

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin



Vybrané fyzikální parametry hodnocení antropogenního zhutnění půd
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. RNDr. Lubica Pospíšilová, CSc.

Vypracoval:
Michaela Indrová

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci bakalářskou práci: *Vybrané fyzikální parametry hodnocení antropogenního zhutnění půd* vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování:

Moje poděkování patří vedoucí práce paní doc. RNDr. Lubice Pospíšilové, CSc. za pomoc, připomínky, poskytnuté materiály, cenné rady a trpělivost při zpracovávání této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat svojí rodinně za podporu a trpělivost po dobu mého studia.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na hodnocení antropických změn u tří subtypů černozemí. Objektem studia byly – *černozezem luvická* (Praha), *černozezem luvická* (Unčovice) a *černozezem karbonátová* (Velešovice). Hodnotili jsme tyto ukazatele – *stabilita agregátů, zrnitostní složení, pórovitost, objemová hmotnost redukovaná, obsah organického uhlíku, půdní reakce a tlumicí schopnost*. Naše výsledky ukazují, že sledované černozemě jsou zrnitostně těžší a mají sklon k uléhání. Byly zjištěny překročené agroekologické limity u pórovitosti a objemové hmotnosti redukované, snížení obsahu organického uhlíku a mírné podkyselení, tj. snížení hodnot výměnné půdní reakce a tlumicí schopnosti vůči kyselinám. Kritické hodnoty zhutnění nebyly u žádného subtypu překročeny, ale hodnoty v podorničí se blíží kritickým hodnotám.

Klíčová slova: *černozezemě, antropické změny, zhutnění*

Annotation

Bachelor thesis is aimed at evaluation of anthropogenic changes in three selected subtypes of *Chernozems*. Object of study were – *Luvi-haplic Chernozem* (Praha), *Luvi-haplic Chernozem* (Unčovice) and *Calcaric Chernozem* (Velešovice). We followed – *aggregates stability, texture, porosity, bulk density, total organic carbon content, soil reaction and buffering capacity*. Results showed that studied heavy textured soils had high ability to pedocompaction. Agro-ecological limits were overstepped in Porosity, bulk density and total content organic carbon decreased. Exchangeable soil reaction also decreased and soil acidity increased. Buffering capacity against acids was also lower. Critical limits of pedocompaction were not overstepped but in subsoil horizons values were near to the limits.

Keywords: *Chernozems, anthropogenic changes, compact*

Obsah

1 ÚVOD	8
2 CÍL PRÁCE	9
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1 Antropogenní změny	10
3.1.1 Úbytek organické hmoty.....	11
3.1.2 Dehumifikace	14
3.1.3 Degradace	15
3.1.3.1 Únava půdy	16
3.1.3.2 Utužení půdy	17
3.1.3.3 Eroze	19
3.2 Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti.....	22
3.2.1 Zrnitost půdy.....	22
3.2.2 Půdní struktura	23
3.2.3 Objemová hmotnost	26
3.2.4 Měrná hmotnost	28
3.2.5 Pórovitost půdy	30
3.2.6 Sorpční komplex půd	32
3.2.7 Půdní reakce.....	33
3.2.8 Pufrovitost.....	35
3.3 Referenční třída Černosoly.....	36
3.3.1 Charakteristika	36
4 MATERIÁL	39
4.1 Objekt studia.....	39
4.2 Popis zkoumané lokality.....	39
4.2.1 Lokalita Velešovice	39
4.2.2 Lokalita Praha – Ruzyně.....	41
4.2.3 Lokalita Unčovice	44
5 Metody studia	46
5.1 Stanovení stability agregátů dle Adrianova.....	46
5.2 Stanovení zrnitostního složení.....	47
5.3 Stanovení pórovitosti půd.....	48
5.4 Stanovení objemové hmotnosti redukované.....	48

5.5	Stanovení specifické hmotnosti	49
5.6	Stanovení utužení půd	49
5.7	Stanovení obsahu celkového organického uhlíku	51
5.8	Stanovení půdní reakce.....	51
5.9	Stanovení pufrční schopnosti půd.....	52
6	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	53
6.1	Stabilita agregátů dle Adrianova	53
6.2	Zrnitostní složení	54
6.3	Pórovitost.....	55
6.4	Objemová hmotnost redukována.....	56
6.5	Specifická hmotnost	58
6.6	Utužení půd	58
6.7	Obsah celkového organického uhlíku	60
6.8	Půdní reakce	61
6.9	Tlumící schopnost půd	62
7	DISKUZE.....	63
8	ZÁVĚRY	64
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	65
10	INTERNETOVÉ ZDROJE	68
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
12	SEZNAM TABULEK	71
13	SEZNAM GRAFŮ	72
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	73
15	PŘÍLOHY	74

1 ÚVOD

Půda je nedílným dynamickým přírodním útvarem, který se neustále vyvíjí a udržuje pod vlivem okolního prostředí. Zájem lidí o půdu sahá již do počátků lidské společnosti. Je to jedna ze základních složek přírody, která slouží člověku k uspokojování jeho potřeb. Na půdu lze nahlížet z několika hledisek, proto existuje mnoho definicí půdy. Za zakladatele moderní vědy o půdě je pokládán ruský geolog Vasilij Vasiljevič Dokučajev, který na přelomu 19. a 20. století položil základy dynamickému pojetí půdy. Definoval půdu jako „*samostatný přírodně - historický útvar, který vzniká a vyvíjí se zákonitým procesem působením půdotvorných činitelů*“ (Jandák a kol., 2010). Půda jako přírodní útvar se vyvinula z povrchových zvětralin zemské kůry a organických látek působením půdotvorných. Půda vzniká a vyvíjí se po velmi dlouho doby. Každý centimetr ornice se vyvíjí řádově desítky až stovky let. Každá půda je složitým otevřeným systémem, který je tak úzce svázán s okolním prostředím, že je snadno zničitelným avšak těžce obnovitelným přírodním zdrojem.



Obrázek č. 1: *Půda* (Foto: Michaela Indrová)

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši zaměřenou na antropogenní změny půdních vlastností vlivem hospodaření na půdě. Objektem studia byly tři subtypy černozemí, které jsou intenzivně využívány v zemědělství - *černozem karbonátová* (Velešovice), *černozem luvická* (Praha – Ruzyně) a *černozem luvická* (Unčice). Byly stanoveny jejich základní fyzikální a chemické vlastnosti. Provedli jsme měření penetračního odporu a vyhodnotili stupeň zhutnění vlivem obhospodařování.

Bakalářská práce byla vypracována s podporou projektu QJ 1210263 „*Agrochemická opatření ke snížení vodní eroze na orné půdě s využitím zapravení organické hmoty*“.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Antropogenní změny

Od počátku mladší doby kamenné, kdy se začalo rozvíjet zemědělství, je využití krajiny spjato s využíváním půdy. Působení člověka na půdu začalo již v prvních fázích zemědělského využívání a jak v kladném slova smyslu, tak záporném. Kromě samotného zemědělství, které ovlivňuje půdu aplikací pesticidů, herbicidů a hnojiv, je půda ovlivněna i chemickými látkami a škodlivinami, které se tam dostávají z průmyslové výroby, dopravy a těžby surovin. Působením toxických látek může docházet ke kontaminaci půdy, ale i k narušení celého ekosystému, úhynu rostlin a živočichů. Výsledkem je znehodnocená půda, která ve většině případů nemůže plnit své funkce v ekosystému. Ale zemědělství neovlivňuje půdu jen v negativním smyslu, ale může mít i pozitivní přínosy. Tradiční extenzivní zemědělství s trvalými travními porosty, kdy není cílem nejvyšší zisk, přispívá k udržení biologické rozmanitosti fauny a flory. Zemědělství udržující rozmanitost krajiny, může přispívat i k ochraně půdy. Dodržováním správných zemědělských postupů působí proti degradaci půdy, ať už se jedná o erozi půdy, úbytek POH, živin, salinizaci či okyselení půdy. Dále může mít vliv na zmírnění skleníkového efektu poklesem CO₂ v ovzduší tím, že pěstované rostliny a další vegetace ho sekvestrují. Příkladem pozitivního vlivu lidské činnosti na půdu můžeme najít především u tzv. ekologického zemědělství, jehož cílem je udržet a zlepšit dlouhodobou kvalitu a úrodnost půdy.(www.umad.de; www.vitejtenazemi.cz).

Dle Pokorného (2007) pojem kvalita půdy není nový, v minulosti byl spojován s produktivitou zemědělských systémů. V dnešní době bohužel uvedené produkční hodnocení půdy nedostačuje a to je důvod proč musíme kvalitu půdy hodnotit v širších ekologických (environmentálních) souvislostech. Půda má kromě produkční funkce i řadu dalších, jako např. filtrační, pufrací, transformační, je prostředím pro život organismů i socio-ekonomické funkce. Pro komplexní hodnocení jsou používány termíny kvalita nebo zdraví půdy. Pro zjednodušení můžeme používat oba termíny jako synonyma. Indikátory kvality půdy zařazujeme tyto charakteristiky:

➤ *Fyzikální* – textura, hloubka půdy, hydraulická vodivost, maximální a retenční vodní kapacita, objemová hmotnost, pórovitost, struktura.

- *Chemické (fyzikálně-chemické)* – obsah a kvalita humusu, obsah celkového dusíku, kationtová výměnná kapacita, pH, vodivost, obsah živin, nasycenost sorpčního komplexu, hygienické parametry s ohledem na rizikové prvky a organické kontaminanty.
- *Biologické* – C, N biomasy mikroorganismů, potenciálně mineralizovatelný N, respirace, aktivita půdních enzymů.

Při sledování negativních antropogenních změn je často studováno:

- *Úbytek organické hmoty,*
- *Degradace půdy,*
- *Únava půdy,*
- *Utuzení půdy,*
- *Změna struktury,*
- *Eroze.*

3.1.1 Úbytek organické hmoty

Podle Vopravila (2010) je půdní organická hmota (POH) definována jako soubor všech neživých organických látek nacházejících se v půdě nebo na jejím povrchu v různém stupni rozkladu. Zatímco Hůla (2010) charakterizuje půdní organickou hmotu jako součet všech přírodních a termálně změněných látek, které jsou biologického původu, nacházející se v půdě nebo na půdním povrchu jakéhokoliv původu, živých nebo odumřelých organismů v jakékoli fázi rozkladu, s výjimkou nadzemních částí živých rostlin. Podle Szombathové (2009) rozlišujeme tyto čtyři základní frakce půdní organické hmoty:

- *Rozpuštěná organická hmota (< 45 μm),*
- *Rozdrobená organická hmota (53 - 2000 μm),*
- *Humus,*
- *Inertní organická hmota.*

Obsah organické hmoty se v půdách stanovuje podle obsahu oxidovatelného uhlíku. Stanovené množství oxidovatelného uhlíku je nutno vynásobit koeficientem

1.724 (humus obsahuje kolem 58% C). Za kvalitativní ukazatele humusu považujeme poměr huminových kyselin k fulvokyselinám (HK/FK), poměr C/N a tzv. barevný kvocient 4/6 (Wallinga a kol., 1992, Zbiral a kol., 1997, Pospíšilová a Tesařová, 2009). V ČR obsah humusu v půdě dosahuje hodnot od 1,5 – 7 %, většinou však v rozmezí 2 – 3 %. V celém půdním profilu pak dosahuje zásoba humusu hodnot od 50 do 800 t/ha, nejčastěji od 100 do 200 t/ha. Humus nezbytným činitelem při vytváření půdní úrodnosti, fyzikálních, chemických a biologických vlastností. Slouží jako zásobárna živin a vody, eliminuje a omezuje mobilitu rizikových prvků v prostředí (Sotáková, 1982).

