

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B 4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Utuzení půdy jako důsledek činnosti zemědělské techniky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Dolan, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Jan Masopust

České Budějovice, 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan MASOPUST**
Osobní číslo: **Z13096**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Zemědělská technika: obchod, servis a služby**
Název tématu: **Utužení půdy jako důsledek činnosti zemědělské techniky**
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše z oblasti utužení půdy v důsledku činnosti zemědělské techniky při polních pracích.

Autor problematiku zhodnotí z různých hledisek, jako je například:

- vliv použitých mechanizačních prostředků,
- souvislost mezi utužením a ekonomikou pěstování rostlin,
- možnosti prevence utužování půd,
- způsoby experimentálních měření utužení půd,
- matematické a počítačové modely utužení půd,

a další.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Práce dostupné v databázích Scopus, IWI Web of Knowledge, Sciencedirect a další.

Google Books a Google Scholar.

Agriculture Engineering - vědecký časopis ČAZV.

Mechanizace zemědělství - odborný časopis.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Antonín Dolan, Ph.D.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **12. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2016**



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
L.S.
studijní oddělení
Studentůváká 1668, 370 05 České Budějovice



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Antonínovi Dolanovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a cenné rady a hlavně za čas, který mi věnoval při konzultacích.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou utužené a zhutněné orné půdy zemědělskou technikou na území České Republiky. Je zde popsána problematika příčiny a vzniku utužení půdy. Dále zde řeším způsoby, jak utužení půdy předcházet, popřípadě jak nežádoucí utužení odstranit nebo minimalizovat. S přihlédnutím na faktory, které jsou s tím spjaty, jako je hmotnost soupravy, volba správných pneumatik či ekonomika pěstování rostlin.

Klíčová slova: půda; utužení; pórovitost; eroze; zemědělská technika

Abstract

This diploma work is dealing with the issue of compacted arable land made by agricultural equipment, in the Czech Republic. The first part of the thesis introduces factors that causes the compacted soil. Then, we are looking at the ways how to prevent the compaction or, on the contrary, how the undesired compaction can be removed or at least minimalized. This is analyzed in detail according to factors that may influence the process of the land compaction, such as the actual weight of the agricultural equipment kit combination, the choice of the correct tires and the economy of plant growing.

Keywords: soil; land; compaction; porosity; erosion; agricultural machinery

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Literární přehled.....	11
2.1 Pojem půda	11
2.2 Půdotvorné procesy.....	11
2.2.1 Faktory a podmínky půdotvorného procesu.....	12
2.3 Půdně klasifikační jednotky.....	13
2.4 Půdní druhy.....	13
2.5 Půdní struktura	13
2.5.1 Pórovitost půdy	14
2.5.2 Objemová hmotnost půdy	14
2.5.3 Zhutnění půd	15
2.6 Omezení erozí	16
2.6.1 Vodní eroze	17
2.6.2 Větrná eroze	18
2.6.3 Eroze orbou a sklizňová.....	19
2.6.4 Následky vodní eroze.....	19
2.7 Utužení půd.....	20
2.7.1 Příčiny utužení půdy	20
2.7.2 Identifikace typů půdního zhutnění.....	21
2.7.3 Druhy půdního zhutnění.....	22
2.7.4 Detekce půdního zhutnění.....	23
2.7.5 Opatření proti zhutňování	23
2.7.6 Význam systému zpracování půdy	25
2.7.7 Vliv použitých mechanizačních prostředků.....	26
2.7.8 Souvislosti mezi utužením a ekonomikou pěstování rostlin	31
2.7.9 Doba vstupu strojů na pozemek	32
2.7.10 Technické řešení zemědělských strojů.....	34
2.7.11 Možnosti prevence utužování půd	36
2.8 Matematické a počítačové modely utužení půd.....	37
2.8.1 Kontinuální měření míry zhutnění	38
2.8.2 Pórovitost	39
2.8.3 Objemová hmotnost	41
2.8.4 Penometrické měření.....	41
2.8.5 Geotechnické zkoušky zemin.....	42
3. Cíl práce.....	45
4. Metodika	46

5. Diskuze	47
6. Závěr	48
7. Seznam použité literatury.....	49
8. Internetové zdroje	51
9. Seznam tabulek	52

1. Úvod

Půda je vyčerpatelný, nenahraditelný a jen velice pomalu se obnovující přírodní zdroj. Je základem udržitelného zemědělského hospodaření a jako s takovou by s ní mělo být zacházeno. Znehodnocování půd nebo jejich vyřazování ze zemědělské výroby je vážným problémem nejen u nás, ale ve všech technicky vyspělých státech. Toto znehodnocování má technické a přírodní příčiny. Mezi přírodní příčiny patří eroze, periodické záplavy půdy, které ničí úrodu a způsobují podmáčení půd. Technické znehodnocování půd je způsobeno těžbou nerostných surovin (uhlí, písek, rašeliny apod.), výskytem nadměrného znečištění z průmyslu a výstavbou nových obytných sídel a průmyslových objektů, které často zabírají tu nejurodnější půdu (http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

Půjde to do nekonečna? To je otázka, kterou by si měl položit každý zemědělec či zemědělský podnik. V České Republice je 3,62 miliónů hektarů zemědělské půdy, avšak toto číslo každým dnem klesá, kvůli rozvíjející se infrastruktuře v naší zemi jako jsou například dálnice, obchodní domy, rozšiřující se obce či parkoviště. Neustále ubývá plochy půdy, na které se dá hospodařit. Hodnota těchto pozemků tím pádem nabývá na ceně. Zemědělské podniky se tak snaží o co největší produktivitu na pozemcích. Klíčové jsou pro ně vysoké výnosy, minimalizace pracovních operací a zvýšení výkonnosti strojů, které potřebují pracovní nářadí s velkými záběry a tažnými zařízeními.

U prostředků, které pracují s výkony od 200 kW a výše, se musí počítat s jejich hmotností, která má negativní vliv na strukturu půdy, a tím pádem i na její utužení, které má za následek snížení půdní úrodnosti. Při zvyšující se kapacitě návěsů a hmotnosti souprav, které jezdí po poli, snižujeme její pórovitost, absorpci vsakování vody, provzdušnění, a naopak zvyšujeme podíl zhutnění půdy, při kterém rostliny nedokáží využít maximální potenciál půdy. Tyto všechny aspekty jsou klíčové pro definování problematiky utužení půd.

Utužená půda má další negativní stránky, jako například: špatné vsakování povrchové vody a vodní erozi. Kvůli tomu se z poli vyplavují potřebné živiny pro růst rostlin a půdy tím ztrácí svou úrodnost. V České Republice je tak ohrožena téměř polovina zemědělské půdy. Problematika utužených půd v rostlinné výrobě je velice závažná a zemědělské podniky by jí měly věnovat zvýšenou pozornost a řídit se dle dostupných opatření k její minimalizaci nebo úplnému odstranění. Pro požadovaný výnos pěstovaných plodin potřebujeme úrodnou půdu, kterou je potřeba chránit, a chovat se k ní tak, aby si udržela ideální vlastnosti i pro další generace.

Struktura a kvalita zemědělského půdního fondu v ČR Území České republiky se vyznačuje relativně velkou rozmanitostí stanovištních podmínek. Díky tomu se u nás vytvořilo

velké množství různých půdních typů a přechodů mezi nimi. Podle komplexního průzkumu půd se vyskytuje na našem území 12 hlavních půdních typů, z nichž 9 je nejvíce rozšířeno: velmi úrodné – černozemě, hnědozemě, lužní půdy (cca 23 %); středně úrodné – drnové půdy, nivní půdy; méně úrodné – hnědé půdy, podzoly, rendziny (55 %). Ochranu zemědělského půdního fondu (ZPF) upravuje zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu ve znění pozdějších předpisů. V zákoně je definováno, jaká půda je součástí ZPF, jaké jsou orgány ochrany ZPF, jaké povinnosti má majitel pozemků, které jsou součástí ZPF, územně plánovací činnost aj. (http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

Problematika půdního fondu je celosvětově řešena na sympoziích. To poslední se konalo 14. 2. 2016 ve Washingtonu DC s podtitulem „Společný základ pro udržitelný rozvoj“ (http://www.iuss.org/index.php?article_id=74, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

2. Literární přehled

2.1 Pojem půda

Půda je žijící prostorový přírodní útvar s transformační, translokační a produkční schopností, která podmiňuje tvorbu biomasy. Z hlediska systémového pohledu, který představuje nejširší definici, je půda považována za komplexní, polyfunkční, otevřený, polyfázový strukturní systém, tvořící povrchovou část litosféry.

Na vzniku a vývoji půd se podílí řada půdotvorných faktorů, jako jsou například mateční hornina, klimatické poměry, biologický činitel, podzemní voda, kultivační činnosti člověka, a podmínek – reliéf terénu a stáří krajiny. Vlivem vzájemného působení těchto faktorů a podmínek vznikají půdní typy a nižší klasifikační jednotky, které jsou charakterizovány určitými morfologickými znaky, chemickými, fyzikálními, fyzikálně – chemickými a biologickými vlastnostmi, a mají zákonitou stratigrafii profilu, tj. sled genetických horizontů (KOZÁK, 2009).

Na půdu musíme vždy hledět jako na nedílný dynamický přírodní útvar, který se trvale udržuje a vyvíjí pod vlivem okolního prostředí, proto vždy část půdy vytržená z celku půdního těla, která je zkoumána bez souvislostí s podmínkami svého vzniku, přestává být půdou, ale stane se pouhou zemínou. Případnou, i když v dnešních dnech až archaicky znějící definici půdy, předložil jeden z hlavních zakladatelů českého půdoznalství V. NOVÁK (1988): „Půda je přírodní útvar, který se vyvíjí z povrchových zvětralin kůry zemské a ze zbytků ústrojenců, a jehož stavba a složení jsou výsledkem podnebí a jiných faktorů půdotvorných. Tuto definici je třeba upřesnit ve smyslu takovém, že zejména v současnosti zůstává být půda pouze přírodním útvarem, ale stává se v jisté míře výtvorem antropogenním.“

Pro člověka, zemědělce nebo zemědělský podnik je zdaleka nejdůležitější úrodnost půdy, protože v tom tkví schopnost zabezpečit nezbytnými podmínkami (především voda a živiny) existenci a opětovnou reprodukci rostlin, a v úzké závislosti na nich i živočichy a lidskou populaci. Tedy vztaženo na zemědělsky využívané půdy, schopnost poskytnout sklizeň pěstovaných plodin (TOMÁŠEK, 1995).

2.2 Půdotvorné procesy

Působením půdotvorných procesů dochází často k uplatnění půdotvorných pochodů, u kterých se z mrtvé horniny stává půda a svým způsobem živým organismus, kvalitativně i vizuálně jiný od předešlého materiálu. Rozdělujeme proto tyto hlavní (elementární) půdotvorné procesy: humifikace, zvětrávání, eluviace a iluviace, oglejení a glejový proces, a zasolování.

- **Humifikace** - mikrobiální a chemické procesy, při kterých se mění organické zbytky na humus, humifikace probíhá ve větší míře ve všech půdách a je tím nejvlastnějším půdotvorným pochodem, který podmiňuje vznik půdy (TOMÁŠEK, 1995).
- **Zvětrávání** - zahrnuje desintegraci primárních minerálů a změny některých rozložených materiálů na nové, sekundární materiály. Teprve po desintegraci materiálu může za pomoci vody, vzduchu a bioty v konkrétních podmínkách vznikat půda. Je to proces velice zdlouhavý. Proces zvětrávání zahrnuje fyzikální rozpad horniny (nejrychlejší rozpad má vápenec a pískovec). Zvětrávání dělíme na mechanické (fyzikální), chemické a činností biologických organismů.
- **Eluviace** - je proces, při kterém dochází k přemístování jednotlivých půdních složek (ve formě roztoků nebo koloidních roztoků) prosakující vodou do spodiny. Zkráceně se jedná o vyplavování a ochuzování.
- **Iluviace** - je protějškem eluviace. Při ní se vyluhované součásti opět v určité vrstvě hromadí.
- **Glejový a oglejní** – proces, který probíhá na zmokřených půdách. Je zde typické střídání redukčních a oxidačních pochodů. To má za příčinu tvorbu rezatých skvrn od železa na půdě.
- **Slancování** - zde dochází k vyplavování solí z povrchových vrstev a jejich akumulací ve spodině.
- **Solončakování** - je půdotvorný proces, u kterého jsou do půdního profilu vnášeny rozpuštěné soli: sírany, uhličitany a chloridy jednomocných kationtů (ŠARAPATKA, 2014).

