13. JAMBOR, P. – ILAVSKÁ, B. 1998. *Metodika protierózneho obrábania pôdy*. vyd. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 1998. 70 s. ISBN 80 – 85361 – 469.
14. JONES, R.J.A., SPOOR, G. and THOMASSON, A.J. 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil and Tillage Research*, Volume 73, p.131-143.
15. KOBZA, J. 2002. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd. *Výsledky čiastkového monitorovacieho systému pôda za obdobie 1997 – 2001*. Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, 2002. ISBN 80 – 89128 – 04 – 1.
16. KOBZA, J. a kol. 2005. *Návrh regulačných pôdochranných opatrení z výsledkov monitoringu pôd SR*. vyd. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, 2005. 22 s. ISBN 80 – 89128 – 21 – 1.
17. KOVÁČ, K. a kol. 2002. *Všeobecná rastlinná výroba*. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2002. 335 s. ISBN 80 – 8069 – 136 – 3.
18. KUTÍLEK, M. 1978. *Vodohospodárska pedologie*. vyd. SNTL/ALFA, Praha – Bratislava, 1978. 296 s.
19. LHOTSKÝ, J. et al. 1984. *Metodika zúrodnění zhutněných zemědělských půd*. (Guidelines of compacted agricultural soils reclamation). vyd. Praha: ÚVTIS, 1984. 40 s.
20. LHOTSKÝ, J. 2006. Hodnocení škodlivého zhutnění půdy. In *Farmář*, č. 8, Profi Press, Praha, 2006. 50 s.
21. LHOTSKÝ, J. 2006. Minimum z pedologie 1. In *Farmář*, č. 1, Profi Press, Praha, 2006. s. 64.

22. LHOTSKÝ, J. 2006. Minimum z pedologie 2. In *Farmář*, č. 2, Profi Press, Praha, 2006. 55 s.
23. MIŠTINA, T. – KOVÁČ, K. 1993. *Ochranné obrábanie pôdy*. vyd. Výskumný ústav rastlinnej výroby so sídlom v Piešťanoch, 1993. 165 s. ISBN 80 – 71371- 254.
24. NOVÁKOVÁ, B. 1984. *Půdní humus a možnost regulace jeho přeměn*. s. 67.
25. SÁŇKA, M. – MATERNA, J. 2004. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004. 54 s.
26. SOTÁKOVÁ, S. 1982. *Organická hmota a úrodnost' půdy*. vyd. Bratislava: Příroda, 1982. 234 s.
27. ŠARAPATKA, B. a i. 2002. *Kvalita a degradace půdy*. vyd. Olomouc: Vydavatelství univerzity Palackého, 2002. 246 s. ISBN 80 – 244 – 0584 – 9.
28. ŠKODA, V. – CHOLENSKÝ, J. 1993. *Konvenční a perspektivní způsoby ve zpracování a kultivaci půdy*. vyd. Praha: IVVV MZ ČR, 1993. 64 s.
29. TOMÁŠEK, M. 1995. *Atlas půd České republiky*. vyd. Praha: Český geologický ústav, 1995. 42 s. ISBN 80 – 7075 – 198 – 3.
30. VILČEK, J. – HRONEC, O. – BEDRNA, Z. 2005. *Environmentálna pedológia*. vyd. Nitra – Bratislava: Slovenská poľnohospodárska univerzita v spolupráci s Výskumným ústavom pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave, 2005. 298 s. ISBN 80 – 8069 – 501 – 6.
31. ZRUBEC, F. 1998. *Metodika zúrodnenia zhutnených pôd*. vyd. Bratislava : Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 1998. 40 s. ISBN 80 – 85361 – 39 – 6.
32. ZAUJEC, A. a kol., 2008. *Pedológia a základy geológie*. Rukopis učebnice. SPU Nitra.
33. ZAUJEC, A. a kol., 2002. *Pedológia*. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2002. 63 s.
34. <http://portal.gov.sk/Portal/sk/Default.aspx?CatID=41&etype=2&aid=443>
35. <http://www.agroserver.sk/news/polnohospodarske-stroje-zhutnenie-znehodnocuje-podu.html>