V poslední době je věnována zvýšená pozornost akumulaci organického uhlíku a jeho sekvestraci v půdě. Sekvestrací uhlíku se rozumí přeměna oxidu uhličitého na stabilní uhlík v půdě. McConkey a kol. (2003) uvádí, že intenzivní orba negativně ovlivňuje sekvestraci, destabilizuje půdní strukturu, stabilitu agregátů, mění teplotu, snižuje biologickou aktivitu a intenzitu rozkladu mineralizace rostlinných a organických zbytků, čímž dochází ke snížení obsahu uhlíku v půdě. Z daného tvrzení vyplývá to, že antropogenní aktivity a nevhodné zásahy do půdy vedou ke snížení obsahu uhlíku v půdě a ke zhoršení fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy, a dokonce i ke ztrátě její úrodnosti a vyčerpání (Hůla, 2010).

K úbytku humusu dochází zejména při intenzivním hospodaření na půdě. Například při nedodržování osevních postupů, snížením přísunu organických hnojiv, absencí vápnění či při nesprávné technologii zpracování půdy. V přirozených ekosystémech, ale i při pěstování rostlin a sklizni rostlinných produktů zůstává přibližně 1/10 až 1/3 nadzemních částí, ale často i celá biomasa kořenů na povrchu půdy a stává se substrátem pro rozklad a využití půdními mikroorganismy. Malé množství organických látek se do půdy dostává i ve formě spadů a splachů. Zdrojem humusotvorného materiálu v orných půdách jsou rostliny, které na půdě zůstanou po sklizni plodin. Významným zdrojem jsou i celé rostliny při zeleném hnojení, resp. aplikované komposty, kejda a statková hnojiva. Značné množství organických látek zanechává v půdě i edafon. Rostlinná biomasa obsahuje většinou 60 – 90 % vody. Zbytek tvoří sušina, tvořená převážně uhlíkem, kyslíkem, vodíkem a dalšími prvky, např. popelovinami (Šimek, 2007).

Ztrátu organické hmoty je možné do jisté míry kompenzovat jejím opětovným dodáním do půdy. Musíme si však uvědomit, že neplatí hmotnostní rovnítko mezi ztracenou a dodanou organickou hmotou. Vyzrálý humus černozemí, které se vytvářely po staletí, nelze jednoduše nahradit aplikací kejdy nebo chlévské mrvy. Kvalita humusu je stejně důležitá jako její kvantita. Proto je snaha o využití co nejkvalitnější vyzrálé organické hmoty (vyzrálé komposty, aplikace humátů apod.), protože aplikace nevyzrálých statkových hnojiv nebo opakovaného zeleného hnojení vede k rychlé mineralizaci živin v půdě a k rychlé migraci mobilních složek OH (např. fulvokyselin), na které se mohou vázat nejenom prvky významné z pohledu výživy rostlin, ale případně i rizikové prvky. Pouze zlomek hmotnosti dodané organické hmoty může působit v půdě v dlouhodobějším časovém horizontu. Udává se, že z výchozí organických látek je v půdě humifikováno méně než 10% jejich původního množství. Proces tvorby zásoby humusu probíhá v rámci desetiletí až staletí. V rámci udržení OH v půdě sehrávají prvotní roli šetrný přístup k půdnímu fondu a dodržování zásad správného hospodaření na půdě (Bičík a kol., 2009).

Ochrana půdy je jedním z hlavních úkolů ochrany přírody, a proto se na ni v nových koncepcích zemědělské politiky EU klade značný důraz. Půda je v posledních desetiletích pod velkým tlakem antropogenních činností, proto je potřeba ji chránit. O důležitosti půdy se jednalo již na světovém summitu v Riu de Janeiru (1992), ale i v rámci EU. Při srovnání s ostatními složkami ŽP nebyla půdě věnována dostatečná pozornost a ochrana. Vzrůstající zábory půdy a podíl degradovaných půd ve všech zemích EU vyvolaly nutnost legislativně upravit její ochranu. Proto dne 22. 9. 2006 byl přijat Evropskou komisí EU dokument nazvaný „Tematická strategie půdy“ a návrh tzv. rámcové směrnice o půdě. V obou dokumentech jsou uváděny důvody, proč je nutné půdu chránit. Například, že půda je neobnovitelný přírodní zdroj, je nezbytná pro zajištění všech lidských aktivit a pro funkci všech přírodních ekosystémů. (Šarapatka, 2010, Budňáková a Jacko (eds.), 2012). V rámci ekonomických podpůrných systémů dokonce EU odděluje od půdy zemědělskou výrobu a zaměřuje se na to, aby funkce půdy nebyly zatíženy odvětvovými zájmy ani jednostrannými zájmy vlastníků či komunit. Pro dosažení těchto cílů má klíčový význam systém IACS (integrováný administrativní a kontrolní systém). Jeho součástí je LPIS (Land Parcel Identification System) umožňující ochranu půdy. Po vstupu ČR do EU bylo nutné zavést LPIS (registr půdy) i u nás. Je to geografický informační systém (GIS), který je primárně

tvořen evidencí využití zemědělské půdy. Hlavním účelem registru půdy je ověřování údajů v žádostech o dotace na zemědělskou půdu, a to bez ohledu na to, zda jde o dotace financované ze zdrojů EU nebo o národní dotační programy. Výchozím materiálem pro vytvoření podmínek ochrany půdy se stala Zpráva o stavu půd Evropy, která byla schválena Radou Evropy a Evropským parlamentem v dubnu 2002. Každý hektar naší půdy se stává součástí půdních zdrojů EU a každý místní deficit ochrany a péče o půdní fond bude posuzován jako deficit tohoto celku. Nedotknutelnost vlastnických práv, resp. extrémně liberální pohled na jejich výkon z hlediska tržního hospodářství, nesmí vyústit v poškozování jiných vlastníků, přírody, kulturních hodnot, životního prostředí a lidského zdraví (www.eagri.cz).

3.1.2 Dehumifikace

„*Dehumifikací* - nazýváme úbytek organické hmoty v půdě. Z hlediska ochrany půdy patří nutnost udržování a obnovy organické hmoty v půdě k základním agrotechnickým opatřením. Protože přeměna OH v půdě a koloběh živin jsou dynamickými procesy, musí být OH doplňována periodicky v závislosti na podmínkách stanoviště a způsobu hospodaření. K jejímu úbytku v půdě dochází za běžných podmínek rozkladem a mineralizací. Rychlost procesů závisí na celé řadě faktorů, např. patří teplota, vlhkost, biologický faktor a další. V podmínkách ČR hrají v procesu mineralizace OH, humifikace a tvorby organo-minerálních komplexů v půdě významnou roli půdní typy a klimatický region. Tyto vlivy mohou být překryty antropogenními faktory, jejichž negativní působení spatřujeme především ve faktoru eroze a nedostatečné obnovy organické hmoty při intenzivním zemědělském využívání půdy. Zásahy v podobě vykácení lesa, rozorání travního drnu, nadměrná závlaha nebo naopak vysušování půdy, ztrátu OH výrazně urychlují (Bičík a kol., 2009).

3.1.3 Degradace

Degradace půdy je proces, při kterém dochází ke snížení úrodnosti, využitelnosti půdy a snižují se její ekologické nároky. Je to významovým opakem atributu „kvalita půdy“ nebo zdraví půdy v tom smyslu, že půda degradovaná nemůže být kvalitní či zdravá. FAO (Food and Agriculture Organization) definuje degradaci půdy jako „*Sum of geological, climatic, biological and human factors which lead to the degradation of the physical, chemical and biological potential of soil, and endanger biodiversity and the survival of human communities*“ (Lal, 1998a, In: Šimek, 2004). V překladu bychom to volně mohli přeložit, že to jsou všechny geologické, klimatické, biologické a lidské faktory, které vedou ke zhoršení fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy a snížení biodiverzity a přežití lidské společnosti. Zjednodušeně lze tedy říci, že vše co snižuje kvalitu půdy, označujeme za degradaci půdy – viz obrázek č. 2.



Obrázek č. 2: *Degradace půdy vodní erozí* (www.ceskapozice.lidovky.cz)

Várallyay (1994) rozlišuje osm typů degradace: *eroze půdy, acidifikace půdy, salinizace a alkalizace, extrémní vodní režim (přemokření, sucho), biologická degradace (snížení obsahu a kvality organické hmoty), nežádoucí změny obsahu živin v půdě (vyplavování), snížení pufrovací schopnosti půd a znečištění půdy polutanty, degradace fyzikálních vlastností půdy (poškození struktury, slévavost povrchu a utužení půdy)*. Degradace půdy může mít lokální, regionální nebo globální charakter. Oldeman (1994) uvádí, že rozsah a stupeň degradace půd v celosvětovém i národním měřítku není přesně znám. V 80. letech 20. století byl zahájen projekt GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation), který vytvořil světovou mapu degradace půd způsobenou člověkem. Na jeho základě bylo definováno 5 hlavních příčin způsobené degradace:

- *Odlesnění* (pro zemědělské účely, výstavbu silnic a sídel),
- *Nadměrné využívání půdy pro pastvu* (vede k utužení půdy, erozi),
- *Zemědělské technologie* (nadměrné užívání hnojiv, těžká mechanizace, nevhodné agrotechnické zásahy),
- *Nadměrné využívání přirozené vegetace* (např. jako palivo, zbylá vegetace dostatečně neochrání půdu před degradací),
- *Průmyslové technologie* (těžba surovin, skladování odpadů).

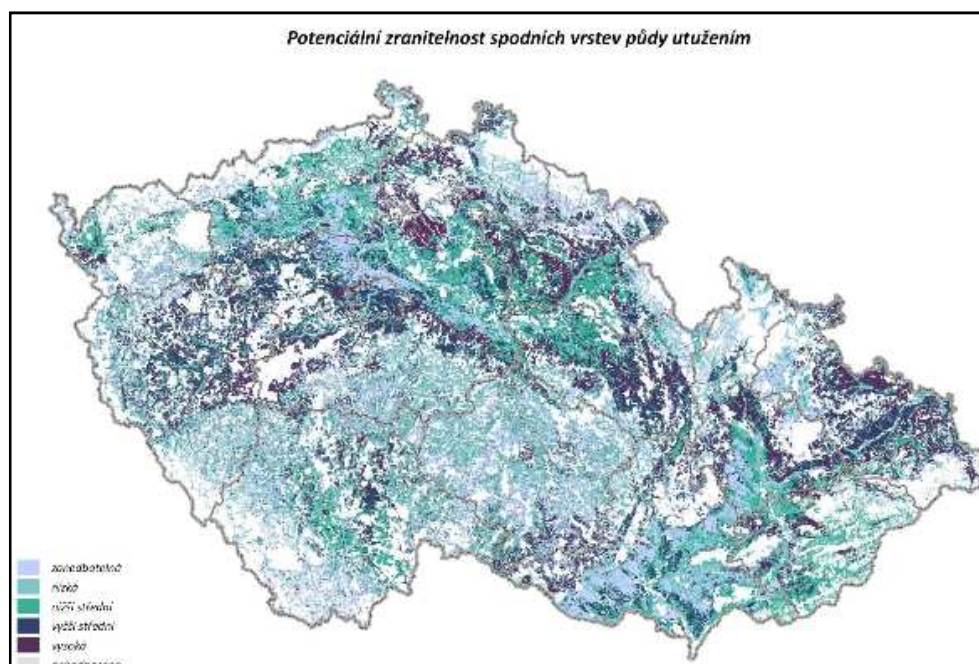
3.1.3.1 Únava půdy

Půdní únava vzniká v důsledku jednostranného odčerpání živin, zatížením půdy produkty metabolismu rostlin a edafonu a produkty rozkladu posklizňových zbytků a namnožením specifických patogenních organismů. Stach (1995) uvádí, že při opakovaném pěstování některých plodin nebo při jejich opětovném zařazení v krátkém časovém sledu na totéž pole, dochází ke stavu, kdy se půda jeví pro tuto plodinu „unavenou“. Po sklizni takové plodiny je půda „unavená“ pouze pro další plodinu stejného druhu nebo i stejné skupiny, nikoliv však pro plodiny jiné. Podle plodin se rozlišuje únava lnová, jetelová, hrachová apod. Jedná se tedy o specifické působení

jednotlivých plodin na stav půdy. Příčiny půdní únavy nejsou zatím jednoznačně definovány. Patří mezi ně např. narušení biologické rovnováhy, rozmnožením určitých druhů mikroorganismů, přemnožením a nahromaděním hād'átek v půdě, hromadění toxických látek v půdě, nedostatek živin, popř. ochuzování půdy o jednotlivé stopové prvky. Každá rostlina vylučováním kořenových výměšků a vytvářením specifických životních podmínek v okolí svých kořenů omezuje nebo podporuje přítomné různé druhy, a tím vytváří charakteristické složení půdní mikroflóry, což je předpoklad tzv. „*organismové*“ teorie únavy půdy (Kvěch a kol., 1985).