2.2.1 Faktory a podmínky půdotvorného procesu

Dle definice je řečeno že, půda vždy vzniká působením půdotvorných činitelů, které jsou rozděleny na dvě skupiny – půdotvorné faktory a podmínky půdotvorného procesu. Faktory vždy působí u vzniku půd napřímo, kdežto podmínky využívají svůj vliv na půdotvorné faktory. Za půdotvorné faktory pokládáme substrát (matečnou horninu), dále biologický faktor, podnebí, podzemní vodu až po vliv člověka. U podmínek půdotvorného procesu se uvádí utváření terénu neboli reliéf a čas (dobu nezbytnou pro uplatnění půdotvorných pochodů), (ŠARAPATKA, 2014).

2.3 Půdně klasifikační jednotky

Pedologie je přírodní věda, která má svůj určitý systém, který se v přesné terminologii nazývá půdní klasifikace. Základní klasifikační (taxonomickou) jednotkou je půdní typ, ten můžeme definovat jako skupinu půd charakterizovanou obdobnými morfologickými a analytickými znaky. Ty jsou však rozvíjeny pod vlivem určitého souboru půdotvorných činitelů. Půdy jednoho typu prošly stejným nejvýznačnějším půdotvorným pochodem a vyznačují se kombinací půdních horizontů, které jsou pro daný typ konstantní. Méně důležitou jednotkou je půdní subtyp, při jehož vzniku působil podřízený půdotvorný proces, proto subtyp tvoří přechod mezi dvěma půdními typy.

Následující klasifikační jednotkou je půdní druh, který vyjadřujeme zrnitostním složením a velikostí částic. Podle obsahu jílnatých částic (pod 0,01 mm) řadíme půdy na lehké (písčité), střední (hlinité, hlinitopísčité) a těžké (jílovité). Půdní typy dělíme na: Černozemě, Hnědozemě, Kambizem, Luvizemě, Černice, Podzoly, Gleje a Pseudogleje (TOMÁŠEK, 1995).

2.4 Půdní druhy

Půdní druhy jsou stanoveny zrnitostním složením půdy, které ovlivňuje jak fyzikální, tak i technologické vlastnosti půdy, mezi které patří přilnavost, soudržnost i konzistenční vlastnosti půd. Tyto vlastnosti jsou přímo návazné na zpracovatelnost půd, jejich únosnost, orební odpor a na všechny další operace, které se provádí okolo zpracování půdy.

Optimální druh půdy obsahuje přiměřené zastoupení všech zrnitostních frakcí a poměr jemných a hrubších částí by měl být 1 : 1 – 1 : 2. Tyto hodnoty odpovídají těžkým nebo hlinitým půdám. Půdy s vysokým obsahem jílu, prachu či písku jsou půdy extrémní, a tedy nevyhovující pro obdělávání či pěstování plodin (HŮLA, 2008).

2.5 Půdní struktura

Strukturu půdy můžeme charakterizovat jako uspořádání půdních částic v určitém objemu a jejich spojování do větších strukturních jednotek neboli agregátů. Každý agregát je komplex půdních částic hlavně minerálního, ale i organického původu, které jsou spojovány tmelícími látkami, jako jsou sloučeniny železa, hliníku, vápníku a humusové látky. Pevnost stmelení strukturních agregátů nazýváme stabilitou půdní struktury. Volný prostor mezi půdními částicemi a strukturními agregáty zaujímá půdní póry.

Struktura půdy svojí stavbou a uspořádáním agregátů, spolu s mezi částicovými nebo mezi agregátovými póry, určuje základní fyzikální vlastnosti půdy, které vlivem zpracování podléhají dynamickým změnám. Půdní struktura integruje všechny základní

vlastnosti půdy, vymezuje a ohraničuje její reakci na působení vnějších sil. Ve většině půd nastane tvorba její struktury s určitým stupněm uspořádání (HŮLA, 2008).

2.5.1 Pórovitost půdy

Pórovitost půdy značí podíl dutin mezi původními částicemi (původních pórů) z celkového objemu půdy. Obvykle se vyjadřuje v procentech a dosahuje nejčastěji hodnot 40 až 50%. Tento fakt ovlivňuje zadržování a pohyb vody v půdě a provzdušnění půdy.

Podle velikosti se půdní póry rozdělují na:

- **hrubé** (nekapilární), za normálních podmínek vyplněné vzduchem, neboť voda z nich odtéká působením gravitace
- **střední** (semikapilární), vyplněné vzduchem nebo vodou podle meteorologických podmínek
- **jemné** (kapilární), v nichž je voda zadržována vztlínáním.

Pórovitost půdy závisí především na půdní textuře a struktuře a na utužení půdy. (<https://leporelo.info/porovitost-pudy>, „staženo dne: 6. 2. 2017“)

Pro zlepšení pórovitosti je potřeba zlepšit několik opatření:

- vodní filtrace do kořenové zóny a podloží
- výměna vzduchu s atmosférou
- infiltrace vody do půdy ([http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331), „staženo dne: 7. 3. 2017“)

2.5.2 Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost půdy je hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu tj. s póry vyplněnými momentálním obsahem vody a vzduchu. Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti, na podílu pórů v půdě a míře jejich zaplnění vodou. Je to hodnota nestálá, která se mění během roku v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě. Objemová hmotnost minerálních půd kolísá mezi $0,8 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$, u organických půd většinou mezi $0,2 - 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$ viz tabulka č.1.

Objemová hmotnost suché půdy (objemová hmotnost redukováná (ρ_d)) je hmotnost jednotkového objemu vysušené půdy. Je to hodnota stálější a ve svrchních vrstvách půdy se pohybuje v rozmezí $1,2 - 1,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Směrem do spodiny tato hodnota vzrůstá. Indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a je potřebná pro výpočet pórovitosti.

Objemová hmotnost vlhké půdy (objemová hmotnost neredukovaná) je závislá na půdní vlhkosti a nemůže být tedy konstantní hodnotou. Mění se v průběhu roku jako pórovitost

v důsledku bobtnání a smršťování půdy při změnách vlhkosti. Směrem do hloubky půdního profilu má tendenci narůstat (POKORNÝ, 2007)

K utužení hlinité půdy dochází, pokud je objemová hmotnost vyšší než $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ viz tabulka č. 1.

Tabulka č. 1: Strukturní stav humusového horizontu u středně těžkých a těžkých půd.

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost půdy [g.cm^{-3}]	Pórovitost [%]
Výborný	<1,2	>54
Dobry	1,2 – 1,4	46 – 54
Nevyhovující	1,4 – 1,6	39 – 46
Nestrukturní	1,6 – 1,8	31 - 39

Zdroj: KUTÍLEK (1978)

2.5.3 Zhutnění půd

Za hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity půdy a její zhutňování (HŮLA a kol., 2010).

Zhutnění neboli utužení (pedokompakce) půd je na mnohých stanovištích vážnou příčinou zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti, což je důsledkem dlouhodobě uplatňovaných jednostranných a nevhodných intenzifikačních opatření. Půdy takto postižené se nadále vyznačují degradací půdní struktury mající za následek změny pórovitosti, objemové hmotnosti, snížené infiltrace a propustnosti a snížení retenční kapacity.

Zhutnění půdy může být vážnou formou degradace půdy, která pak může mít za následek zvýšení eroze půdy a snížení produkce plodin. Půdy jsou složeny z asi 50% pevných látek (písek, prach, jíla a organické látky) a asi 50% ve volných pórovitostech. Zhutnění půdy může poškodit infiltraci vody do půdy, vznik plodin, prorůstání kořenů, nedostatečný přísun živin pro plodiny a absorpci vody, tyto faktory mají zapříčinění snížení výnosnosti rostlin ([http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331) „staženo dne: 7. 3. 2017“).

Utužení půd je především způsobeno těžkými mechanismy zvláště za nevhodných vlhkostních podmínek a jinými způsoby nevhodné kultivace (orba na stejnou hloubku), vysokou závlahou půdy, pěstováním monokultur s nízkým nebo žádným zastoupením víceletých pícnin v osevním postupu, vysokým hnojením draselnými hnojivými, acidifikací půdy a úbytkem půdní organické hmoty. Degradace fyzikálních vlastností půdy, rozpad struktury a z ní vyplývající utužení podorničí. U těchto operací nebyly zajištěny především kompenzační vazby především preventivního charakteru a agrobiologická opatření vedoucí ke snížení utužení půdy.

V současné době je podle Ministerstva zemědělství ČR nadměrným zhutněním v různých stupních postiženo okolo 49% zemědělského půdního fondu, a z toho 30% je zranitelných tzv. zhutněním genetickým (přírozená vlastnost těžkých půd). Zbytek - více než 70% připadá na tzv. zhutnění technogenní, které je způsobeno nevhodným strojním obděláváním půdy (genetické utužení je typické pro půdy s vyšším obsahem jílu). Naproti tomu technogenní utužení může být vyvoláno na půdách jakéhokoliv zrnitostního složení (BUDŇÁKOVÁ, 2015).

Degradace fyzikálních vlastností půdy, rozpad struktury, a z ní vyplývající utužení podorničí a spodin a tvorba krust na povrchu půdy, negativně ovlivňují produkční a mimoprodukční funkce půdy. Důvody jsou:

- je omezena infiltrace, urychlen povrchový odtok, a tím je zvýšena eroze
- snížení pórovitosti zmenšuje retenční vodní kapacitu a využitelnou vodní kapacitu
- je omezena účinná hloubka půdního profilu pro rostliny
- jsou vytvořeny zhoršené podmínky pro vzcházení a vývoj rostlin (mají méně vody, živin i vzduchu)
- je potlačena biologická aktivita půdy zhoršením vzdušného, vodního a termického režimu půdy

Zhutnění půdy je vážný problémem, zejména protože bylo zjištěno, že účinky mohou být dlouhotrvající a velmi těžce napravitelné. Je tedy lepší předem zabránit utužení půdy než spoléhat na zmírnění důsledků (ELINA, 2003).

2.6 Omezení erozí

Eroze půdy je proces degradace půdy způsobující omezení či úplnou ztrátu jejich produkčních schopností. Samotný proces eroze půdy je procesem přírodním, který nelze zcela zastavit. Rozlišuje se tak eroze normální (geologická) a eroze zrychlená. Příčiny eroze půdy v ČR jsou specifické a souvisí s intenzifikací zemědělské výroby a velkovýroby, která byla počata kolektivizací, a jejím následkem bylo zvýšení produkčních ploch na úkor dalších stabilizačních prvků krajiny, jakými jsou meze, aleje, louky, břehy přírodně se vinoucích toků či dříve nevyužívaná produkčně nevhodná půda, které plní funkce nejen ekologické, ale i protierozní (NOVOTNÝ, 2014)

Došlo tím mimo jiné ke změně způsobu obdělávání půdy související se scelováním polí do větších celků, které mohly být obhospodařovány mechanizací, ovšem za cenu snížené ochrany, kterou právě do té doby běžné krajinné prvky plnily. Transformace zemědělství probíhající od 90. let situaci nezlepšila. Důvodem je, že stav, kdy se

jednotliví zemědělci starali o vlastní zemědělské pozemky, se nikdy neobnovil; nedošlo k rozdělení velkých půdních celků (a obnově původních remízů).

Česká republika má největší půdní bloky v Evropě. Přes probíhající restituce byl v roce 2000 podíl vlastní půdy oproti najaté 7,6 %, v roce 2013 pak 25,7 %. To je zapříčeno mimo jiné tím, že restituce navrátily potomkům původních hospodářů pozemky v menších rozlohách, než je možno rentabilně obdělávat a dále na takových parcelách, které jsou právě součástí velkých celků neumožňující jejich samostatné obdělávání. Tuto situaci částečně zlepšují komplexní pozemkové úpravy (JANEČEK, 2012).

Vlivem hospodaření po transformaci, které do roku 2015 nebylo vázáno vhodnými povinnými postupy, dochází k dalším negativním jevům, které erozi nahrávají, jakými jsou například utužení půdy, úbytek organické hmoty, špatné orební postupy, orba po svahu a nikoli po vrstevnici, pěstování erozně nebezpečných plodin (kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok) nebo špatné osevní postupy na nevhodných stanovištích (VOPRAVIL, 2012).

2.6.1 Vodní eroze

Vodní eroze je definovaná jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Vodní eroze ohrožuje více než 50 % výměry orné půdy v rámci ČR. Na převážné ploše erozí ohrožených půd však není prováděna žádná systematická ochrana zabraňující dalším ztrátám.

Na vznik vodní eroze má největší vliv sklonitost pozemku v kombinaci s délkou pozemku po spádnici, dále vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, uplatněná protierozní opatření, a v neposlední řadě častý výskyt přívalových srážek, které střídá období sucha. Tyto faktory ovlivňují míru eroze vždy ve vzájemné kombinaci. K eroznímu smyvu tak dochází i na půdních blocích, které sice nejsou výrazně sklonité, ale v kombinaci s nepřerušenu délkou svahu jsou nevhodné pro pěstování erozně nebezpečných plodin.

Vodní eroze je selektivní proces, při němž jemnější a lehčí částice jsou přednostně odtrhávány a unášeny odtékající vodou. Uvolněné půdní částice a organické látky mají velkou schopnost absorpce rostlinných živin, těžkých kovů, pesticidů a jejich reziduí, ale i patogenních organismů, a proto představují nebezpečí ohrožující kvalitu vodních zdrojů. Erodovaná půda obsahuje zpravidla vyšší koncentraci živin než původní půda. Je to zejména proto, že živiny se ve větším množství nacházejí v horních vrstvách půdy a jemné frakce zeminy jsou snadno vyplavovány. V případě, že intenzita a úhrn dešťové srážky převyšují infiltraci vody do půdy, dochází k povrchovému odtoku.

Vodní eroze působí škody zejména na území, kde vzniká, kde se projevuje především smyvem půdy. Z počátku je odnos málo nápadný a teprve později se mohou objevovat erozní

rýžky, rýhy a stružky soustřeďující povrchový odtok. Na půdu působí nepříznivě tím, že způsobuje snižování mocnosti ornice, její ochuzování o živiny a zhoršuje její vodní jímavost. Opakovaným působením erozních procesů se stupňují ztráty půdních částic z povrchové vrstvy půdy a dochází k degradaci půdního fondu. Jde především o snížení úrodnosti půdy, zhoršení jejích fyzikálních vlastností, snižuje se její retenční schopnost a zhoršuje se zároveň jakost vody v povodí (KVÍTEK a TIPPL, 2003).

Jednou z možností, jak snížit riziko eroze, je půdoochranné obdělávání půdy se zanecháním většího množství rostlinné hmoty na povrchu nebo jen mělce zapravených do povrchové vrstvy půdy. Lze také využít pěstování meziplodin a jejich mulč využít k pokrytí povrchu a jeho ochraně před působením vodní eroze. Jinou možností je pěstování rostlin zcela bez zpracování půdy se zakládáním porostů přímým setím či zakládání porostu především širokořádkových plodin (slunečnice, kukuřice, cukrová řepa) do porostů vymrzajících meziplodin. Tento systém ochrany půdy chrání povrch půdy před působením eroze zapojeným porostem pěstovaných plodin nebo ponecháním posklizňových zbytků na jejím povrchu. Místo orby je půda pouze kypřena kypřiči ať už radličkovými, či talířovými. Z výsledků experimentů prováděných ve VÚMOP Praha vyplývá, že narušení povrchu půdy kypřením má významný vliv na zvýšení infiltrační schopnosti půdy, což vede ke snížení povrchového odtoku (TIPPL et al., 2001). Kromě způsobu hospodaření s rostlinnými zbytky má také na odolnost půdy proti erozi vliv obsah organické hmoty, jak dokládá tabulka č. 2. Obsah organické hmoty v půdě má významný vliv na stabilitu půdních agregátů, které se stávají odolnější vůči rozplavování a mechanickému rozrušování účinkem dešťových kapek.

Tabulka č. 2: Smyv půdy v porovnání s holým povrchem půdy

Plodina	Smyv půdy [%]
Cukrová řepa, kukuřice, brambory	60
Jarní obilovina	24
Ozimá obilovina	18
Vojtěška, jetel	2
Louka	0,5

Zdroj: KVÍTEK, TIPPL (2003)

2.6.2 Větrná eroze

Druhý nejvýznamnější typ eroze v České republice ovlivňuje zejména meteorologické a půdní poměry, které jsou dále zesilovány či zeslabovány dalšími

faktory a přímými zásahy člověka. Jsou to zejména drsnost půdního povrchu, půdní krusta, vegetační kryt půdy, způsob a termín obdělávání půdy a délka nechráněného pozemku.

Z meteorologických faktorů jsou to především rychlost a směr větru, doba jeho působení a četnost výskytu. Dále je vznik větrné eroze ovlivněn množstvím a formou atmosférických srážek a výparem ovlivněným teplotou. Čím větší je rozměr půdních částic, tím je potřebná větší rychlost větru při zemi, aby nastal odnos. Počáteční vlečná rychlost pro odnos půdních částic je s ohledem na půdní podmínky udávána od $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro suchou písčitou a hlinitopísčitou půdu; do $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro suchou i vlhkou půdu hlinitou. Větrná eroze se týká těch oblastí České republiky, které jsou v klimatických regionech 0 - 4 (ŠVEHLÍK, 2002).

2.6.3 Eroze orbou a sklizňová

Eroze orbou způsobuje pohyb půdy ve směru svahu při orbě, sklizňová souvisí s odnosem půdy při odvozu plodin z pole, typicky u řepy cukrovky, která je od ornice omývána až v cukrovarech. Tyto typy eroze nejsou příliš zmapovány.

Dalším procesem, zapříčiňujícím pohyb půdy ve směru svahu, je eroze orbou. Ta se svými průměrnými ročními hodnotami blíží erozi vodní, dosud jí nicméně není věnována příliš velká pozornost (ŠVEHLÍK, 2002).

2.6.4 Následky vodní eroze

Zrychlená vodní eroze půdy ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část – ornici, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, snižuje propustnost půdy, poškozují plodiny, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, a tím samozřejmě snižuje i hektarové výnosy.

Navíc transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy a zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin.

Hlavní důsledky vodní eroze můžeme rozdělit do následujících skupin:

- hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy
- ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů (kapacita koryt vodních toků a disponibilní objem vodních nádrží)
- ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů
- ohrožení intravilánu měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině procesy povrchového odtoku a vodní eroze

Vodní eroze ohrožuje více než 50 % výměry orné půdy v rámci ČR. V současnosti se výpočet ohroženosti půdy vodní erozí používá Univerzální rovnice ztráty půdy. Podle posledních analýz by mohlo při nejhorším možném scénáři být erodováno až 21 milionů tun půdy za rok, což je možné finančně vyjádřit jako škodu za 4,3 miliardy korun (nejsou však započteny další škody na obecním a soukromém majetku), (NOVOTNÝ, 2014).

2.7 Utužení půd

Způsoby omezování ztuhnutí půdy v soustavě hospodaření, hlavně však v technologii pěstování plodin musejí sehrávat významnou úlohu. Přístupy v omezování ztuhnutí půdy vyžadují revizi v organizaci půdního fondu a organizaci práce, přehodnocení soustavy hospodaření na půdě a technologických postupů pěstování plodin včetně materiálně technického zabezpečení, ale i vývoj a výrobu nových strojů. Jedná se především o tato opatření:

- technická a konstrukční řešení zemědělských strojů vedoucí ke snižování jejich tlaku na půdu
- revize uspořádání půdního fondu - souvislost mezi utužením a ekonomikou pěstování rostlin
- doba vstupu strojů na pozemek a omezování pojezdu strojů po poli
- šetrné a ochranné zpracování půdy (<http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-57-7.pdf>, „staženo dne: 7. 3. 2017“)

2.7.1 Příčiny utužení půdy

Síly, které působí na stlačení půdy ze strany zemědělské techniky, mohou způsobit rozpad půdních částic - ty se uspořádají blíže k sobě do menšího objemu. U částic, které jsou stlačeny dohromady, se prostor mezi částicemi (póry) snižuje, čímž se sníží prostor dostupný v půdě pro vzduch a vodu.

Ztuhnutí půdy může mít řadu negativních účinků na kvalitu půdy a rostlinné výroby včetně následujících:

- snížení pórovitosti půdy
- snížení rychlosti infiltrace vody do půdy
- snížení rychlosti, kdy voda proniká do kořenového systému, půdy a podloží
- zvýšení potenciálu pro výskyt povrchové stojaté vody, odtoku vody z pole, podmáčení a půdní eroze
- snížení schopnosti půdy zadržovat vodu a vzduch, které jsou nezbytné pro růst a funkci kořenů rostlin
- redukce vzniku plodin v důsledku půdní krusty

- bránění růstu kořenů
- snížení schopnosti rostlin přijímat živiny a vodu účinně z půdy
- snížení výnosu plodin ([http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$departmentocs.nsf/all/agdex13331](http://www1.agric.gov.ab.ca/$departmentocs.nsf/all/agdex13331), „staženo dne: 7. 3. 2017“)

Pro vyřešení problematiky utuženosti půd musíme jít více do hloubky a nahlížet na daný problém z jiného úhlu, neboť většina technogenního utužení je způsobena těžkou zemědělskou technikou, jako jsou například traktory či zemědělské stroje; zároveň je i značně ovlivněna půdními procesy, které v půdě neustále pracují. Proto se nejvíce apeluje nato, aby se s technikou, která se pohybuje po stejných pozemcích, jednalo co nejšetrněji. Utužení půd je ovlivněno těmito faktory:

- nedostatečné půdoochranné zpracování
- množství přejezdů na daném pozemku
- nevhodná doba vstupu stroje na pozemek
- uspořádání půdního fondu
- technické řešení zemědělských strojů (JAVŮREK, 2008)

2.7.2 Identifikace typů půdního zhutnění

Utužená půda se může objevit na povrchu půdy ve formě půdní krusty nebo tento jev může nastat v samotném podloží. Utužené půdy mají negativní vlastnost ve směru snížené produktivity plodin, je však důležité, správně diagnostikovat příčinu nebo příčiny snížené produkce plodin. Špatný růst rostlin může být způsoben řadou faktorů. Prvním krokem je správně diagnostikovat problém zhutnění půdy, a pak vypracovat krátkodobé a dlouhodobé řízené postupy, u kterých by se mělo zabránit dalším škodám. Utužení půdy může nastat v různých obdobích roku prostřednictvím různých mechanismů. Při pečlivém pozorování můžeme diagnostikovat problém:

- Pozorujeme špatný růst plodin ve všech letech, za použití různých typů plodin ve stejné oblasti pole?
- Existuje vzor kde a jak rostliny vysazovat (spojené s drahou kol, šířkou zařízení a drahou kde a jak se daný prostředek pohybuje)?
- Je povrch rovný a plynulý a vyskytuje se na něm křusta?
- Došlo ke změně v používaném zařízení myšleno k velikosti, hmotnosti nebo změně pracovní operace?
- Existují typy půdy s přirozeně hustými horizonty, jako jsou erodované pahorky?
- Pokud seškrábeme povrch půdy lopatkou nebo zednickou lžící, můžete vidět husté vrstvy a vodorovný růst kořenů?