3.1.3.2 Utužení půdy

Podle Šarapatky (2010) k fyzikální degradaci půdy řadíme pedokompakci neboli zhutnění. Jde o nepříznivé změny (rozpad) půdní struktury, mající za následek změny pórovitosti, objemové hmotnosti, schopnosti infiltrace a propustnosti, snížení retenční kapacity. Zhutnění může být genetické, což je dáno povahou půdy anebo technogenní, které je způsobené především technologiemi zpracování půdy a pěstování plodin. Přitom ke genetickému zhutnění lze přiřadit i zhutnění způsobené objemovými změnami v jílovitých půdách (bobtnání) nebo i pedogenetickými procesy (ucpávání pórů migrací jemných částic, např. ilimerizací). Naopak k příčinám technogenního zhutnění řadíme především destrukci půdy způsobenou pojezdem a prokluzem mechanizačních prostředků za nevhodných vlhkostních podmínek, ale i tlaky, které vyvíjejí pěstované plodiny (např. růst bulev řepy). Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením je mapově zobrazena na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3: *Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením*

(www.vumop.cz)

Zhutnění půd není omezeno jen na ornou půdu, ale týká se i pastvin (půda sešlapaná dobyt看em) a lesních půd (vliv mechanizace používané při těžbě). Jedná se o kumulativní proces, v němž se nepříznivé vlivy na půdu sčítají. Čím je odolnost ornice proti tlaku a smyku menší (po hluboké orbě), tím se zhutnění projeví do větší hloubky. Přitom písčité půdy nemají téměř schopnost samovolné regenerace zhutnělých horizontů, zatímco u těžkých půd existují faktory, které umožňují vratné procesy (regeneraci půdní struktury). Patří k nim mráz, objemové změny (bobtnání a smršťování) a působení kořenů. Přitom je vratný proces tím pomalejší, čím sahá zhutnění hlouběji a má charakter pouze funkční, nikoliv morfologický (Lhotský, 2000).

Zhutnění lze stanovit různými metodami. Nejjednodušším způsobem vyšetřování výskytu a intenzity zhutnění je empirické pozorování vnějších projevů zhutnění půdy, např. výskyt míst se stagnující vodou po deštích nebo při jarním tání, špatné vzcházení a deficitní růst porostu, zažloutlá barva listů, za sucha se vytváří škraloupky a trhliny v půdě anebo deformace kořenů. Další metodou je penetrometrie, která spočívá v měření odporu půdy (za známé vlhkosti půdy) proti vnikání kužele penetrometrické sondy a je v dnešní době nejpoužívanější – viz obrázek č. 4.



Obrázek 4: *Měření penetračního odporu ručním penetrometrem (Lukas, 2011)*

Další, avšak pracnější metodou je rozbor půdních vzorků z postižených půdních profilů se stanovením kritických půdních vlastností – např. objemové hmotnosti, pórovitosti, vzdušnosti či propustnosti pro vodu (Lhotský, 2000, Lukas, 2011).

3.1.3.3 Eroze

Můžeme ji charakterizovat jako přirozený proces působící na půdu. Je dána působením abiotických faktorů (voda, vítr, sníh, ledovce), ale i biotických činitelů, např. člověk, rostliny, živočichové na povrch půdy. Je to faktor, který negativně ovlivňuje i funkce půdy (produkční, filtrační). Dle Praxe a Pokorného (2004) je vodní a větrná eroze závažným problémem zejména na velkých plochách (především na orných půdách. V mnoha publikacích byl popsán pozitivní vliv ekologického zemědělství na snížení eroze, a to hlavně z několika důvodů. Jedná se hlavně o pestřejší osevní postupy s vyšším podílem jetelovin a jetelo-trav, vyšší procento meziplodin a podsevů prodlužujících pokryv půdy v průběhu roku, menší zastoupení širokořádkových kultur (např. kukuřice) a intenzivní používání organického hnojení s dalšími pozitivními vlivy na půdu. Problém eroze na zemědělsky využívaných půdách je problémem celosvětovým, který má za následek úbytek tisíce km² zemědělské půdy ročně. Činnost

vody, větru a ledovců, jež v přirozených podmínkách probíhala pozvolna, se v intenzivně využívané krajině výrazně zrychlila a přinesla řadu nepříznivých důsledků. Při normální erozi (geologické) nedochází k porušení přírodní rovnováhy a ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu. Při zrychlené erozi je porušena přírodní rovnováha a dochází k takovému smyvu půdních částic a živin, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem. Eroze má mnoho faktorů, které ji podmiňují. Patří mezi ně odlesňování, klimatické poměry (množství, rozdělení a intenzita srážek), morfologické poměry (sklon území, délka a tvar svahu, expozice), vegetační, geologické, půdní poměry a především způsob využívání dané krajiny (extenzivní pastva, nevhodné agrotechnické postupy), jak uvádí Sklenička (2003).

Půdní eroze ochuzuje zemědělskou půdu o nejurodnější část – ornici. Také vede ke zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půd, ke ztrátě produkčního potenciálu půdy, ke zmenšení mocnosti půdního horizontu, ke ztrátě živin, POH, omezení hloubky prokořenění, využitelné vodní kapacity. Obvykle znamená eroze i větší náchylnost půdy na změnu půdní struktury, tvorbu povrchových krust, utužení, pokles infiltrace a následný zvýšený povrchový odtok se zvýšeným rizikem další eroze. Erozní ohrožení pozemků závisí například na:

- *Procentu vegetačního pokryvu (kolik % povrchu půdy je pokryto listy rostlin, které brzdí erozní účinek dopadajících dešťových kapek),*
- *Erozní účinnost deště,*
- *Infiltrace půdy a propustnost půdy pro vodu,*
- *Sklon svahu a přirozený podklad.*

Eroze můžeme rozdělit dle činitelů (vodní, větrná, sněhová, ledovcová, zemní a biologická) anebo dle formy (vodní – povrchová a podpovrchová, větrná – posuvná a prašná bouře, sněhová – lavinová či z tání sněhu). Vodní eroze negativně ovlivňuje půdu tím, že:

- *Zhoršuje její fyzikální vlastnosti, např. vodní kapacitu, infiltraci,*
- *Zmenšuje mocnost půdního profilu a tím i hloubku prokořenění,*

- *Zvyšuje kyselost půdy a potřebu vápnění zejména odnosem ornice a obnažením kyselějšího podorničí, selektivním vymýváním bazických prvků. Uvedené se samozřejmě projevuje na půdách, kde má podorničí přirozeně kyselější reakci než ornice, v případech karbonátových matečných substrátů (v rámci jižní Moravy např. spraš) to vede naopak k alkalizaci,*
- *Snižuje obsah humusu, půdní úrodnost,*
- *Snižuje biologickou aktivitu v půdě*
- *Snižuje obsah živin zejména dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku,*
- *Znesnadňuje obdělávatelnost (výmoly, strže) pozemku,*
- *Zanáší intravilán, vodní toky, komunikace, propustky.*

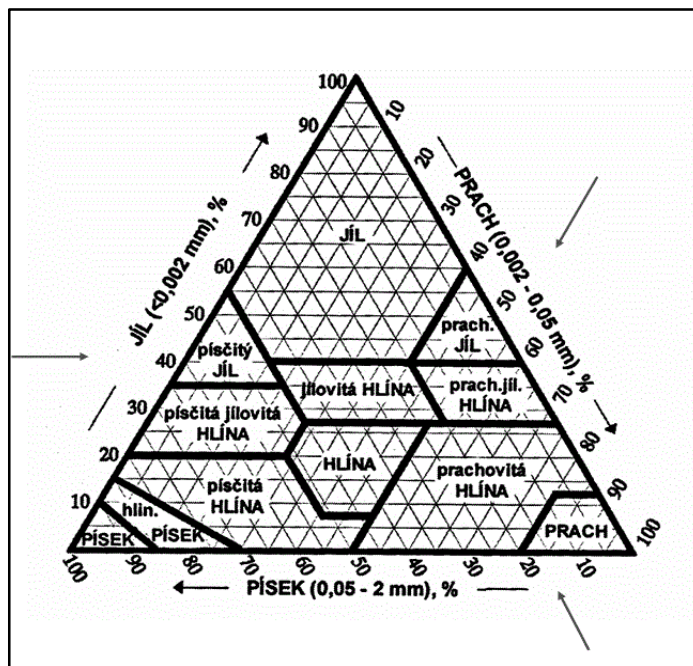
Větrná eroze negativně ovlivňuje půdu stejně jako vodní eroze (zhoršení fyzikálních vlastností, zmenšení mocnosti půdního profilu, zvýšení kyselosti půd, snížení obsahu humusu, biologické aktivity, obsahu živin, půdní úrodnosti apod.). A navíc negativně působí i na ovzduší, které znečišťuje polétavý prach, čímž vzniká vyšší riziko rakoviny plic. Dále obnažuje kořeny rostlin, které pak sesychají pro nedostatek živin a vody. Větrná eroze se obvykle hodnotí na pozemcích v rovinných částech terénu u lehkých půd, v oblastech s nízkými srážkami (do 500 mm) a nízkou lesnatostí (do 20 %). Vodní erozi hodnotíme naopak na svazích u všech typů půd. Pospíšilová a Vlček (2015) uvádí, že půdní eroze se hodnotí podle následujících kritérií:

- **DOBŘÍ STAV** - velmi malá nebo žádná vodní eroze. Větrná eroze není příliš patrná, za sucha je za kultivátorem za větru patrný pouze nevýrazný obláček prachu.
- **STŘEDNĚ DOBŘÍ STAV** - vodní eroze je patrná, tvoří se větší množství erozních rýh. Větrná eroze je patrná, za kultivátorem je za větru patrný oblak.
- **ŠPATNÝ STAV** - vodní eroze je patrná, tvoří se erozní rýhy až strže. Větrná eroze je patrná, za kultivátorem je za větru patrný velmi výrazný oblak prachu.

3.2 Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti

3.2.1 Zrnitost půdy

Zrnitostní složení půdy neboli textura je jedním z nejvýznamnějších půdních charakteristik ovlivňujících konzistenční a technologické vlastnosti půd, soudržnost, přilnavost a zpracovatelnost půd. Zrnitost půdy je dána zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic. Pro půdy má největší význam jejich obsah tzv. jemnozemi, tj. v sumě minerálních částic o velikosti pod 2 mm v průměru. Částice větší než 2 mm nazýváme skelet. Postupně byly vytvořeny různé systémy třídění částic podle velikosti, např. nejjednodušší stupnice rozlišuje kategorie šterk, písek, prach a jíl, jiné jsou podstatně detailnější. Pro praktické stanovení textury, vyplývající ze zastoupení jednotlivých velikostních kategorií, se používá trojúhelníkový diagram, který vždy vychází z určité stupnice – viz obrázek č. 5 (Šimek, 2007, Vopravil, 2010, Němeček a kol. 2011).



Obrázek č. 5: Trojúhelníkový diagram zrnitosti (Němeček a kol., 2011)

Podle textury, tj. zastoupení hlavní zrnitostních frakcí v hmotnostních procentech, se rozlišují půdní druhy – půdy písčité, hlinité a jílovité a přechody mezi nimi, případně další kategorie. Pro písčitou půdu se používá termín lehká půda, pro hlinitou střední půda a jílovitou půdu se užívá termín těžká půda. Tyto názvy souvisejí se zpracovatelností jednotlivých skupin půd. Na obsahu jílnatých částic (částic o průměru pod 0,01 mm) je založeno třídění a názvosloví půdních druhů dle Nováka (1953) – viz tabulka č. 1 (Šimek, 2007).