Uvědomme si, že zhutnění zemědělských půd může být způsobeno různými zemědělskými postupy:

- Zpracování půdy, proces, který odstraňuje ochranné zbytky z povrchu půdy, přičemž půda, která je náchylná k přírodním silám nebo nadměrnému zpracování půdy způsobuje, že povrch půdy a jeho agregáty se začnou rozebírat nebo degradovat. Tento jev může vést k vytvoření půdní krusty, což vytváří na povrchu půdy tvrdou a zhutněnou vrstvu.
- Mechanizace použitá na zpracování půdy může vyvolat zhutnění půdy těsně pod hloubku orby, zvláště když je půda mokrá.
- Hmotnost zemědělských strojů (traktory, secí stroje, kombajny, nákladní automobily, rozmetadla chlévské mrvy) mohou způsobit, že kola dopravní techniky zhutňují půdu do značné hloubky až k samotným kořenům rostlin. Za zvyšující se vlhkosti se úměrně zvyšuje možnost utužení dané půdy (<https://www.pioneer.com/home/site/ca/agronomy/library/template.CONTENT/guid.59FAEEE2-E565-44D7-83AF-8EDB9DFE6F6C>, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

2.7.3 Druhy půdního zhutnění

Z hlediska zhutnění půdy má výrazný vliv především půdní typ a druh půdy. Rovněž reliéf terénu ovlivňuje stupeň podorničního zhutnění půdy. Druhy půdního zhutnění rozdělujeme na:

- Povrchová krusta – forma zhutnění půdy, která snižuje možnost uchycení semen a vsakování vody. To je způsobeno dopadem dešťových kapek na povrch půdních částic. Těžký náraz kapek způsobuje, že se půdní částice vydrolí z povrchu. Rychlé schnutí půdy pak zvyšuje potenciál pro vznik povrchové krusty. Půdy s vyšším podílem organických látek nebo s vysokým obsahem písku mají menší potenciál pro její vytvoření.
- Boční zhutnění – forma zhutnění půdy způsobena výsadbou a osemem do vlhké půdy. Brázdy po stranách po osevu tvrdnou a mohou způsobit špatný růst kořenové soustavy.
- Mělké zhutnění – zhutnění, ke kterému dochází od povrchu dolů v běžné zóně zpracování půdy. Tento typ zhutnění je obvykle způsoben lehkým provozem kol strojů, nebo živočichy. Mělké zhutnění je obvykle dočasné a může být odstraněno při orbě.
- Orební zhutnění – forma zhutnění pár palců pod běžnou zónou zpracování půdy. Tento typ zhutnění je způsoben typy nářadí na zpracování půdy.

- Hluboké zhutnění – zhutnění půdy, které se skrývá pod zónou zpracování půdy a je způsobeno maximálním zatížením nápravy zemědělských strojů, jako jsou obilné návěsy a kombajny. Hluboká zhutnění je velmi obtížné odstranit, takže je důležitá prevence (<https://www.pioneer.com/home/site/ca/agronomy/library/template/CONTENT/guid.59FAEEE2-E565-44D7-83AF-8EDB9DFE6F6C>, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

2.7.4 Detekce půdního zhutnění

Vzhledem k tomu že zhutnění půdy ovlivňuje růst kořenů, mohou mít nadzemní příznaky mnoho forem. Znamky zhutnění:

- Viditelné stopy jízdy kol přes pole.
- Chybný růst kořenů, včetně podsaditých, plochých a tenkých zkroucených kořenů. Kořeny rostoucí do pánve obdělávané půdy horizontálně, nikoli vertikálně, mají plochý a mělký kořenový systém.
- Zakrnělý růst rostlin. Výše růstu rostlin nad zemí přímo souvisí s podzemním růstem kořenů. Pokud je narušen růst kořenů, bude pravděpodobně zakrnělý vegetativní růst nad zemí.
- Výživové napětí na plodinách může být dalším příznakem zhutnění. Vzhledem k tomu, že kořeny jsou cesty půdních živin do plodiny, mohou omezené kořenové snížit kořenové zachycení živin v půdě. Nedostatek fosforu, draslíku a dusíku může být dalším vedlejším příznakem zhutnění půdy.
- Stojaté vody nebo nadměrné vodní eroze může být způsobeno nadměrným zhutněním půdy. Zhutnění snižuje porézní prostor v půdě, takže voda se nevstřebává do půdy tak snadno.
- Vadnutí rostlin v určitých oblastech pole může rovněž signalizovat zhutnění. To může mít souvislost s mělkým kořenovým systémem, který zabraňuje plodině přijímat dostatek vody z podloží.
- Zvýšené požadavky na napájení pro polní operace mohou být dalším příznakem zhutnění (LHOTSKÝ, 2000).

2.7.5 Opatření proti zhutňování

Dlouhodobým obděláváním půdy bez dostatečných kompenzačních vazeb dochází k postupné degradaci struktury i v půdách s původně přirozeně dobrou strukturou. Naproti tomu je možné volbou správného obdělávání půdy zlepšit strukturu již poškozených nebo přirozeně bezstrukturních půd. Za hlavní úkol zpracování půdy je v současné době považováno vytvoření příznivého strukturního stavu, který se vyznačuje vodostálými

agregáty, které jsou nutné z hlediska drobnosti půdy a úpravy set'ového lůžka i z hlediska propustnosti ornice a podorničí pro kořeny a schopnosti vést vodu a vzduch v aktivním profilu půdy (ŠIMON, LHOTSKÝ, 1989).

K minimalizaci škod způsobených zhutněním je nutné dodržovat jistá pravidla. Tím nejdůležitějším je zpracování půdy a pojíždění po poli pouze ve vhodném vlhkostním stavu. Dále je nutné nepřetěžovat půdu těžkými mechanizmy, ani nezvyšovat zbytečně počty přejezdů. Mnohem vhodnější je opakovaně jezdit v téže stopě, než volit pro každou jízdu novou kolej, tím se snižuje relativní nárůst zhutnění. Pokud je hmotnost stroje rozložena na více náprav, dosáhneme opět příznivějšího působení na půdní strukturu. Pojezd po poli před orbou nebo jinou operací základního zpracování půdy je méně škodlivý než po těchto operacích, kdy je půda nakypřena a utužení se projeví do větší hloubky půdního profilu (LHOTSKÝ, 2000)

Dále je nutné eliminovat přejezdy po poli v jarním období, především s ohledem na zvýšenou vlhkost, kdy je opět půda náchylnější na nežádoucí zhutnění. Výhodné je přesunout některé operace z jarního období na podzim předcházejícího roku. Samozřejmostí je spojování pracovních operací využívající kombinace strojů, které cíleně minimalizují přejezdy po poli. Způsob hospodaření významně ovlivňuje strukturu půd a tedy i zhutnění. Strukturu ovlivňují především:

- vnější tlaky mechanizačních prostředků
- způsob hnojení
- povětrnostní podmínky
- různý způsob zpracování půdy

BRENNDÖFER (1994), BRUNOTTE et al. (1996), SOMMER (1997) a KÖLLER et LINKE (2001) používají pro označení postupů zpracování půdy, které zahrnují různou hloubku, intenzitu i odlišný způsob kypření půdy a zacházení s rostlinnými zbytky, následující třídění:

- **Konvenční zpracování půdy** založené na každoročním zpracování půdy radličnými pluhy, kdy dochází k zapravování rostlinných zbytků a plevelů do půdy. Půda se pluhem drobí, mísí, kypří a obrací. Při setí je možné použít radličkové secí botky s tupým úhlem vnikání do půdy.
- **Konzervační (ochranné) zpracování půdy** bez orby, kde není používán pluh a orba je nahrazena mělkým kypřením bez obracení zpracovávané vrstvy půdy. Rostlinné zbytky zůstávají na povrchu půdy a v povrchové vrstvě. Ochranným

způsobem zpracování se omezuje zhutnění půdy především redukcí přejezdů souprav po poli oproti konvenčnímu způsobu. Při půdoochranném způsobu zpracování půdy je podíl kolejových stop na poli cca o 50 % nižší než při konvenčním způsobu. Omezením mechanických zásahů do půdy se snižuje narušení půdních agregátů, a tím se zvyšuje i únosnost půdy.

- **Přímé setí**, kdy odpadá jakýkoliv zpracování půdy a setí se uskuteční přímo po sklizni hlavní plodiny. Odpadá tedy jakýkoliv předchozí mechanický zásah do půdy (ŠIMON, 1999).

Jinou terminologii hlavních skupin technologií ochranného zpracování půdy vycházejícího z klasifikace Soil Science Society of America uvádějí BAKER, SAXTON et RITCHIE (1996):

- **Conservation-tillage** (ochranné zpracování půdy) zahrnuje různé způsoby zpracování půdy bez orby i přímé setí do nezpracované půdy. Významným znakem je, že nejméně 30 % povrchu je pokryto rostlinnými zbytky.
- **Minimum-tillage** (minimální/redukované zpracování půdy) se vyznačuje minimalizací operací při zpracování půdy.
- **No-tillage** (bez zpracování půdy). Ekvivalentem je označení **direct-drilling** případně **zero-tillage**. Půda se před setím vůbec nezpracovává, seje se speciálním secím strojem a na povrchu půdy zůstává 80 až 100 % rostlinných zbytků.
- **Strip-tillage** (zpracování půdy v pásech), je označení technologií pro zpracování půdy v úzkých pásech, do nichž se ukládá osivo. Mezi jednotlivými pásy je půda nezpracovaná.
- **Ridge-tillage/Ridge-till** (zpracování půdy s vytvořením hrůbků). Tento systém je vhodný pro pěstování širokořádkových plodin, jako například kukuřice, kdy hrůbky mohou na poli zůstat i několik sezón a využijí se při pěstování monokultur (http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=pss_views, „staženo dne: 5. 3. 2017“).

2.7.6 Význam systému zpracování půdy

Půdu zpracováváme z hlediska úpravy pozemku po sklizni předplodiny (urovnání pozemku, zapravení posklizňových zbytků a hnojiv), z hlediska úpravy fyzikálních vlastností půdy (půdní struktura, objemová hmotnost půdy, pórovitost, obsah vody a vzduchu) a kvůli regulaci škodlivosti organismů.

Dle pohybu a hloubky zpracované vrstvy mluvíme o systému zpracování půdy:

- S obracením orniční vrstvy (orba radličným pluhem, předseťové zpracování půdy a setí/sázení)
- Bez obracení orniční vrstvy (celoplošné kypření, pásové kypření, přímé setí do nezpracované půdy) (PROCHÁZKOVÁ, 2011)

2.7.7 Vliv použitých mechanizačních prostředků

Rozdělujeme 3 základní systémy zpracování půdy ve vztahu k založení porostu:

- Základní zpracování (podmítka, orba)
- Předseťové zpracování (smykování/vláčení, kypření, válení)
- Kultivace za vegetace (vláčení/válení, plečkování/hrůbkování), (PROCHÁZKOVÁ, 2011)

2.7.7.1 Podmítka a orba

Podmítka je mělké zpracování půdy (8-12 cm) v letním období po obilninách, luskovinách, řepce apod. Díky podmítce hospodaříme s půdní vláhou (přerušeni kapilarity v povrchové vrstvě, uchování vody v půdním profilu), regulujeme zaplevelení, zlepšujeme fyzikální vlastnosti půdy (prokypření povrchové vrstvy půdy), zapravíme posklizňové zbytky, urovnáme pozemek a zapravíme hnojiva. Nářadí používané na podmítku:

- Podmítací pluh (viz obrázek č. 1),
- Talířové (diskové) podmítače (viz obrázek č. 2),
- Radličkové podmítače (viz obrázek č. 3),
- Rotační kypřiče (viz obrázek č. 4).

Ekonomická náročnost podmítky se pohybuje kolem 350 – 600 [Kč.ha⁻¹]. Spotřeba nafty 5-8 [l.ha⁻¹] s hodinovou výkoností 2-4 [ha.h⁻¹].



Obrázek č. 1 - Podmítací pluh, zdroj: <http://www.svetpostrikovacu.cz/cz/e-shop/650676/c31615-zemedelska-technika/pluh-neseny-jednostranny-akpil-kmj-4-radlicny.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“



Obrázek č. 2 - Talířový podmítač, zdroj: <http://www.vh-ji.cz/73-kuhn-discover-xl-talirovy-podmitac.html?idProduktu=69&varianta=1&kamZpetP=%2F73-obchod.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“



Obrázek č. 3 - Radličkový podmítač, zdroj: <http://www.agroseznam.cz/cz/agrobazar/detail-inzeratu/32110-radlickovy-podmitac.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“



Obrázek č. 4 - Rotační kypřič, zdroj: <http://www.agrocar.cz/technika-v-detailech/stroje-sauerburger/pridavna-naradi-pro-upravu-pudy/rotacni-kypric-sauerburger-panda.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“

Orba pracuje na fyzikálním principu trojstranného klínu. Rozlišujeme typy orby záhonové a do roviny. Nářadí používané k orbě:

- Jednostranné pluhý (viz obrázek č. 5),
- Otočné pluhý (viz obrázek č. 6),
- Výkyvné pluhý (viz obrázek č. 7).

Mezi všeobecné důsledky utužení půdy po orbě řadíme snížení propustnosti pro vodu a ulpívání půdy na pracovních orgánech. Ekonomická náročnost orby se pohybuje kolem 1000 – 1600 [Kč.ha⁻¹]. Spotřeba nafty 12 – 25 [l.ha⁻¹] s hodinovou výkoností 0,5 – 2 [ha.h⁻¹].