Tabulka č. 1: Zrnitostní klasifikace (Novák, 1953)

Obsah částic (zrn) menších než 0,01 mm (%)	Označení druhu půdy		Klasifikace půdy
0-10	písčítá	P	lehká
10-20	hlinitopísčítá	HP	
20-30	písčitohlinitá	PH	středně těžká
30-45	hlinitá	H	
45-60	jílovitohlinitá	JH	těžká
60-75	jílovitá	JV	
přes 75	jíl (nebo prchlice)	J	

3.2.2 Půdní struktura

Představuje prostorové uspořádání agregátů v půdě tj., seskupování elementárních půdních částic v strukturální elementy (shluky = agregáty). Jak uvádí Šarapatka (2014) vzniklé půdní agregáty mají různý tvar a velikost. Podle velikosti rozlišujeme mikroagregáty (< 0,25 mm) a makroagregáty (> 0,25 mm). Utváření půdní struktury se děje dvěma procesy:

- 1) *Rozdělení půdy na agregáty* – vysušením, působením mrazu, kypřením živočichy, agrotechnikou,
- 2) *Zpevnováním agregátů tmelícími látkami* – humusem či sesquioxidy.

Struktura patří k nejvýznamnější fyzikálním charakteristikám půdy a stejně jako textura (zrnitost) půdy podmiňuje velikostní zastoupení půdních pórů, čímž významně ovlivňuje vodní a vzdušné poměry v půdě. Šimek (2007) uvádí, že struktura má vliv na záhřevnost půdy a při posuzování půdní struktury se hodnotí velikost a tvar strukturálních agregátů a jejich stabilita (vodostálost – stálost proti rozpadu ve vodě). Při popisu půdní struktury se uvádí její typ (nestrukturní půdy, půdy se slabě vyvinutou půdní strukturou a půdy strukturní), třída a stupeň. Strukturní typ půdy je určen tvarem a uspořádáním půdních agregátů. U každého strukturního typu se podle velikosti agregátů rozeznává strukturní třída. Strukturní stupeň udává míru rozlišení agregátů. Podle Kutílka (1978) rozlišujeme stupně vývoje struktury na tři skupiny půd:

- *Strukturní půda (s vyvinutou strukturou)* – agregáty se velmi snadno od sebe oddělují, jsou velice pevné a na vodě plně stabilní.
- *Půda se slabě vyvinutou půdní strukturou* – s větším podílem nestrukturního materiálu, struktura se dá rozeznat až po rozdrobení vzorku.
- *Nestrukturní půda (s nevyvinutou strukturou)* – nejsou u nich patrné agregáty, vznikají náhodně větší či menší útvary (pseudoagregáty) při drobení. Pseudo-agregáty jsou ve vodě nestabilní, rozplavují se a při vysychání vzniká celistvá vrstva.

Dle Jandáka a kol. (2003) můžeme strukturu rozdělit podle tvaru a velikosti agregátů na agregáty rovnoměrně vyvinuté ve směru tří os vytvářející kulovitou strukturu se zaoblenými shluky (hrudovitou, drobtovitou, práškovitou) a polyedrickou (ostrohranné agregáty v těsném uspořádání). Agregáty vertikálně protažené tvoří strukturu hranolovitou s agregáty bez zaoblení (prizmatickou) a se zaoblením svrchní části (sloupkovitou strukturu). Agregáty vodorovně protažené (zploštělé) tvoří strukturu deskovitou (deskovitou až lístkovitou) – viz tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Třídění struktury podle tvaru, vývinu hran a velikosti

(JANDÁK a kol., 2003)

Strukturální elementy horizontálně protažené:	Strukturální elementy vertikálně protažené:		Strukturální elementy vyvinuté stejně ve 3 směrech:
IV. DESKOVITÁ	III. HRANOLOVITÁ		II. POLYEDRICKÁ
	Se zaoblenou svrchní částí – SLOUPKOVITÁ	Bez zaoblení ve svrchní části – PRIZMATICKÁ	Plochy a hrany vyvinuté zřetelně (výrazně)
Hrubě deskovitá nad 10 mm	Hrubě sloupkovitá nad 50 mm	Hrubě prizmatická nad 50 mm	Hrubě polyedrická nad 20 mm
Deskovitá 10 – 5 mm	Sloupkovitá (středně) 50 – 20 mm	Prizmatická (středně) 50 – 20 mm	Polyedrická (středně) 20 – 10 mm
Destičkovitá 5 – 2 mm	Drobně sloupkovitá pod 20 mm	Drobně prizmatická pod 20 mm	Drobně polyedrická pod 10 mm
Lístková pod 2 mm tloušťky	v příčném průměru	v příčném průměru	Jemně drobová 5 – 1 mm
			Plochy a hrany patrné, ale ne výrazné
			Zrnitá 10 – 5 mm
			Jemně zrnitá 5 – 1 mm

Nejrozšířenější metodou pro hodnocení půdní struktury je analýza makro a mikro struktury a vodostálosti agregátů. Vodostálost agregátů je základním ukazatelem stability struktury. Je to schopnost agregátů odolávat rozmývajcímu účinku vody a mechanickým tlakům. Stanovení vodostálosti agregátů je uvedeno v kapitole „Metody studia“ (Bártlová, 2013). Dle Hlušíčkové a Lhotského (1994) jsou strukturní půdy takové, které obsahují více jak 60 % vodostálých agregátů. U strukturních půd jsou agregáty od sebe lehce oddělitelné, jsou velmi pevné a stabilní. Mají lepší poměr mezi kapilárními a nekapilárními póry, a také je zde příznivější difúze plynů. Zatímco u nestrukturních půd může dojít k rozdrobení hmoty do různě velkých útvarů tzv. pseudoagregátů. Tyto pseudoagregáty nejsou stabilní ve vodě a vytváří kašovitou půdní hmotu. Po vyschnutí půdy dochází k vytvoření slité půdní krusty. Je to jeden z důvodů proč nestrukturní půdy mají vyšší povrchová odtok a zároveň nižší infiltraci vody do půdního profilu (Kutílek, 1978, Bártlová, 2013).

3.2.3 Objemová hmotnost

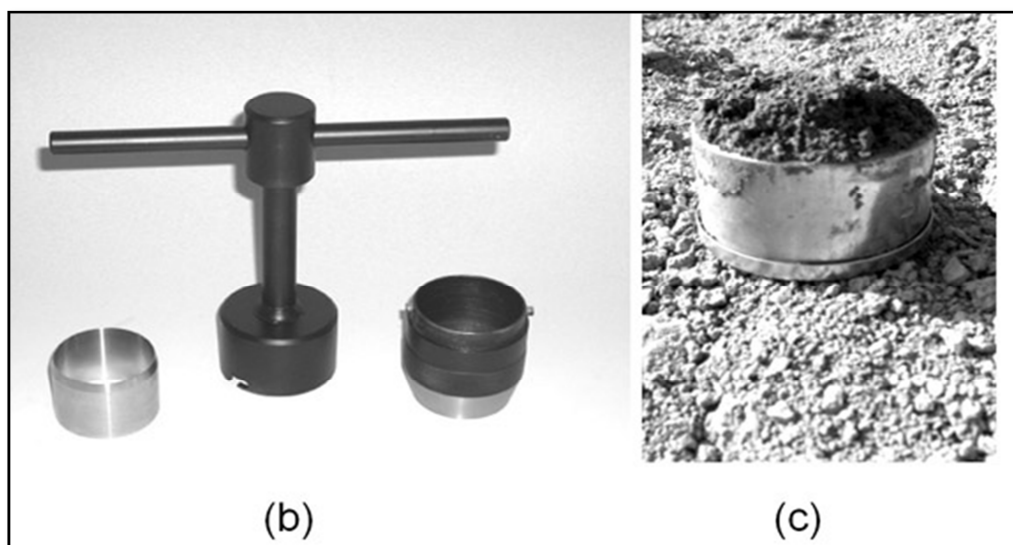
Kutílek (1994) definuje objemovou hmotnost půdy jako hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu. Zahrnuje jak pevné částice, tak i póry, kterou jsou vyplněny vodou i vzduchem. Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti, na podílu pórů v půdě a míře jejich zaplnění vodou. Je to nestálá hodnota, které se během roku mění v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě. Rozlišuje se objemová vlhkost suché půdy (ρ_d) a objemová hmotnost vlhké půdy (ρ_w). Objemová hmotnost vlhké půdy je závislá na půdní vlhkosti a tím pádem není konstantní. Mění se v průběhu roku v důsledku bobtnání a smršťování půdy při změnách vlhkosti, mrazem, obráběním, rozvojem kořenového systému. Objemová hmotnost suché půdy neboli objemová hmotnost redukovaná je hmotnost jednotkového objemu vysušené půdy. Je to hodnota stálější a pohybuje se v rozmezí 1,2-1,5 g/cm³ v závislosti na měrné hmotnosti a celkovém objemu pórů v půdě. Také indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a je potřeba pro výpočet pórovitosti. Agroekologický limit objemové hmotnosti redukované je 1,45 g/cm³. Podle objemové hmotnosti suché půdy a pórovitosti můžeme hodnotit strukturní stav humusového horizontu středně těžkých a těžkých půd – viz tabulka č. 3 (Kutílek, 1994).

Tabulka č. 3: Hodnocení strukturního stavu humusového horizontu

(Kutílek, 1994)

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost suché půdy (g/cm ³)	Pórovitost (%)
výborný	< 1,2	> 54
dobrý	1,2 - 1,4	46 - 54
nevyhovující	1,4 - 1,6	39 - 46
nestrupturní	1,6 - 1,8	31 - 39

Objemovou hmotnost stanovujeme pomocí fyzikálních válečků (Kopeckého válečky). Objemovou hmotnost vlhké půdy (ρ_w) stanovujeme taktéž ve fyzikálním válečku přímo po odebrání z terénu, zatímco objemovou hmotnost redukovanou měříme u vzorku, který je vysušen do konstantní hmotnosti (Rejšek, 1999).



Obrázek č. 6: Fyzikální (Kopeckého) válečky
(www.ucebnice.remediace.cz)

3.2.4 Měrná hmotnost

Měrná nebo specifická hmotnost půdy, dříve hustota (ρ_s), je dle Vopravila (2010) hmotnost objemové jednotky pevné fáze půdy bez pórů, tj. za předpokladu, že pevné částice dokonale vyplňují daný prostor. Jandák a kol. (2010) ji definuje i jako poměrné číslo, které udává, kolikrát je určité množství zeminy vysušené při 105°C těžší než stejný objem vody při 4°C. Měrná hmotnost závisí na obsahu různých minerálů a organických látek (humusu), protože tyhle složky mají různou měrnou hmotnost. Měrnou hmotnost půd u sypkých materiálů určujeme pomocí pyknometru (Jandák a kol., 2003, Rejšek, 1999).



Obrázek č. 7: Pyknometry

(www.winlab.de).