Obrázek č. 5 - Jednostranný pluh, zdroj: <http://nopozm.cz/pluhy>, „staženo dne: 4. 4. 2017“



Obrázek č. 6 - Otočný pluh, zdroj: <http://nopozm.cz/pluhy>, „staženo dne: 4. 4. 2017“



Obrázek č. 7 - Výkyvný pluh, zdroj: <http://nopozm.cz/pluhy>, „staženo dne: 4. 4. 2017“

2.7.7.2 Předset'ová příprava půdy

Mezi hlavní významy předset'ové přípravy půdy řadíme hrubou úpravu povrchu pozemku (smykování, vláčení) a vytvoření set'ového lůžka (vláčení, kypření) viz tabulka č. 3.

Tabulka č. 3: Předset'ové přípravy a jejich řazení dle významu, pracovního nářadí a použití.

	Význam	Nářadí	Použití
Smykování	Urovnání hrubé brázdy Rozdrcení (zatlačení) hrud Zlepšení tepelných a vlhkostních poměrů v půdě Hubení plevelů	Jednoduché smyky (trámcový okovaný, ocelový ozubený) Kombinované smyky – smykostroje Smyky jako součást kombinátorů	Energeticky náročné Porušování půdní struktury, utužení půdy Při současných technologiích ztrácí na významu
Vláčení	Urovnání povrchu pozemku Prokypření půdy do 6-8 cm, rozdrcení hrud Omezení výparu, zlepšení tepelných poměrů Zpracování hnojiv a pesticidů Hubení plevelů	Dle konstrukce (hřebové, radličkové, hvězdicové, talířové) Dle pohonu (vibrační, rotační)	Zpravidla v kombinaci s jiným nářadím Využívané v přípravě pro téměř všechny plodiny Šetrné, ale málo účinné v těžkých podmínkách
Kypření	Prokypření půdy do 6-15 cm, drcení hrud Zlepšení tepelných poměrů Zapravení hnojiv a pesticidů Zapravení organické hmoty Hubení plevelů	Radličky (dlátové, šípové, srdcové kombinované) Slupice (pevné, pružné, odpružené) Pohon (vertikální, horizontální)	Pro hlouběji seté/sázené plodiny V těžších půdách V kombinaci s dalším nářadím (kombinátory)

Zdroj: PROCHÁZKOVÁ, 2012

2.7.7.3 Kultivace za vegetace

Hlavní význam kultivace půdy za vegetace je zlepšení půdních vlastností, regulace zaplevelení a hospodaření s vláhou. Využívá se zejména v širokořádkových plodinách (zelenina, brambory, cukrová řepa, kukuřice). Používané nářadí:

- Plečky (nožové, dlátové, rotační, kartáčové, hrůbkovače)
- Brány (prutové, síťové, lehké hřebové)

U kultivace širokořádkových plodin se uplatňují zásady použití:

- V raných růstových fázích plevelu
- Ihned po vyřádkování porostu
- Opakování dle potřeby
- Nepoškozování kořenového systému

- Optimální půdní vlhkost
- Možnost kombinování s herbicidy (ŠKODA, 2002)

2.7.8 Souvislosti mezi utužením a ekonomikou pěstování rostlin

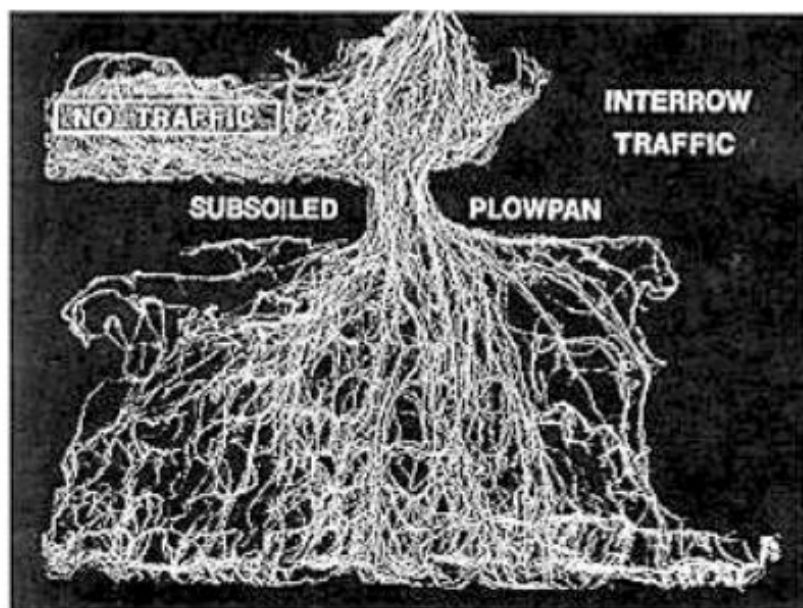
Je prokázáno, že nadměrné zhutnění půdy redukuje rychlost růstu kořenů plodin, jejich prodlužování a prorůstání do spodních vrstev půdy i tvorbu kořenového vlášení viz obrázek č. 8. Ve zhutnělých půdách jsou nejvíce postiženy plodiny, které tvoří hospodářský výnos podzemními orgány - u cukrovky dochází k tzv. mrcasatění bulev, u brambor k deformaci hlíz, mrcasatost kořene karotky viz obrázek č. 9. U plodin, které vytvářejí hlavní kulový kořen (řepka olejka, sója, slunečnice aj.) se jeho růst omezuje tím, že neproniká zhutnělou vrstvou v podorničí, roste horizontálně a deformuje se. To znamená, že nadměrné zhutnění půdy má za následek nižší příjem vody a živin v porovnání s normálně vyvinutým kořenovým systémem.

Přípustné hodnoty objemové hmotnosti půdy pro některé plodiny uvádí tabulka č. 4. Z toho vyplývá, že vlivem zhutnění půdy v ornici i podorničí se výnosy plodin snižují v závislosti na stupni zhutnění a dalších faktorech (průběhu počasí, vlhkosti půdy, použité agrotechnice) a to v rozmezí u obilnin o 10 – 20 %, u kukuřice o 10 – 15 %, luskovin o 15 – 20 %, u brambor o 20 – 25 %, u cukrovky o 20 – 30 %. Utužení půdy nejenom snižuje výši výnosu, ale také nepříznivě ovlivňuje jakost produkce. Tak např. u cukrové řepy se cukernatost bulev snížila v průměru o 15 %, olejnatost semen řepky olejky až o 8 % (JAVŮREK, VACH, 2008).

Tabulka č. 4: Přípustná a riziková objemová hmotnost půdy pro některé plodiny (u středně těžkých půd).

Plodina	Objemová hmotnost půdy [g.cm ⁻³]	
	přípustná	riziková
Pšenice ozimá	1,45 – 1,50	1,60
Žito ozimé	1,35 – 1,40	1,55
Ječmen jarní	1,35 – 1,45	1,50
Oves	1,50 – 1,55	1,60
Kukuřice	1,50 – 1,55	1,60
Luskoviny	1,15 – 1,20	1,30
Cukrovka	1,00 – 1,10	1,35
Brambory	1,00 – 1,15	1,25

Zdroj: JAVŮREK, VACH, 2008



Obrázek č. 8 – Distribuce kořenového systému bavlníku ukazuje, jak kořeny získávají přístup k podloží přes nižší hustotu zóny vytvořené dlátem, zdroj: [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/EEE8C6465711713F852579E50077ACDC/\\$FILE/SSMG-34.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/EEE8C6465711713F852579E50077ACDC/$FILE/SSMG-34.pdf) „staženo dne 4. 4. 2017“



Obrázek č. 9 - Mrcasatost kořene karotky, zdroj: KÚDELA, 2013

2.7.9 Doba vstupu strojů na pozemek

Intenzita negativního působení pojezdů strojů a dopravních prostředků na zhutnění půdy má značnou souvislost s dobou vstupů této techniky na pole. Vstupy strojů na pozemky při zakládání porostu plodin zejména na jaře by se měly, vzhledem k tomu, že je v této době

půda velmi citlivá na zhutnění, uskutečnit až v době, kdy je ornice tzv. „zralá“, tj. má přiměřenou vlhkost a dobrou únosnost. Předčasné vstupy strojů v jarním období na pozemky nejenže značně zhutňují půdu a poškozují její strukturu, ale jsou i z hlediska nároků plodin nevhodné. Jedná se o tzv. „zamazání osiva“, kdy v kolejových řádcích dochází ke žloutnutí rostlin vlivem nedostatku vzduchu v půdě a k dalším poruchám růstu v důsledku nepříznivých půdních vlastností. Nápravná opatření na zhutnělé půdě v tomto období jsou prakticky nemožná.

Vstupy strojů do porostu plodin během vegetace vyžadují rozvahu vzhledem ke stavu půdy i porostu plodin a zároveň se zřetelem k uplatňovaným agrotechnickým opatřením, tj. přihnojování a ochraně rostlin v požadovaném termínu. Poškozené nebo zničené rostliny již velmi obtížně nahrazujeme (omezená regenerace) a škody vzniklé na půdním prostředí zhutněním při jízdách strojů v porostech plodin se obtížně eliminují. V některých letech při sklizni plodin za vlhkého počasí dochází při vstupech především starších sklizňových strojů i k hlubokým stopám s následným zhutněním podorničních vrstev. V tomto směru je třeba maximálně využívat jízdnic drah pro jízdy strojů v porostech plodin.

Hlavní možností zemědělských podniků, jak usměrňovat a optimalizovat dobu vstupů strojů na pozemky, s ohledem na omezování zhutňování půdy, je dostatečné zemědělský podnik vhodnými výkonnými stroji, protože vysoká operativnost při zajišťování jednotlivých pracovních operací v souladu s půdními podmínkami, požadavky agrotechniky pěstovaných plodin v souladu s průběhem počasí podle předpokládaného vývoje.

„V období po sklizni zrnin a dalších semenných plodin při vstupech strojů na pozemek již nedochází k výraznému zhutnění půdy, kdy je většinou nízká vlhkost půdy i slehlejší ornice a kolejové stopy je možné odstranit následným zpracováním půdy. Proto je třeba tohoto období využít k uplatnění pěstitelských opatření (hnojení P, K minerálními hnojivy, vápnění, aplikace kejdy apod.), která jsou technologicky nutná.“

Také přesun některých operací přípravy půdy z jara do podzimu u plodin setých, nebo sázených na jaře, např. urovnání ornice, má výhodu v tom, že vzniklé zhutnění půdy ve stopách po přejezdech strojů na podzim může být v zásadě napraveno vlivem objemových změn půdy při jejím promrzání v zimním období. Často však vzhledem k požadovaným agrotechnickým lhůtám pro jednotlivé plodiny, k termínům aplikace agrochemikálií a stavu půdy (únosnost, zralost) je nutno v tomto směru zvolit přijatelný kompromis ve vztahu plodina a půda. Velmi významnou úlohu zde rovněž sehrává akceschopnost zemědělských podniků maximálně využít příznivých půdních podmínek ke vstupu strojů na pozemky v optimální dobu (JAVŮREK, 2008).

2.7.10 Technické řešení zemědělských strojů

Technická a konstrukční řešení strojů s cílem snížit kontaktní tlak na půdu (styčné plochy pojezdového ústrojí, limitní zatížení náprav atd.) se staly předmětem rozsáhlého výzkumu v 80. letech minulého století. Studovala se hlavně závislost deformace půdy (ornice i podorničí) na kontaktním tlaku strojů a únosnosti půdy. Sledování ukázala, že nestačí definovat pouze největší přípustné hodnoty měrných tlaků na půdu, ale je nutné stanovit i limitní zatížení náprav strojů (6 t jako mezní hmotnost na 1 nápravu).

Řešení této problematiky v souvislosti se zhutňováním půdy se zaměřilo hlavně na:

- nové konstrukce pneumatik
- snižování hmotnosti strojů

Dříve, než se dostaly do výroby nové konstrukce pneumatik, doporučovalo se pro snížení zhutnění půdy kontaktními tlaky používat zdvojených kol, klecových kol, případně kombinaci předních pneumatik s opryžovanými pásy zadního pohonu traktoru. Také se osvědčuje řízené podhušťování pneumatik strojů a návěsů při jízdě po poli (HÁKANSSON 1982 a další autoři).