Průměrná specifická hmotnost minerálních půd je přibližně $2,6 \text{ g/cm}^3$, organická hmota má v průměru $1,1-1,4 \text{ g/cm}^3$, proto svrchní horizonty některých půd obsahující více organické hmoty (15-20%) mají specifickou hmotnost asi $2,4 \text{ g/cm}^3$, jak uvádí Vopravil (2010). V tabulce č. 4 uvádíme hodnoty specifické, objemové hmotnosti vysušené půdy a pórovitosti typické pro různé půdy podle Rowell (1994)

Tabulka č. 4: Hodnoty specifické, objemové hmotnosti vysušené půdy a pórovitosti typické pro různé půdy (upraveno podle: Rowell, 1994, In: Šimek, 2007)

Půda	Specifická hmotnost (g/cm^3)	Objemová hmotnost (g/cm^3)	Pórovitost
střední až těžší minerální	2,6	0,8-1,4	46-49
lehčí minerální	2,6	1,4-1,7	35-46
luční a lesní, svrchní vrstvy	2,4	0,8-1,2	50-67
rašeliny	1,4	0,1-0,7	79-93

3.2.5 Pórovitost půdy

V půdě nacházíme prostory nezaplňené tuhými fázemi, které označujeme jako póry. Vniká nimi voda a vzduch do půdy a jsou tak výrazně ovlivněny zvětrávací a půdotvorné pochody. Pórovitost půdy značí celkový objem pórů v neporušené půdě. Povrchové horizonty minerální půdy mají pórovitost 40 - 60 %, což znamená, že 40 – 60 % objemu půdy je tvořeno póry, zbytek pevnými částicemi (Vopravil, 2010, Jandák a kol., 2010, Šarapatka, 2014). Podle Jandáka a kol. (2010) počítáme půdní pórovitost z objemové hmotnosti půd (ρ_d) a měrné hmotnosti půd (ρ_s) podle vztahu:

$$P = V_P / V_S = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s * 100 [100 \%]$$

Pórovitost vyjadřujeme v procentech z objemu půdy následovně:

$$P = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s * 100 [\% \text{ obj. }]$$

Kromě celkové pórovitosti, tj. objem pórů, můžeme pórovitost charakterizovat podle velikosti, tvaru a distribuce pórů. Třídění pórů podle velikosti není snadné, protože jejich průměr nelze přímo měřit. Třídí se proto zpravidla podle druhu a velikosti sil, které působí na vodu v nich obsaženou. Půdní póry lze přirovnat k nepravidelným kapilárám s proměnlivým průměrem. Jejich „ekvivalentní průměr“ odpovídá průměru válcovité kapiláry, ze které lze odsát vodu pod stejným tlakem Vopravil (2010). Rozdělení pórů podle velikosti a sacího napětí vody podává tabulka č. 5. V tabulce č. 6 je uveden optimální poměr kapilárních a nekapilárních pórů v půdě.

Tabulka č. 5: Rozdělení pórů podle velikosti a sacího napětí vody

(Jandák a kol., 2010)

Póry	Ekvivalentní průměr (μm)	pF
hrubé, široké	>50	0-1,77
hrubé, úzké	50-10	1,77-2,54
střední	10-0,2	2,54-4,20
jemné	<0,2	>4,20

Tabulka č. 6: Optimální poměr kapilárních a nekapilárních pórů v půdě

(Jandák kol., 2010)

Optimální poměr pórů		
Plodiny	Kapilární póry	Nekapilární póry
	Pórovitost celková (%)	Pórovitost celková (%)
pícniny, zelenina	75-85	15-25
okopaniny	70-80	20-30
obilniny	60-70	30-40

3.2.6 Sorpční komplex půd

Sorpční schopnost představuje její schopnost poutat různé látky z disperzního prostředí. Umožňuje zadržovat ionty prvků a dynamicky je v případě potřeby uvolňovat do půdního roztoku, ze kterého jsou pak snadno přijímány rostlinami. Ionty jsou v půdním prostředí vázány na odlišné složky; část anorganickou a organickou (na nejjemnější částice tvořící koloidní systém půdy), přičemž množství sorbovaných iontů záleží na kvalitě a kvantitě obou částí. Sorpční schopnost půdy je primárně ovlivněna půdním druhem (charakterem matečního substrátu), půdním typem a pedogenetickými procesy, kterými půda vznikala. Sorpci můžeme rozdělit na mechanickou (částice jsou mechanicky zadrženy např. v pórech), fyzikálně chemickou (výměna iontů mezi povrchem a roztokem), chemickou (tvorba sraženin a nerozpustných sloučenin, které jsou posléze mechanicky zadržovány) a biologickou (sorpce látek těly rostlin a půdních organismů), jak uvádí Vopravil (2010). Podle Pospíšilové a kol. (2003) hodnotíme kvalitu sorpčního komplexu dle tabulky č. 7 a č. 8 a rovněž podle níže uvedených parametrů:

- *Obsah výměnný bází (S)* – množství bází, které je právě teď poutáno sorpčním komplexem a udává se v mmol/01 kg zeminy. Hodnoty tohoto ukazatele jsou závislé na vlhkosti půdy a hnojení a mění se během roku,
- *Kationtová výměnná kapacita (KVK)* – je to největší množství kationtů, které je sorpční komplex půdy schopen poutat na svém povrchu. Hodnota KVK se též udává v mmol/0,1 kg zeminy,
- *Stupeň sorpčního nasycení (V)* – je to poměr okamžitého obsahu výměnný bází (S) k maximálně možnému obsahu výměnných bází (KVK) a vyjadřuje se v %.

*Tabulka č. 7: Hodnocení půd podle KVK
(Pospíšilová, 2003).*

Kationtová výměnná kapacita	Hodnota KVK (mmol / 0,1 kg)
Velmi vysoká	nad 30
Vysoká	25 - 30
Vyšší střední	18 - 25
Nižší střední	13 - 18
Nízká	8 - 13
Velmi nízká	pod 8

*Tabulka č. 8: Hodnocení půd dle nasycenosti
(Pospíšilová, 2003).*

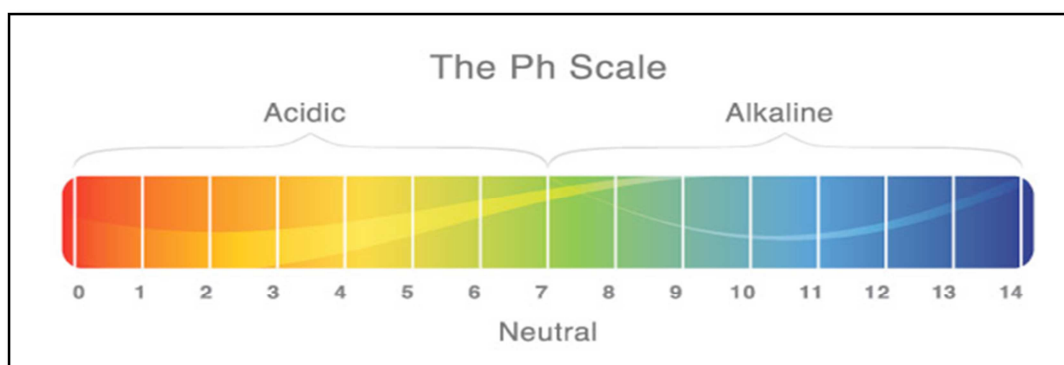
Nasycenost půdy	Hodnota V (%)
Plně nasycená	90 - 100
Nasycená	75 - 90
Slabě nasycená	50 - 75
Nenasycená	30 - 50
Extrémně nenasycená	pod 30
Velmi nízká	pod 8

3.2.7 Půdní reakce

Půdní reakce neboli kyselost půdy patří mezi důležité ukazatele stavu půdního prostředí. Ovlivňuje růst rostlin, složení mikrobiálních společenstev, rozpustnost a dostupnost prvků, humifikační procesy, pedogenezi půd a pohyblivost těžkých kovů. Půdní reakce je určována koncentrací vodíkových iontů, které ve vodních roztocích vytvářejí kationty H_3O^{3+} . Iontový produkt vody (součin koncentrací obou iontů) je při normální teplotě 10^{-14} . Koncentrace vodíkových iontů ve vodním výluhu může být od 10^{-14} do 10^0 . Takové vyjádření koncentrace je nepraktické, a proto Sørensen zavedl index pH, což je záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů:

$$pH = - \log 10 H^+$$

Proto při koncentraci H^+ iontů je označení $pH = 7$ považováno za neutrální reakcí, kyselá reakce má pH od 0 do 7 a alkalická reakce má pH od 7 do 14 (Vopravil, 2010, Jandák, 2010) – viz obrázek č. 8.



Obrázek č. 8: Stupnice pH

(www.happywhispers.lv).

Půdní reakce ovlivňuje rozpustnost různých sloučenin, vazebnou sílu, výměnu iontů, složení půdní mikroflóry, mikrofauny i rostlinné pokryvu. Dělíme ji v půdě na aktivní reakci (pH/H_2O), při níž se vodíkové ionty nacházejí v půdním roztoku. Dále rozlišujeme potenciální půdní reakci, která se dělí na reakci výměnou (pH/KCl) a hydrolytickou ($mmol H^+/0,1 \text{ kg}$ půdy), jak uvádí Jandák (2010). Hodnota aktivní i výměnné půdní reakce se stanoví potenciometricky změřením pH vodní suspenze zeminy pomocí kombinované elektrody (Zbíral, 1997). Hodnocení půdní reakce je uvedeno v tabulce č. 9 a č. 10.

Tabulka č. 9: *Hodnocení aktivní půdní reakce*
(Sotáková, 1988).

pH/H₂O	Hodnocení zeminy
< 4,9	Silně kyselá
5,0 - 5,9	Kyselá
6,0 - 6,9	Slabě kyselá
7,0	Neutrální
7,1 - 8,0	Slabě alkalická
8,1 - 9,4	Alkalická
> 9,5	Silně alkalická

Tabulka č. 10: *Hodnocení výměnné půdní reakce*
(Sotáková, 1988).

pH/KCl	Hodnocení zeminy
< 4,5	Silně kyselá
4,6 - 5,5	Kyselá
5,6 - 6,5	Slabě kyselá
6,6 - 7,2	Neutrální
> 7,3	Alkalická

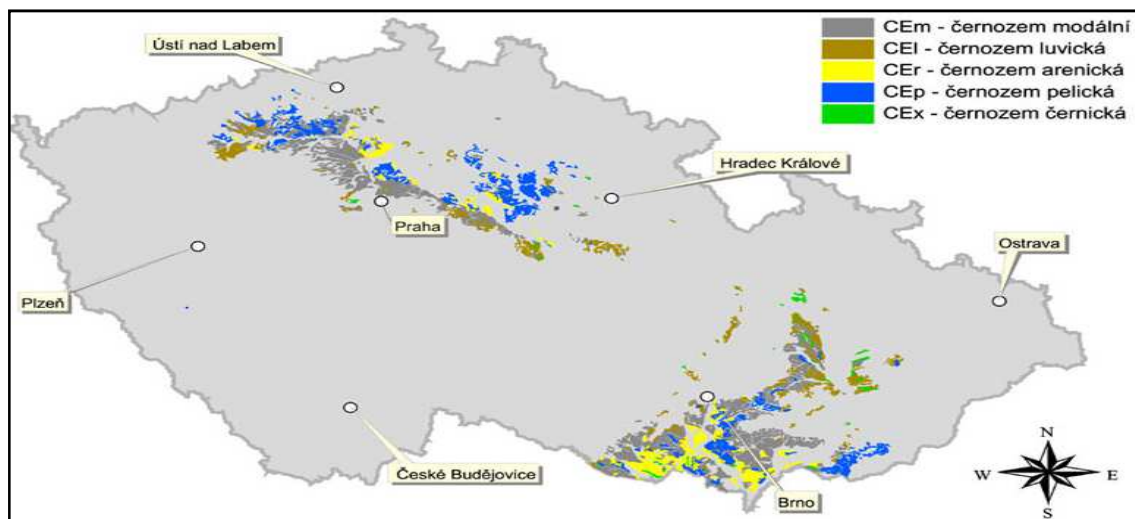
3.2.8 Pufrovitost

Pufrovitost půdy (tlumicí schopnost) je její schopnost bránit se změnám půdní reakce. Půda udržuje stálou koncentraci vodíkových iontů v půdním roztoku. Tato schopnost je závislá na mnoha faktorech, např. na obsahu koloidní frakce, na stupni nasycení sorpčního půdního komplexu, na obsahu karbonátů, humusu a její kvalitě. Půdy, které mají velkou tlumicí schopnost se po přidání kyseliny či zásady jejich pH téměř nezmění, zatímco půdy s malou tlumicí schopností reagují velmi citlivě na změnu pH (Jandák a kol. 200).