V současné době však převládají nové konstrukce nízkotlakých pneumatik. Tyto širokoprofilové, nízkotlaké pneumatiky jsou šetrnější k půdě tím, že snižují utužování při pojezdech strojů po poli a proto jsou již těmito pneumatikami vybavovány sklízecí plodin především se zásobníkem produkce. U traktorů a dalších strojů se používají radiální pneumatiky, které v porovnání s klasickými diagonálními vykazují nižší zhutňování půdy. Lze říci, že výrobci zemědělských strojů již uplatňují převážně nové konstrukce pneumatik za účelem snížení kontaktních tlaků strojů na půdní profil.

U dřívějších konstrukcí zemědělských strojů, především sklízeců, se zvyšování jejich výkonu neobešlo bez zvýšení jejich hmotnosti, což mělo za následek překračování limitu kontaktních tlaků. Také metody sklizně plodin, kdy sklizený produkt sklizňové stroje ukládaly do současně pojíždějících dopravních souprav s nevhodnými pneumatikami s nastavovanými úložnými prostory, přispěly významnou měrou v kombinaci s druhem půdy a její vlhkostí k nadměrnému zhutňování půd. Zejména při sklizni cukrovky při vyšší vlhkosti půdy docházelo ke značnému zhutňování půdy do velkých hloubek v podorničí.

V současné době již došlo k výrazným změnám sklizňových technologií a konstrukci sklizňových strojů (používání strojů se zásobníky, opatřených nízkotlakými pneumatikami), což snižuje negativní vliv mechanizace, pojíždějící po poli, na půdu. Také využívání strojů s aktivně poháněnými pracovními nástroji, kde se převážná část výkonu motoru přenáší přes vývodový hřídel traktoru, snižuje nároky na trakční vlastnosti traktorů a tím i na jejich hmotnost.

Využití opatření tohoto druhu k omezování zhutnění půd závisí především na strojním parku jednotlivých zemědělských podniků, resp. jejich vybavení moderní zemědělskou technikou. Současná nabídka zemědělské techniky na trhu pro rostlinnou výrobu většinou přispívá k redukci kontaktních tlaků na půdu.

Při obnově strojního parku by zemědělské podniky měly současně přehodnotit technologické postupy pěstování plodin s ohledem na stanovištní podmínky (druh půdy atd.), které mají souvislost i s redukcí půdního zhutnění (JAVŮREK, 2008).

Je známo, že pojezdové ústrojí u zemědělských strojů je hlavní činitel mezi půdou a strojem a má přímou návaznost na zhutňování půdy. Proto dělíme pojezdová ústrojí na dva základní typy, jako je plocha styku S_d a plochu otisku S_o . Plocha otisku S_o je definována jako plocha rovinná, je ohraničená plochou obrysu vtlačení vzhledem k povrchu půdy, avšak plocha styku S_d je plocha, kde je dán otisk dezénu, který přijde do styku s podložkou.

Plocha otisku vznikne převážně na měkkých, podmáčených a nakypřených půdách, na tvrdém podkladu vytváří tvar elipsy. Spolčení těchto ploch nazýváme plností vzorku běhounu, který na tvrdé podložce dosahuje 30 – 60 %. Plocha otisku pneumatiky společně s pásovými jednotkami má vliv na měrný tlak (GREČENKO, 1963).

Velikost zatížené styčné plochy pneumatiky významně ovlivňuje utužení půdy, samozřejmě záleží významnou měrou na aktuální vlhkosti půdy, která se prostřednictvím specifického součinitele (tzv. koncentračního faktoru) podílí na průběhu rozšíření tlakového napětí v půdním prostoru.

Velikost styčné plochy lze přizpůsobit změnou tlaku huštění požadovaným pracovním operacím v daných vlhkostních podmínkách, a tak snížit velikost kontaktního tlaku a napětí v půdě. Moderní radiální pneumatiky to umožňují a výrobci i doporučují. Jedná se zhruba o 1/4 až 1/3 nominálního tlaku; např. 710/70 R 42 – 160 kPa (silnice) – 110 kPa (pole).

Klíčové pro snížení zhutnění vlivem pojezdů zemědělské techniky dle autora PRIKNER (2016) z České zemědělské univerzity v Praze bude:

- Konstrukce pneumatik se bude i nadále zdokonalovat a přizpůsobovat požadavkům moderních strojů. Týká se to především použití pro vysoké nosnosti, ale i rychlosti a zároveň i požadavku být co nejšetrnější k půdě.
- Centrální řízení tlaku huštění se zanedlouho stane nezbytnou výbavou stejně jako dnes GPS navigace.
- Důležité je, že i samotní výrobci i prodejci zemědělské techniky se snaží co nejvíce vycházet vstříc zemědělcům a doporučují na základě svých testování nejvhodnější

kombinace pneumatik pro dané výkonové třídy a konkrétní soupravy (<http://zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu>, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

2.7.11 Možnosti prevence utužování půd

Zúrodňování a odstraňování škodlivého zhutnění půdy vyžaduje komplexní uplatnění zúrodňovacích a agromelioračních opatření v soustavě hospodaření na půdě.

- využití možných agrobiologických a technologicko-organizačních opatření vedoucích k omezování zhutnění půdy
- odstraňování zhutnění půd uplatněním agromelioračních mechanických zásahů. Při omezování a odstraňování zhutnění půdy je třeba dbát na propojenost a kombinaci jednotlivých opatření (<http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-57-7.pdf>), „staženo dne: 7. 3. 2017“)

Se zajímavými poznatky přichází i AG Web Farm Journal s tipy k snížení půdního utužení:

- Kontrolovat a udržovat správný tlak v pneumatikách kvůli měnícím se teplotám v průběhu vegetačního období. To je důležité zejména na jaře, pokud jsme zakoupili nové pneumatiky.
- Snížit celkové zatížení nápravy zvolením co nejmenšího možného zařízení pro každou operaci.
- Minimalizovat cesty přes pole a zmenšit plochu, na které zařízení pracuje. Držet těžkou techniku ve stejných „pruzích“ v každém ročním období.
- Používat pneumatiky s velkým průměrem. Větší plocha může pomoci snížit tlak v pneumatik na půdu (<http://www.agweb.com/article/6-tips-to-reduce-soil-compaction-naa-ben-potter/>), „staženo dne: 11. 3. 2017“).

Ucelený přehled informací k maximálnímu omezení utužení půdy v ČR popsal ŠARAPATKA (2014):

- Pedokompakci můžeme omezovat správnou strukturou plodin v osevních postupech, dostatečným organickým hnojením a vápněním. Půdní život by měl být rozvíjen dobrým zásobováním organickou hmotou. Cílem je zachování, resp. zvyšování obsahu humusu v půdě. Předpokladem k tomu jsou podsevy, meziplodiny a pícniny na orné půdě. Pokud použijeme nářadí k hlubokému kypření půdy, musí být žádoucí prokypření následně zajištěno hluboce kořenícími druhy rostlin.
- Měli bychom usilovat o mělké obracení a hluboké kypření. Zpracování půdy bychom především na hlinitých a jílovitých půdách měli provádět pokud možno za přijatelných vlhkostních poměrů. Ty si jednoduše a rychle ověříme pomocí známého tužkového

testu: vezmeme půdu a mezi dlaněmi z ní hněteme váleček. Pokud je tenčí než tužka, aniž by se rozpadl, měli bychom pole nechat v klidu.

- Tlak vyvíjený na půdu by měl být co nejmenší a nejkratší. Těžké traktory mohou způsobovat značný tlak na půdu. Dvojitě pláště a flotační pneumatiky pomohou snížit utužení půdy v její horní vrstvě.
- Vhodné je provádět co nejméně pracovních operací, zásahy pokud možno agregovat. Je-li nutné po poli přejíždět vícekrát, např. při vláčení prutovými branami, měly by být používány stejné koleje (kolejové řádky), protože jednou utužená stopa se při dalším pojezdu již tolik neutuží (<http://www.ochrana-pudy.cz/hrozby-pro-pudu/zhutneni/zhutneni-a-zpusoby-ochrany/2014/10/09/>, „staženo dne: 7. 3. 2017“).

2.8 Matematické a počítačové modely utužení půd

Soustava zúrodňovacích opatření vychází ze zjištění rozsahu a stupně postižených půd zhutněním. Nejlepší metodou je průzkum zhutnění půd penetrometrickým měřením odporu půdy. Jako určité vodítko k posouzení utuženosti půdy mohou sloužit i praktická pozorování, jako např. louže nevsakující se vody na pozemcích po deštích, na jaře pomalé lokální osychání půdy, mělké zakořeňování plodin, např. tvorba celerovitých bulev cukrovky, zvýšená energetická náročnost (větší odpor) při obdělávání půd.

Pro přesné stanovení zhutnění půdy slouží moderní penetrometry, které registrují odpor v MPa při zasouvání kuželového hrotu do půdy. Zjišťování odporu půdy je nejlépe uskutečnit na jaře (koncem dubna), kdy je půdní profil rovnoměrně provlhčen (není většinou nutná korekce podle vlhkosti půdy). Na pozemcích s vyrovnaným druhem půdy by vzdálenost mezi jednotlivými sondami neměla přesahovat 100 m. Na heterogenních pozemcích je třeba vzdálenost mezi jednotlivými sondami zkrátit, nejmenší počet sond na menších pozemcích by měl činit alespoň 10.

Podle výsledků penetrometrické sondáže půdní plochy zemědělského podniku by se měl zpracovat projekt zúrodňovacích opatření a rozsah uplatnění agromelioračních mechanických zásahů pro odstraňování zhutnění v podorničním profilu půdy. Utužení půdy hodnotíme dle:

- Pórovitosti
- Objemové hmotnosti
- Penometrického měření (<http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-57-7.pdf>, „staženo dne: 7. 3. 2017“)

2.8.1 Kontinuální měření míry zhutnění

Rozumíme tím použití odpovídající metody měření on-line, která jsou rychlá a přesná bez vlivu okolních podmínek. Každý výrobce má svůj vlastní způsob, pomocí kterého zjišťuje aktuální míru zhutnění povrchu.

- **ACE – AMMANN Compaction Expert.** Tento systém reguluje velikost amplitudy a frekvence vibrace v závislosti na informacích o hutněném podloží. Jeho vlastnosti jsou determinovány na základě tuhosti přejížděného materiálu, která je určena porovnáním zrychlení běhounu s parametry vibrací.
- **BVC – BOMAC VarioControl.** Toto automaticky regulační zařízení přizpůsobuje polohu vibrátoru s přímkovým vektorem vibrací. Provozním kritériem se zde používá tzv. Double Jump neboli dvojitý skok. Dojde-li k tomuto stavu, stroj přizpůsobí polohu vibrátoru. Pohyb běhounu zaznamenávají dva akcelerometry. Díky nim, parametrům stroje (hmotnosti atd.) a nastaveným parametrům vibrací je v centrální jednotce vypočtena kontaktní síla, dodaná energie do zeminy a pohyb běhounu.
- **CMV – Compaction Meter Value.** Tato metodika byla vyvinuta firmou Geodynamik. Bylo zjištěno, že poměr mezi první harmonickou amplitudou zrychlení a amplitudou zrychlení dvojnásobné frekvence je závislý na dosaženém stupni zhutnění. Z tohoto předpokladu vychází CMV a na podobném předpokladu je založeno i RMV.
- **RMV – Resonanc Meter Value.** Tento systém pracuje obdobně jako CMV. Slouží pak zejména k determinaci nežádoucích pohybů (odskoků) vibračního běhounu v závislosti na skokové změně typu podloží (skála, potrubí apod.) (BRIAUD, JEONGBOK, 2003).
- **OMV – Oscillo Meter Value.** Hodnoty zrychlení vycházející z oscilometru jsou měřeny v horizontálním směru kmitání běhounu (KAŠPAR, VOŠTOVÁ, 2001).
- **ECM – Electronic Compaction Meter.** Centrální jednotka zpracovává signál ze snímače vibrací, který je umístěn na rámu stroje. Na základě změn signálu vlivem interakce běhounu válce se zhutňovaným materiálem vyhodnocuje centrální jednotka stav zhutnění. Řada měření na různých sypaninách prokázala velmi těsný vztah mezi stavem zhutnění indikovaným systémem ECM a standardně měřenými parametry sypaniny (WHITE, 2004).
- **CAT Compaction Monitoring System.** Caterpillar přistoupil k řešení tohoto problému zcela odlišně. Základem pro determinaci stavu podloží je u těchto strojů mechanická energie potřebná k pohonu válce. Ta se mění v závislosti na výšce vlny materiálu pod běhounem, která je závislá na stavu zhutnění materiálu (WILKINS, CLINE, 1982)

2.8.2 Pórovitost

Pórovitost udává podíl pórů z celkového objemu půdy a jejich velikost.

Je dána zejména:

- zrnitostí (texturou) půdy, půdní strukturou,
- ulehlostí a zhutněním půdy.

Je ovlivňována:

- vzájemným poměrem fází půdy,
- pohybem vody a roztoků půdou,
- provzdušněním půdy, pohybem plynů,
- průběhem reakcí a procesů v půdě (ŠARAPATKA, 2014).

2.8.2.1 Celková pórovitost půdy

$$P = \frac{M_z - O_r}{M_z} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

Kde:

P = celková pórovitost [%]

M_z = měrná objemová hmotnost [g.cm^{-3}]

O_r = redukováná objemová hmotnost [g.cm^{-3}]

Vyjadřuje se:

- jako bezrozměrné číslo (0,25 - 0,7)
- v procentech objemu půdy (25 - 70%)

Nejčastější hodnoty: 40 - 50% (KOZÁK, 2002)

2.8.2.2 Dělení půdních pórů

Pórovitost:

- Meziagregátová – hrubší póry
- Vnitroagregátová – jemnější póry

Ideální stav:

- Celková pórovitost – 40 - 50%
- Meziagregátová p. – 1/3

- Vnitroagregátová p. – 2/3 (KOZÁK, 2002)

2.8.2.3 Dělení pórů z energetického hlediska

Pórovitost:

- Nekapilární – gravitační síly
- Semikapilární – gravitační a kapilární síly
- Kapilární – kapilární síly (vzlínání), (KOZÁK, 2002)

2.8.2.4 Stanovení pórovitosti a objemové hmotnosti

Kopecského fyzikální válečky - známý objem (~100cm³)

Možno stanovit:

- Objemovou hmotnost
- Nasáklivost, pórovitost
- Objemovou hmotnost
- Kategorie pórů
- Popř. hydraulickou vodivost aj. (KOZÁK, 2002)

2.8.2.5 Síly působící na vodu v půdních pórech

$$\text{Síla vzlínání} \quad F = 2\pi\sigma r \cos\alpha \quad (2)$$

$$\text{Tíha} \quad G = \pi r^2 h_t \rho_w g \quad (3)$$

Kde:

r = poloměr válcovité kapiláry [m]

α = úhel smáčení

ρ_w = měrná hmotnost vody [$10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g = tíhové zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]

σ = povrchové napětí vody [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]

h_t = výška vzlínání do rovnovážného stavu [m] (KOZÁK, 2002)

2.8.2.6 Ekvivalentní poloměr pórů

Poloměr náhradních kapilár, které se při odtažení vody z jednotkového objemu půdy uplatní stejně jako skutečné – přirozené pórové trubice

$$r = \frac{2\sigma \cos\alpha}{\rho_w g h_t} [m] \quad (4)$$

$$r = \frac{2\sigma \cos\alpha}{p} [m] \quad (5)$$

Kde:

r = poloměr válcovité kapiláry [m]

α = úhel smáčení

ρ_w = měrná hmotnost vody [$103 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g = tíhové zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]

σ = povrchové napětí vody [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]

h_t = tlaková výška [m]

p = použitý tlak [Pa] (KOZÁK, 2002)

2.8.3 Objemová hmotnost

Hmotnost objemové jednotky vysušené půdy v neporušeném stavu.

Nejčastější hodnoty:

- Běžné minerální půdy – $1,2 - 1,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Rašeliny – až $0,11 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Ulehlé minerální půdy – $1,8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$

Označení – ρ_d (anglicky- bulk density), (KOZÁK, 2002)

2.8.4 Penometrické měření

V dlouhodobých polních pokusech zaměřených na zkoumání minimalizačních technologií bylo prokázáno, že při opakovaném využívání orby, popř. i mělkého zpracování na konstantní hloubku dochází k utužení podorničí vlivem vytvoření kompaktnější vrstvy pod touto hloubkou.

Zatímco u orby byla hodnota penometrického odporu ve vrchní vrstvě půdy nízká, od hloubky 0,24 m byl zaznamenán jeho nárůst. U půdoochranných technologií s mělkým zpracováním půdy byl ve svrchní vrstvě penometrický odpor oproti orbě sice vyšší, avšak od hloubky kolem 0,24 m docházelo pouze k jeho pozvolnému nárůstu, na rozdíl od orby, kde byl zaznamenán nárůst radikálnější.

Utužení podorniční vrstvy lze však zabránit rozdílnou hloubkou zpracování půdy dle nároků pěstované plodiny a stavu půdy (DUMBROVSKÝ a KAMENÍČKOVÁ, 2007; HŮLA, PROCHÁZKOVÁ a kol., 2008).

2.8.5 Geotechnické zkoušky zemin

2.8.5.1 Statická zatěžovací zkouška (PLT)

Zkouška je prováděna dle standardu ČSN 72 1006 Kontrola hutnění zemin a sypanin. Zkouška se používá ke stanovení míry ztuhnutí a k ověření deformačních charakteristik předepsaných dokumentací stavby viz obrázek č. 10, jako:

- modulu přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu $E_{def,2}$
- poměru modulů přetvárnosti $E_{def,2}/E_{def,1}$



Obrázek č. 10 – PLT, zdroj: http://www.2g-geolog.cz/?m=geotechnicke_zkousky_zemin#zatezovaci, „staženo dne: 22. 3. 2017“

2.8.5.2 Dynamická penetrační zkouška (DP)

Zkouška je prováděna dle standardu ČSN EN ISO 22476-2 Geotechnický průzkum a zkoušení – Terénní zkoušky - Část 2: Dynamická penetrační zkouška.

Penetrační zkouška, jako součást geologického průzkumu pro stavby, umožňuje stanovit:

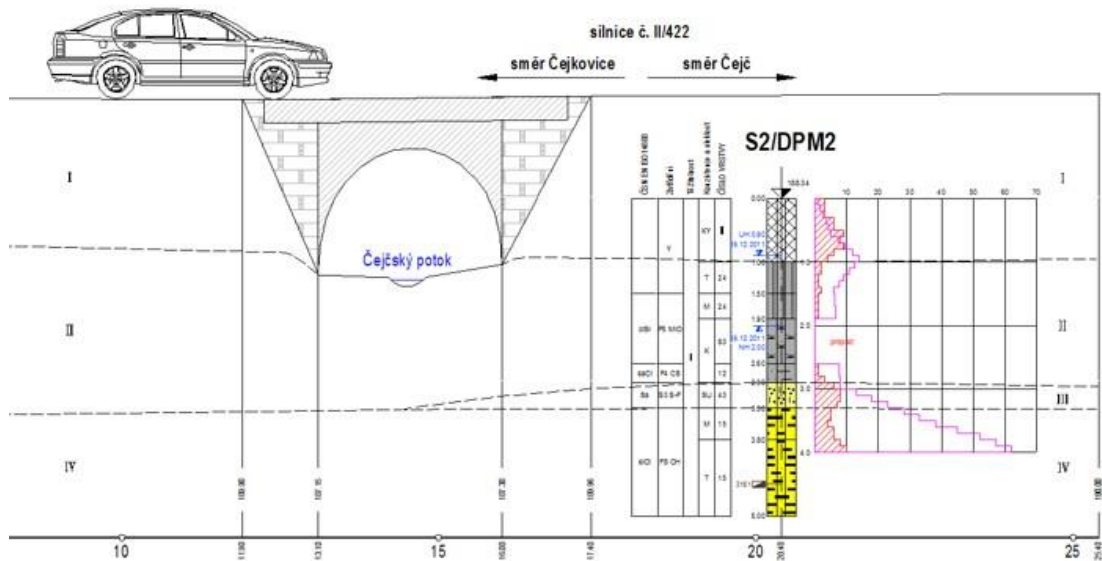
- rozhraní jednotlivých geologických vrstev, a to až do hloubky 10 m (za optimálních geologických podmínek až 20 m);
- pevnostní a deformační vlastnosti zemin;
- hloubku velmi ulehlých vrstev podloží (např. ke stanovení hloubky paty piloty);
- nalezení kritických poloh s oslabenou únosností;
- vhodnost prostředí pro použití zaráženého pažení (štetovnice,...);

- polohy postižené sufozí (v místech s intenzivním prouděním podzemní vody v blízkosti řek, netěsných kanalizačních stok, nebo vodovodních řadů);
- míru konsolidace a ulehlosti navážek, atd.

Penetrační zkoušku s úspěchem využíváme při kontrole základových spár v případě, že byl zjištěn rozpor s výsledky předchozího geologického průzkumu, nebo v případě, že průzkum před stavbou nebyl proveden. Zkouška nepoškodí základovou půdu a je možné ji provádět i pod hladinou podzemní vody.

Penetrační zkouškou je možné efektivně provádět kontrolu hutnění zemního tělesa, případě zásypů. Na rozdíl od standardních zatěžovacích zkoušek, u kterých je hloubkový dosah omezen pouze na decimetry pod povrchem zemního tělesa, je možné penetrační zkouškou postihnout celé zemní těleso včetně podloží.

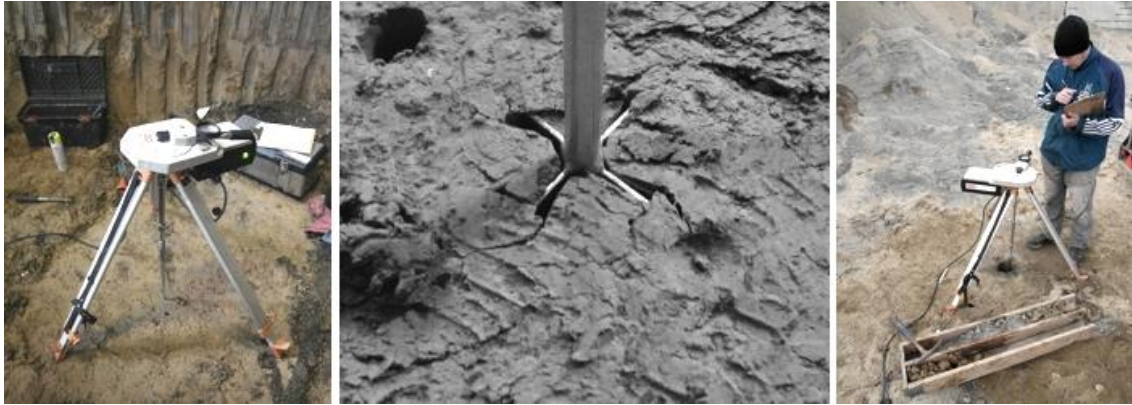
Dynamická penetrace je nepřímou metodou, kterou je vždy nutné doplnit dalšími poznatky z geologického průzkumu nebo stavební dokumentace. Vyhodnocení dat provádí zkušený interpretátor s mnohaletou praxí viz obrázek č. 11.



Obrázek č. 11 – DP, zdroj: http://www.2g-geolog.cz/?m=geotechnicke_zkousky_zemin#zatezovaci, „staženo dne: 22. 3. 2017“

2.8.5.3 Terénní vrtulková zkouška (FVT)

Zkouška je prováděna dle Draft International Standard **ISO/DIS 22476-9** a **ASTM D2573 - 08** Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil. Zkouška se používá pro stanovení neodvodněné smykové pevnosti základových pūd. Zkoušku provádíme na povrchu základových spár, nebo na začištěném dně vrtu viz obrázek č. 12.



Obrázek č. 12 – FVT, zdroj: http://www.2g-geolog.cz/?m=geotechnicke_zkousky_zemin#zatezovaci, „staženo dne: 22. 3. 2017“

3. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše z oblasti utužení půdy v důsledku činnosti zemědělské techniky při polních pracích z hlediska:

- vlivu použitých mechanizačních prostředků
- souvislosti mezi utužením a ekonomikou pěstování rostlin
- možností prevence utužování půd
- způsobů experimentálních měření utužení půd
- matematických a počítačových modelů utužení půd
- a další

4. Metodika

V této práci se opírám o stěžejní literaturu problematiky utužení půd. Základem pro rešerši je literatura předních českých a slovenských teoretiků oblasti pedologie a půdoznalství, kterými jsou JAVŮREK, VACH (2008), ŠARAPATKA (2014), KUTÍLEK (1978), KOZÁK (2002) a další.