3.3 Referenční třída Černosoly

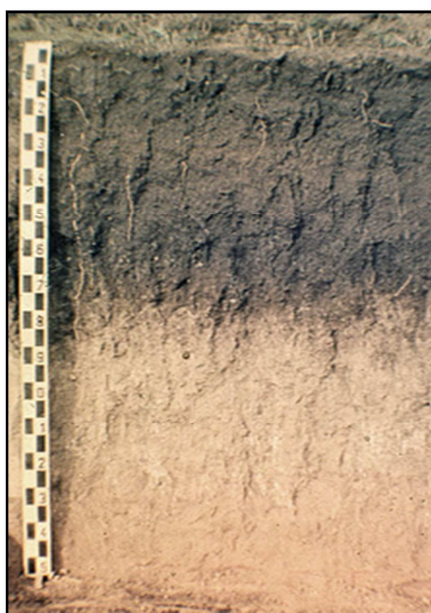
3.3.1 Charakteristika

Černosoly zahrnují dva půdní typy - *černozemě* (CE) a *černice* (CC). Jsou to půdy s typickým mocným černickým humusovým horizontem (0,40 – 0,60 m) s drobtovitou až zrnitou strukturou. Vyvinuly se na sypkých karbonátových substrátech. Němeček a kol. (2011) uvádějí, že *černozemě* jsou půdy rozšířené v sušších a teplejších oblastech do 300 m n. m. s ročním úhrnem srážek 450 – 650 mm. Původní vegetací byly stepi a lesostepi. Matečným substrátem jsou většinou spraše, jen místy se uplatňují zvětraliny slínovců (slínů), vápnité terciérní jíly nebo vápnité písky. Hlavním půdotvorným procesem při vzniku černozemí byla intenzivní humifikace. Mají typický hlubokohumózní (0,4-0,60 m) černickým Ac horizontem, který je tmavě zbarven. **Ac** horizont se vyznačuje vodostálou strukturou. Pro černozem na spraši je příznačný výskyt vápnných žilek (pseudomycélií), povlaků a kongrecí (bílé vápnné agregáty – cicváry), vzniklých následkem migrace karbonátů půdním profilem. Vyznačují se vláhovým režimem v intervalu bod vadnutí - polní kapacita, v suchých letech s poklesem pod bod vadnutí. Obsahují v ornici 1,9 – 3 % humusu, poměr HK/FK je větší než 1,5 a mají neutrální až slabě alkalickou půdní reakci. Sorpční komplex je nasycený až plně nasycený. Patří k našim nejúrodnějším půdám a jsou intenzivně využívány v zemědělství. Limitujícím faktorem jejich úrodnosti je dostatečný úhrn srážek. V ČR zabírají 11% ZPF a najdeme je v moravských úvalech, středním Polabí, dolní Povoltaví a dolním Poohřím – viz obrázek č. 9.



Obrázek č. 9: Výskyt černozemí v ČR
(www.klasifikace.pedologie.cz)

Diagnostické horizonty a stratigrafie půdního profilu černozemí je uvedena na obrázku č. 10.



Stratigrafie	Ap - Ac - Ac/Ck - K - Ck
--------------	--------------------------

Obrázek č. 10: Půdní profil černozemě a stratigrafie horizontů
(www.klasifikace.pedologie.cz)

Nejrozšířenější půdní subtypy černozemí v ČR jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11: Subtypy černozemí

(upraveno dle Vopravil, 2010)

Černozem modální	Černozem luvická	Černozem arenická	Černozem pelická	Černozem karbonátová
vyvinutá ze spraší (prachových vápnatých sedimentů), s kalcickým horizontem	pod černickým horizontem, vzniká odvápněný šedý, o jílu obohacený horizont s černohnědými povlaky	vytvořena ze zrnitostně lehčích (písčitéjších) substrátů	alespoň část černického horizontu je zrnitostně těžká (vyšší obsah jílu)	s reziduí karbonátů v horizontu Ac

4 MATERIÁL

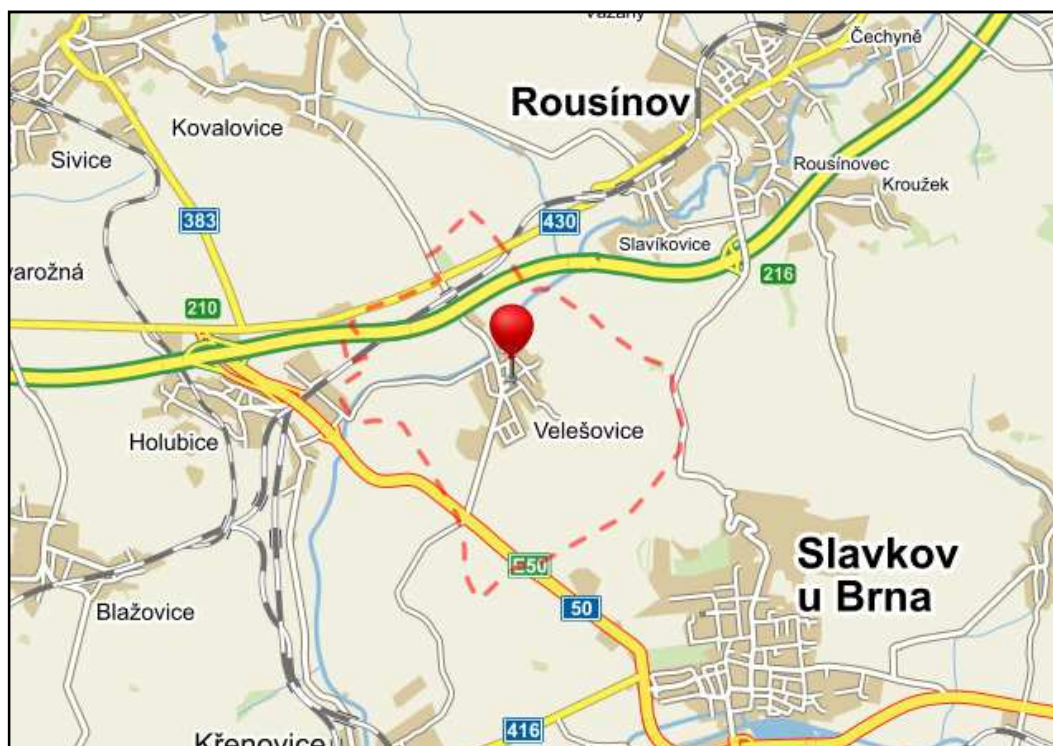
4.1 Objekt studia

- Černozem karbonátová (Velešovice)
- Černozem luvická (Praha- Ruzyně)
- Černozem luvická (Unčovice)

4.2 Popis zkoumané lokality

4.2.1 Lokalita Velešovice

Obec Velešovice najdeme severozápadním směrem od Brna ve východní části okresu Vyškov v Jihomoravském kraji. Nejbližším centrem je Slavkov u Brna – viz obrázek č. 11.



Obrázek č. 11: Mapa obce Velešovice (www.mapy.cz)

Zemědělské půdy v tomto okrese zabírají 487 km² s vysokým podílem černozemí na spraších (44%) v centrální části kolem Vyškovské brány a Dyjsko – svrateckého úvalu. Nadprůměrný podíl středně těžkých půd (74%) je doprovázen vysokým zastoupením těžkých většinou jílovitohlinitých půd (21%). Nízký podíl je zamokřených půd - 5% (Hubáčková, 2014). Culek (1996) uvádí, že Velešovice se dle mapy biografického členění ČR nachází na styku čtyř bioregionů – prostějovského, macošského, drahanského a enklávy lechovického regionu. Převážná část území zasahuje do prostějovského bioregionu, kde zaujímá jeho západní část. Typickou částí tohoto bioregionu jsou sprašové pahorkatiny s převažujícími dubo-hrabrovými háji a ostrůvky teplomilných doubrav. V současnosti zde dominuje orná půda. Půdotvorným substrátem lokality je spraš na vápnitém podloží. Reliéf je charakterizován plochou pahorkatinou kloněnou od západu k východu s výškovou členitostí 30 – 70 m. Nadmořská výška obce činí 250 m. n. m, jak uvádí Pospíšilová (2013). Quitt (1971) začleňuje území do teplé oblasti T2, západní část do mírně teplé oblasti MT11. Průměrná teplota je pro Vyškovsko 8,4 °C a roční úhrn srážek 542 mm. Převažují zde *černozeře* na spraších, ve vyšších polohách přehází do *hnědozemí*. Pohled na vybranou lokalitu uvádím na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12: Půdní profil černozemě karbonátové Velešovice
(Foto: Pospíšilová, 2012)

Popis půdního profilu:

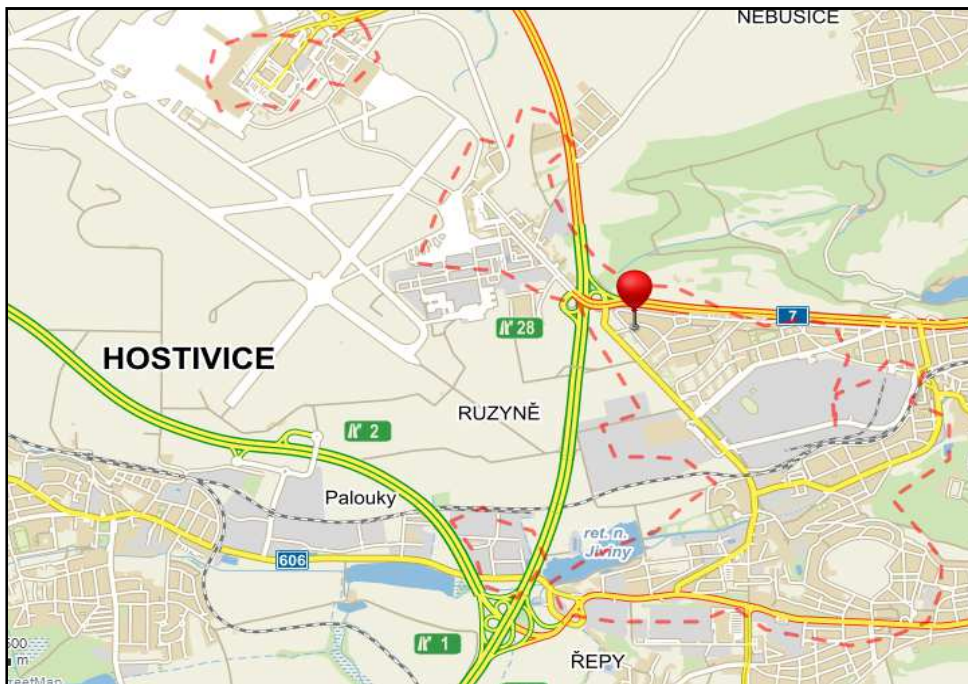
Černozem karbonátová (Velešovice), hlinitá na karbonátové spraši má následující diagnostické horizonty:

Ack (0-35 cm) – orniční, humusový horizont, barva 10YR4/2 za vlhka. Půda je vlhká, má jemně zrnitou strukturu až práškovou strukturu. Horizont je silně prokořeněn, půdy je střední, hlinitá bez příměsí skeletu. Má vysoký obsah karbonátů ve formě cicvárů o průměru 1,5 – 3 cm, přechod podle barvy, prokořenění a utužení.

Ck (více než 35 cm) – karbonátová spraš, barva 10YR5/4, plavá, bezstrukturní, vlhká, s vysokým obsahem karbonátů ve formě cicvárů o průměru 3 cm a více.

4.2.2 Lokalita Praha – Ruzyně

Praha – Ruzyně je městská část hlavního města Prahy. Pokusná plocha leží na západním okraji města směrem na Hostivice – viz obrázek č. 13.



Obrázek č. 13: Mapa městské části Praha-Ruzyně

(www.mapy.cz)

Culek (1996) uvádí, že celá oblast leží na pokryvech z období staršího paleozoika. Hydrologicky je lokalita zásoba průměrně, v západní části Pražské kotliny a Kladenska

je úhrn srážek 500 – 600 mm, na Ruzyni je to 526 mm, v nadmořské výšce 335 m. Dle Quitta (1971) je klimatický region charakterizován jako mírný a teplý s průměrnou roční teplotou 8,2 °C. Podle vegetačního členění je lokalita, včetně celé Prahy, řazena do pásma bukovno-dubových lesů. Půdotvorný substrát je představen sprašemi na křídové opuce.

Popis půdního profilu:

Černozem luvická (CEL), hlinitá, na spraši uložené na křídové opuce. Vyčleňujeme tyto diagnostické horizonty:

Ap (0 -22 cm) – barva 10YR 2/2, hrudkovitá struktura, hlinitá, drobné úlomky cihel a opuky, vlhá, soudržná, ojediněle vlásečnicové kořínky a uhlíky, koprolity, přechod zřetelný.

Ac (22 – 35 cm) – barva 10YR 3/2, drobtovitá struktura, hlinitá, ojediněle drobné úlomky opuky, vlhá, soudržná, ojediněle vlásečnicové kořínky a uhlíky, koprolity, přechod zřetelný.

AcBth (35 – 67 cm) – barva 10YR 3/2 + 10YR 5/4, polyedrická struktura, hlinitá, drobné úlomky opuky, lokálně argilany, vlhá, soudržná, ojediněle vlásečnicové kořínky, přechod zřetelný.

Bth (67 – 100 cm) – barva 10YR 5/4, polyedrická struktura, hlinitá, ojedinělé drobné úlomky opuky, vlhá, soudržná, ojedinělé koprolity a argilany, přechod zřetelný.

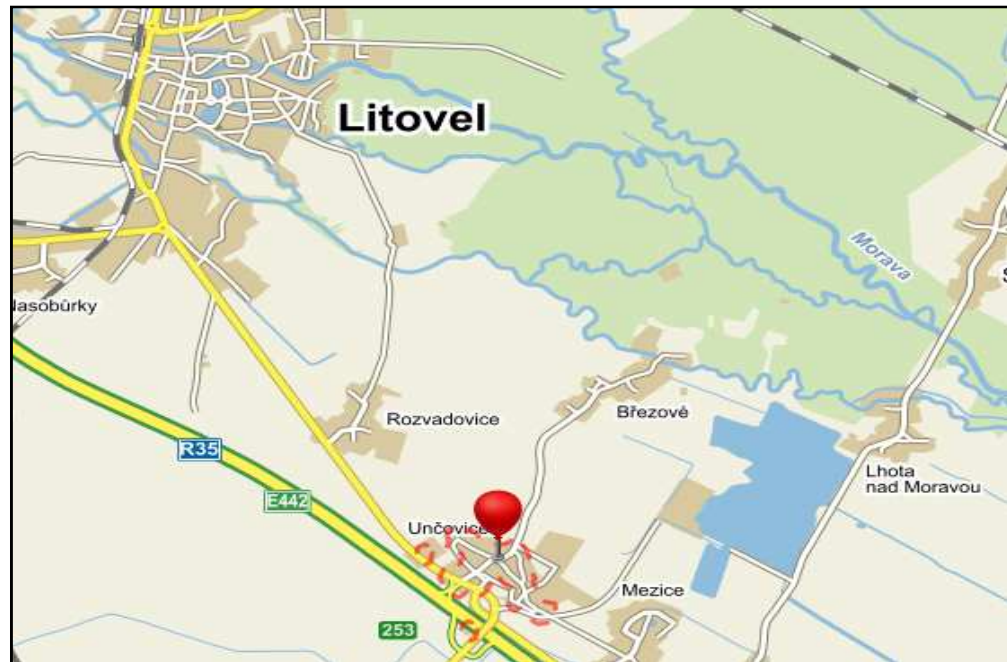
Ck (100 – 120 cm) – barva 10YR 6/4, prizmatická, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, žilky.



*Obrázek č. 14. Půdní profil černozemě luvické
(Foto a popis půdního profilu: Žigová, 2008, nepublikovaná data)*

4.2.3 Lokalita Unčovice

Obec Unčovice je místní částí města Litovel. Nachází na severu Moravy v Olomouckém kraji nedaleko města Olomouc - viz obrázek č. 15.



Obrázek č. 15: Mapa obce Unčovice

(www.mapy.cz)

Oblast je tvořena rozšířenou nivou Moravy a podle Culek (1996) patří do Litovelského bioregionu. Povrch celého bioregionu je tvořen sedimenty mladého kvartéru – uloženiny nivy Moravy, pokryté sprašemi, sprašovými hlínami a částečně i slatinami. Reliéf má konkávní tvar a při okrajích se nacházejí nízké pahorky. Zkoumaná lokalita leží v nadmořské výšce 240 m n. m. Celá oblast je dostatečně zásobena srážkami ale může se projevit slabý srážkový stín Jeseníků (Quitt, 1971). V okolí nivy převažují glejové fluvizemě. Jinak nejhojnějšími půdami jsou hnědozemě na spraších. Nicméně u Unčovic se vyvinul ostrůvek hnědozemních a černicových černozemí.

Popis půdního profilu:

Černozem luvická (CEL), hlinitá, na spraši. Vyčleňujeme tyto diagnostické horizonty:

Ap (0 -22 cm) – orníční horizont, barva hnědočerná (10YR 2/3), hrudkovitá struktura, prachovitá hlína bez skeletu, vlhá a ulehlá, obsahuje velké množství rostlinných zbytků, přechod je ostrý.

Ac (22 – 35 cm) – černický horizont, hnědočerné barvy (10YR 2/3), výrazně vyvinutá drobtovitá struktura, prachovito jílovitá hlína, bez skeletu, vlhá, drobtovitá, přechod je pozvolný.

Ac přechodný (35 – 67 cm) – přechodný horizont hnědé barvy (10YR 4/4), prismatická slabě vyvinutá struktura s povlaky koloidů na povrchu, prachovito jílovitá hlína, bez skeletu, vlhá, drobtovitá, přechod je zřetelný.

C – půdotvorný substrát, žlutohnědé barvy (10YR 5/6), prismatická struktura, prachovito jílovitá hlína, bez skeletu, vlhá a tuhá, od 1 m se vyskytují cívčáry s průměrem do 5 cm a pseudomycélia.



Obrázek č. 16: *Půdní profil černozemě luvické*

(Foto: Pokorný, 2008, nepublikovaná data)

5 Metody studia

U vybraných subtypů černozemí byly stanoveny tyto základní fyzikální a chemické parametry:

- *Stabilita agregátů*
- *Zrnitostní složení*
- *Pórovitost*
- *Objemová hmotnost redukováná*
- *Specifická hmotnost*
- *Utžení půdy*
- *Obsah organického uhlíku*
- *Půdní reakce*
- *Tlumící schopnost půd*

5.1 Stanovení stability agregátů dle Adrianova

Stanovení stability agregátů neboli vodostálosti půdní struktury podle Adrianova (Jandák a kol., 2003). Potřebujeme k tomu síto o průměru ok 3 a 5 mm, misku s plochým dnem, skleněnou desku 12 x 12 cm a filtrační papír. Z průměrného vzorku vysušeného na vzduchu se prosíváním odseparují agregáty o průměru 3 až 5 mm. Do připravené misky vložíme skleněnou desku, přes kterou přeložíme filtrační papír. Ke zjištění vodostálosti použijeme 50 agregátů, které rozmístíme do 50 čtverečků o rozměru 1 x 1 cm nakreslených na filtračním papíru. Do krycí misky opatrně nalijeme destilovanou vodu tak, aby se filtrační papír nasýtil, přičemž dochází ke kapilárnímu nasycení agregátů. Toto nasycení trvá asi 1 minutu. Po uplynutí této doby agregáty opatrně přelijeme vodou do výše 1 cm. Registrujeme rozpad agregátů v intervalech po 1 minutě. Počet rozpadlých agregátů v jednotlivých minutových intervalech zapisujeme do tabulky. Za rozplavený agregát je považován ten, který zcela ztratil svůj původní tvar. Vodostálost agregátů vypočítáme podle vzorečku (1) a je vyhodnocena podle Bártlové (2013) – viz tabulka č. 12.

$$(1) \text{ vodostálost} = \frac{\sum(\text{rozplavené agregátů x koeficient vodostálosti})}{\sum \text{agregátů}} [\%]$$

Tabulka č. 12 : Stanovení vodostálosti dle Bártlové (2013)

Vodostálost (%)	Kvalita struktury
pod 18	velmi nízká
18,1 - 34,0	nízká
34,1 - 50,0	střední
50,1 - 66,0	vysoká
nad 66,1	velmi vysoká

5.2 Stanovení zrnitostního složení

Zrnitostní složení se zjišťuje zrnitostními analýzami. Jejich cílem je stanovení půdního druhu (Rejšek, 1999). Výchozím materiálem pro zrnitostní rozbor je jemnozem I (< 2,0 mm). Pokud půdní vzorek obsahuje podle odhadu více než 10 % částic větších než 2,0 mm, tak už se provádí stanovení skeletu. Třídění zrn se provádí pomocí půdní hydro-suspenze, což je voda, ve které je vzorek rozptýlen. Pro třídění zrnitostních frakcí se používá metoda sedimentační neboli usazovací, která využívá rozdílných rychlostí pádu různě velkých zrn nebo se užívá se Kopeckého vyplavovací (elutriační) metoda, která je založena na odolnosti zrn proti unášecí síle proudu vody různé rychlosti. Pro sedimentační metodu je důležitý Stokesův vzorec:

$$V = \frac{2}{9} * \frac{g * r^2}{\eta} * (\rho_s - \rho_k) \text{ [m/s]}$$

Zrnitostní složení bylo stanoveno pipetovací metodou, kterou řadíme do skupiny neopakované sedimentace. Podrobný postup stanovení uvádí Hraško a kol. (1963).

5.3 Stanovení pórovitosti půd

Jak bylo již uvedeno dříve, pórovitost půd se stanovuje nepřímou. Celková pórovitost podává obraz o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Vypočítáme ji z měrné hmotnosti půd (ρ_s) a objemové hmotnosti půd (ρ_d) podle vztahu:

$$P = V_P / V_S = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s * 100 [\%]$$

Podrobný postup stanovení specifické a objemové hmotnosti bude uveden dále. Kritické hodnoty pórovitosti (v obj. %) indikující škodlivé zhutnění ornice a podorničí uvádí tabulka č. 13.

Tabulka č. 13: Kritické hodnoty pórovitosti dle Lhotského (1984)

Půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Kritická P	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

5.4 Stanovení objemové hmotnosti redukované

Jedná se o hmotnost 1 cm³ půdy vysušené do konstantní hmotnosti a je vstupní veličinou pro výpočet procenta půdní pórovitosti. Stanovení objemové hmotnosti redukované (ρ_d) se provádí ve fyzikálních válečkách o objemu 100 cm³. Nejdříve se válečky se zemínou odváží, stanoví se hydrofyzikální vlastnosti a poté se vysuší. Výpočet ρ_d se provede podle vztahu (Rejšek, 1999):

$$\rho_d = \frac{(c-a)}{v} [\text{g/cm}^3]$$

kde:

c – hmotnost válečku s vysušeným vzorkem do konstantní hmotnosti

a – hmotnost válečku

V – objem vzorku zeminy

5.5 Stanovení specifické hmotnosti

Měrná hmotnost je dána hmotností 1 cm^3 půdy, zcela zbavené plynné a kapalné fáze. Hodnota měrné hmotnosti nemá sama o sobě zásadní význam, ale potřebujeme jí ke stanovení půdní pórovitosti. Je to základní fyzikální charakteristika každého materiálu, teda i půdy, kterou můžeme zjistit na základě volumetrických metod s využitím Archimedova zákona, imersní metodou, která spočívá v použití tzv. těžkých kapalin anebo pyknometricky. My jsme měrnou hmotnost určovali pyknometricky, a k tomu jsme potřebovali pyknometr, kádinku, destilovanou vodu, sušárnu, hodinové sklíčko, analytické váhy. Přesný postup uvádí Rejšek (1999).