Pro rozšíření informací je práce doplněna o další zajímavé poznatky z cizojazyčných vědeckých a odborných statí, převážně se zdrojem na webových serverech Scopus, Web of Science nebo Agricultural Web Farm Journal.

5. Diskuze

Autoři se v problematice prevence utužení půd shodují na 4 základních bodech. Jsou to technická a konstrukční řešení zemědělských strojů vedoucí ke snižování jejich tlaku na půdu, revize uspořádání půdního fondu, doba vstupu strojů na pozemek a omezování pojezdu strojů po poli a v neposlední řadě šetrné a ochranné zpracování půdy.

Terminologii hlavních skupin technologií ochranného zpracování půdy vycházejícího z klasifikace Soil Science Society of America uvádějí BAKER, SAXTON et RITCHIE (2007) a dělí ji na ochranné zpracování půdy, minimální/redukované zpracování půdy, bez zpracování půdy, zpracování půdy v pásech a zpracování půdy s vytvořením hrůbků.

JAVŮREK a VACH (2008) z Výzkumného ústavu rostlinné výroby poukazují na komplexní uplatnění zúrodňovacích a agromelioračních opatření v soustavě hospodaření na půdě jako jsou využití možných agrobiologických a technologicko-organizačních opatření vedoucích k omezování zhutnění půdy a odstraňování zhutnění půd uplatněním agromelioračních mechanických zásahů.

Se zajímavými poznatky rovněž přichází i AG Web Farm Journal s tipy k snížení půdního utužení jakými jsou kontrola správného tlaku v pneumatikách, snížení celkového zatížení nápravy, minimalizace cest přes pole a použití pneumatik s velkým průměrem.

Ucelený přehled prevence utužení půdy pak podává rovněž český pedolog ŠARAPATKA (2014): Pedokompakci můžeme omezovat správnou strukturou plodin v osevních postupech, dostatečným organickým hnojením a vápněním. Měli bychom usilovat o mělké obracení a hluboké kypření. Zpracování půdy bychom především na hlinitých a jílovitých půdách měli provádět pokud možno za přijatelných vlhkostních poměrů. Tlak vyvíjený na půdu by měl být co nejmenší a nejkratší. Vhodné je provádět co nejméně pracovních operací, zásahy pokud možno agregovat.

6. Závěr

Utuzení půd je dáno přirozeně, ve většině se však jedná o utuzení technogenní vlivem těžké mechanizace. Důsledky jsou velmi rozsáhlé a velmi špatně napravitelné, ať už se jedná o snížení pórovitosti, zvýšení objemové hmotnosti, omezení mikrobiální činnosti, omezení vývoje kořenových systémů, snížení propustnosti pro vodu a vzduch nebo zhoršení obdělávatelnosti.

Postavení zemědělství v současné době neodpovídá jeho skutečnému dlouhodobému významu. Neměli bychom zapomenout, že dávné a ve své době velmi vyspělé civilizace se rozvinuly v oblastech s vysoce úrodnou půdou a zanikly ve chvíli, kdy nebyly schopny udržet zemědělskou produkci.

K maximálnímu omezení půdního utuzení jsou vhodná následující opatření: zpracování půdy ve vhodném vlhkostním stavu, omezení pojezdů těžkých mechanizací, dostatečné organické hnojení a vápnění, zlepšování podmínek pro biologické procesy v půdě, vhodné ovlivňování vodního režimu a vyvážené osevní postupy.

Pedokompakci můžeme omezovat tím, že se budeme řídit pravidly: Půdní život by měl být rozvíjen dobrým zásobováním organickou hmotou s cílem zvyšování obsahu humusu v půdě. Předpokladem k tomu jsou podsevy, meziplodiny a pícniny na orné půdě. Pokud použijeme nářadí k hlubokému kypření půdy, musí být žádoucí prokypření následně zajištěno hluboce kořenícími druhy rostlin. Měli bychom usilovat o mělké obracení a hluboké kypření. Zpracování půdy bychom především na hlinitých a jílovitých půdách měli provádět pokud možno za přijatelných vlhkostních poměrů. Ty si jednoduše a rychle ověříme pomocí známého tužkového testu. Tlak vyvíjený na půdu by měl být co nejmenší a nejkratší. Těžké traktory a jiná zemědělská technika mohou způsobovat značný tlak na půdu. Dvojité pláště a flotační pneumatiky pomohou snížit utuzení půdy v její horní vrstvě. Vhodné je provádět co nejméně pracovních operací, zásahy pokud možno agregovat. Je-li nutné po poli přejíždět vícekrát, např. při vláčení prutovými branami, měly by být používány stejné koleje, protože jednou utužená stopa se při dalším pojezdu již tolik neutuží.

7. Seznam použité literatury

- ABU-HAMDEH (2003): Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*, Volume 74, Issue 1, November 2003, Pages 25-35, ISSN:01671987.
- BUDŇÁKOVÁ M. (2015). *Situační a výhledová zpráva*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky. 102 s. ISBN 978-80-7434-252-3.
- BRIAUD J., JEONGBOK S. (2003). Intelligent compaction overview and research needs. *Biosystems Engineering*, Volume 98, Issue 1, September 2007, Pages 115-126, ISSN:15375110.
- DIRK A. and RICHARD G. (2007): The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies, *Biosystems Engineering*, Volume 102, Issue 1, November 2007, Pages 328- 338, ISSN:15375110
- DIRK A. and RICHARD G. (2008): The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction-Part 2: Multi-axle machine studies. *Biosystems Engineering*, Volume 99, Issue 3, March 2008, Pages 338-347, ISSN:15375110.
- DIRK A. and RICHARD G. (2009): The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction: part 3: comparison of virgin compression line approaches. *Biosystems Engineering*, Volume 104, Issue 2, October 2009, Pages 278-287, ISSN:15375110.
- ELINA A., PETER W. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review Part 1. Machine/soil interactions. *Soil and Tillage Research*, Volume 73, Issue 1- 2, October 2003, Pages 145-160, ISSN: 01671987.
- GREČENKO A. (1963). Kolové a pásové traktory: (pracovní a jízdní vlastnosti, zásady návrhů, hodnocení a zkoušení) : vysokoškolská příručka pro vysoké školy zemědělské. 2. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Mechanizace a výstavba. 402s.
- HELBLING A. (2006): Evaluation of soil compaction using hydrodynamic water content variation: Comparison between compacted and non-compacted soil. *Geoderma*, Volume 134, Issue 1-2, September 2006, Pages 97-108, ISSN:00167061.
- HŮLA J. a PROCHÁZKOVÁ B. (2008). *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press. 234 s. ISBN 9788086726281.
- JANEČEK M. (2012). Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. 1. vyd. Praha. 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.
- KAŠPAR M., VOŠTOVÁ V. (2001). Lasery ve stavebnictví a navigace strojů, ČKAIT Praha, 148 s. ISBN 80-86364-61-5
- KOZÁK J. (2002). *Pedologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 132 s. ISBN 8021309075
- KOZÁK J. a NĚMEČEK J. (2009). *Atlas půd České republiky*. 2., upr. vyd. Praha: ČZU Praha, 149 s. ISBN 9788021320086.
- KUTÍLEK M. (1978). *Vodohospodářská pedologie: vysokoškolská učebnice*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL. Řada stavební literatury. 295 s.
- KŮDELA V. (2013). Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění.. 1.. vyd. Praha : Academia. 566 s. ISBN 978-80-200-2262-2.

- LHOTSKÝ J., EHRLICH P. a VÁCHAL J. (1984). *Soustava opatření k zúrodňování zhutnělých půd*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. 39 s.
- NOVOTNÝ I., DOSTÁL T., VÁŇOVÁ V. (2014). Příručka ochrany proti vodní erozi. 2., aktualizované vydání, Praha : Ministerstvo zemědělství. 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.
- POKORNÝ E., ŠARAPATKA B. a HEJÁTKOVÁ K. (2007). *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura. 112 s. ISBN. 9788090354852.
- PROCHÁZKOVÁ B. (2011). *Minimalizační technologie zpracování půdy a možnosti jejich využití při ochraně půdy a krajiny*. V Brně : Mendelova Univerzita, 39 s, ISBN: 9788073755249
- ROBERTON B. (2017): A comparative study of conventional and controlled traffic in irrigated cotton: I. Heavy machinery impact on the soil resource. *Soil and Tillage Research*, Volume 168, May 2017, Pages 143-154, ISSN:01671987
- ŠARAPATKA B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Odborná publikace (Univerzita Palackého v Olomouci). 228 s. ISBN 9788024437361.
- ŠIMON J. (1989). *Zpracování a zúrodňování půd*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, rostlinná výroba. 317 s. ISBN 8020900489
- ŠKODA V. (2002). *Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy*. Praha: ÚZPI, 64 s. ISBN 8072711253
- ŠVEHLÍK R. (2002) *Větrná eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech*. Uherské Hradiště, Přírodovědný klub v Uherském Hradišti, 78 s. ISBN 80-86485-03-X
- JAVŮREK M. a VACH M. (2008). *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. 24 s. ISBN 9788087011577.
- TOMÁŠEK M. (1995). *Atlas půd České republiky*. Praha: Český geologický ústav. 36 s. ISBN 8070751983.
- VOPRAVIL J., KHEL T., HLADÍK J. (2009). *Půda a její hodnocení v ČR 1. díl. 1. vyd.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 148 s. ISBN 978-80-87361-02-3.
- WHITE D., JASELSKIS E., SCHAEFER V., CACKLER E., DREW I., (2004). Field evaluation of compaction monitoring technology. *Center for Transportation Research and Education*, Volume 148, Issue 2, September 2004, 188 s., ISSN:01648521
- WILKINS M., CLINE C. (1982). Computer simulation of dynamic compaction. *Lawrence Livermore*, Volume 152, August 1982, 312 s.

8. Internetové zdroje

<https://leporelo.info/porovitost-pudy>, „staženo dne: 6. 2. 2017“

[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331), „staženo dne: 7. 3. 2017“

<https://www.pioneer.com/home/site/ca/agronomy/library/template.CONTENT/guid.59FAEE-E2-E565-44D7-83AF-8EDB9DFE6F6C>), „staženo dne: 7. 3. 2017“

http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=pss_views, „staženo dne: 5. 3. 2017“

<http://www.agweb.com/article/6-tips-to-reduce-soil-compaction-naa-ben-potter/>, „staženo dne: 11. 3. 2017“

<http://zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu/>, „staženo dne: 3. 3. 2017“

<http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-57-7.pdf>, „staženo dne: 7. 3. 2017“

http://www.iuss.org/index.php?article_id=74, „staženo dne: 7. 3. 2017“

http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf, „staženo dne: 7. 3. 2017“

[http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/EEE8C6465711713F852579E50077ACDC/\\$FILE/SSMG-34.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/EEE8C6465711713F852579E50077ACDC/$FILE/SSMG-34.pdf), „staženo dne: 4. 4. 2017“

<http://www.svetpostrikovacu.cz/cz/e-shop/650676/c31615-zemedelska-technika/pluh-neseny-jednostranny-akpil-kmj-4-radlicny.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“

<http://nopoza.cz/pluhy>, „staženo dne: 4. 4. 2017“

<http://www.svetpostrikovacu.cz/cz/e-shop/650676/c31615-zemedelska-technika/pluh-neseny-jednostranny-akpil-kmj-4-radlicny.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“

<http://www.agroznam.cz/cz/agrobazar/detail-inzeratu/32110-radlickovy-podmitac.html>, „staženo dne: 3. 4. 2017“

http://www.2g-geolog.cz/?m=geotechnicke_zkousky_zemin#zatezovaci, „staženo dne: 22. 3. 2017“

9. Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Strukturní stav humusového horizontu u středně těžkých a těžkých půd

Tabulka č. 2 - Smyv půdy v porovnání s holým povrchem půdy

Tabulka č. 3 - Předseťové přípravy a jejich řazení dle významu, pracovního nářadí a použití.

Tabulka č. 4: Přípustná a riziková objemová hmotnost půdy pro některé plodiny (u středně těžkých půd).