5.6 Stanovení utužení půd

Podle posledních provedených odhadů publikovaných v Situační a výhledové zprávě Ministerstva zemědělství ČR (2012), trpí utužením v ČR kolem 49 % zemědělských půd. Z toho přibližně 30 % je zranitelných tzv. genetickým utužením (Budňáková a Jacko (eds.), 2012). Bylo vyvinuto několik metod stanovení stupně zhutnění. Nejpoužívanější metodou je penetrometrie, která spočívá v měření odporu půdy (za známé vlhkosti půdy) proti vnikání kužele penetrometrické sondy. Měření je doplněno odběrem vzorků na vlhkost, což je nejlepší uskutečnit na jaře, kdy je půdní profil rovnoměrně provlhčen. K zjištění utužení půd se užívají penetrometry, které jsou buď ruční anebo na traktor. Nejvíce se užívají ruční, které registrují odpor v MPa (Lukas, 2011). Naše měření byly provedeny ručním penetrem s registrací hodnot

v kPa, které byly následně přepočítány na vlhkost zeminy a hodnoty v MPa. Podrobný postup měření uvádí Lhotský (1984) a Šimon a Lhotský (1989). V tabulce č. 14 je uvedeno hodnocení utužení podle Arshad a kol. (1997). V tabulce č. 15 jsou kritické hodnoty penetračního odporu podle Lhotského (1984).

Tabulka č. 14: Třídy penetračního odporu a její velikosti

(Arshad a kol., 1997)

Penetrační odpor	Velikost v [MPa]
Extremně nízký	< 0,01
Velmi nízký	0,01 - 0,1
Nízký	0,1 - 1
Střední	1,0 - 2,0
Vysoký	2,0 - 4,0
Velmi vysoký	4,0 - 8,0
Extremně vysoký	> 8

Tabulka č. 15: Kritické hodnoty penetračního odporu

(Lhotský, 1984)

Půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Penetrometrický odpor půdy (MPa)	2,8 - 3,2	3,2 - 3,7	3,7 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	6
Při vlhkosti % hmotnostních	28 - 24	24 - 20	18 - 16	13 - 15	12	10

5.7 Stanovení obsahu celkového organického uhlíku

Celkový obsah organického uhlíku byl stanoven oxidačně-redukční titrací podle Walkley-Blacka (1934) v modifikaci Novák-Pelíšek. Principem této metody je, že se organický uhlík v půdě zoxiduje chromsírovou směsí při zvýšené teplotě 120 °C. Oxidačně redukční titrací Mohrovou solí se stanoví nezreagovaný zbytek chromsírové směsi. Výpočet obsahu Corg (%) je následující:

$$Corg = \frac{(As - b) * 0,15}{g} \quad [\%]$$

Podrobný postup stanovení uvádí Jandák a kol. (2003).

5.8 Stanovení půdní reakce

Stanovení půdní reakce (aktivní i výměnné) bylo provedeno potenciometricky podle Zbírala a kol. (1997). Hodnota půdní reakce se stanoví změřením pH vodní suspenze zeminy pomocí kombinované elektrody. Je nezbytné, aby byl nakalibrovaný pH-metr standardními tlumícími roztoky (pH 4 a pH 7). Byla použita převařená destilovaná voda a KCl. Podrobný postup stanovení pH reakce uvádí Zbírál a kol. (1997). Hodnocení půdní reakce uvádíme v tabulce č. 9 a č. 10., kap. 3.2.7.

5.9 Stanovení pufrční schopnosti půd

Pufrovitost neboli tlumící schopnost půd je schopnost bránit se změnám půdní reakce, teda udržovat stálou koncentraci vodíkových iontů v půdním roztoku. Jedná se o schopnost půd půdy tlumit výkyvy pH k směrem do kyselé nebo zásadité oblasti. Tato schopnost je závislá na mnoha faktorech, např. na obsahu koloidní frakce, na stupni nasycení sorpčního půdního komplexu, na obsahu karbonátů, OH a její kvalitě. Půdy, které mají velkou tlumící schopnost se po přidání kyseliny či zásady jejich pH téměř nezmění, zatímco půdy s malou tlumící schopností reagují velmi citlivě na změnu pH. Stanovení tlumící schopnosti se provádí tak, že se zjišťuje hodnota pH po přidání kyseliny a zásady do půdy. Naměřené hodnoty se porovnají s hodnotami pH pro mořský písek. Celkové hodnocení tlumící schopnosti půdy, tlumící schopnost v alkalické a kyselé oblasti pH podle Martince (2010) je uvedeno v tabulce č. 16.

Tabulka č. 16: *Hodnocení tlumící schopnosti podle Martince (2010)*

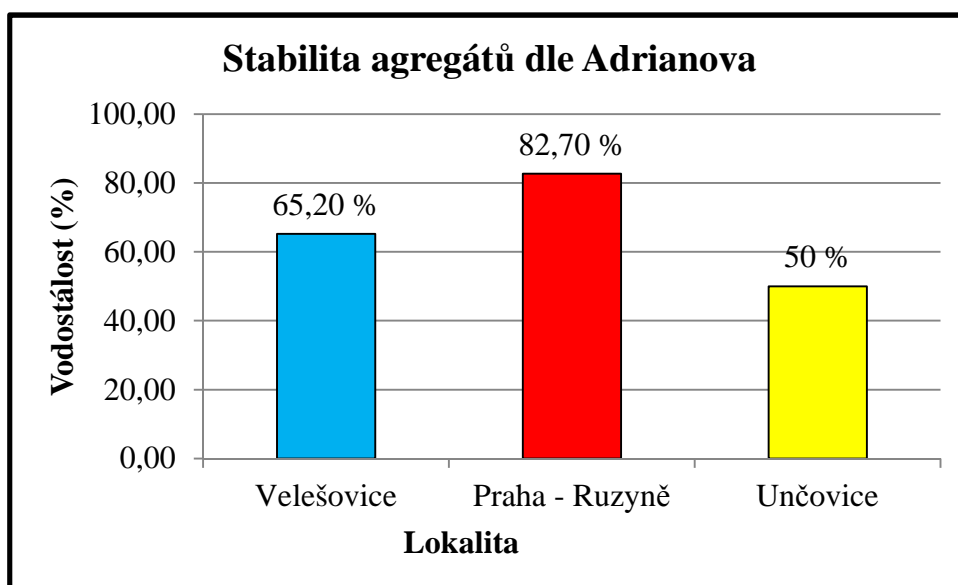
Hodnocení	Kyselé oblast (cm²)	Alkalická oblast (cm²)	Celkem (cm²)
Velmi slabá	< 11	< 22	< 28
Slabá	11 - 19	22 - 29	28 - 35
Střední	19 - 27	29 - 36	38 - 48
Silná	27 - 35	36 - 43	48 - 58
Velmi silná	> 35	> 43	> 58

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Statisticky byly zpracovány pouze data půdní pórovitosti a penetračního odporu půdy a to z důvodu nejvyššího počtu naměřených hodnot. Byla použita metoda jednofaktorové analýzy ANOVA.

6.1 Stabilita agregátů dle Adrianova

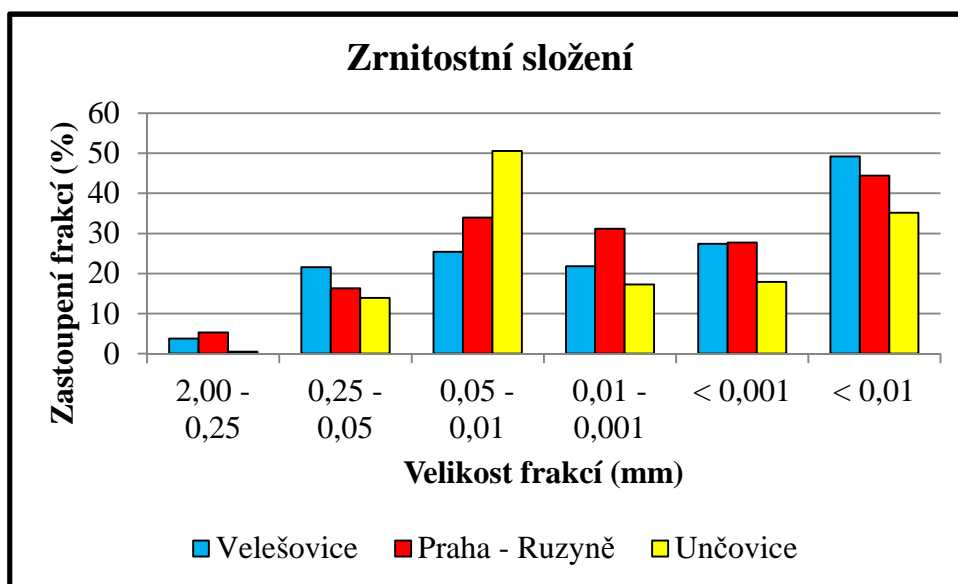
Graf č. 1 zobrazuje hodnoty vodostálosti agregátů sledovaných černozeří. Na základě porovnání těchto hodnot můžeme říct, že nejvyšší vodostálost byla u *černozeří luvické* (CEL, Praha) a nejnižší u *černozeří luvické* (CEL, Unčovice). Podle Bártlové (2013) hodnotíme vodostálost jako velmi vysokou u *černozeří luvické* (CEL, Praha), vysokou *černozeří karbonátové* (CEK, Velešovice) a střední u *černozeří luvické* (Unčovice) – viz Tab. 12 a graf č. 1.



Graf č. 1: Stabilita agregátů dle Adrianova sledovaných černozeří

6.2 Zrnitostní složení

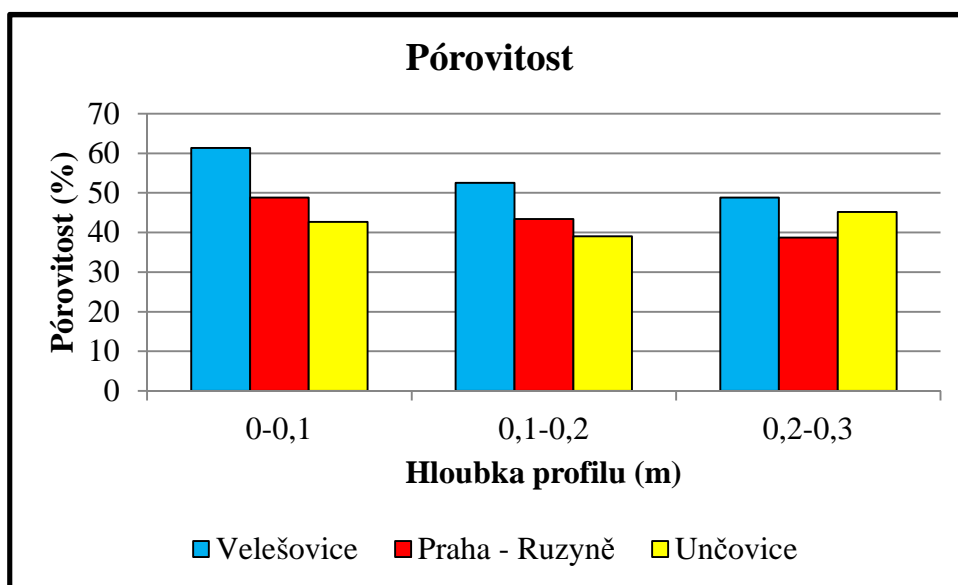
Graf č. 2 zobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých velikostních frakcí zrn (částic) půdy. Obsah frakce písku (2,00 – 0,25 mm) byl nejnižší u všech černozemí a to - 3,75 % (CEk), 5,30 % CEI (Praha) a 0,45 % (Unčovice). Obsah frakce jemného písku (0,25 – 0,05mm) tvořil u CEk 21,61 %, CEI (Praha) 16,30 % a nejméně u CEI (Unčovice) 13,39 %. Obsah frakce hrubého písku (0,05 – 0,01 mm) byl 25,42 % u CEk, 33,96 % u CEI (Praha) a 50,54 % u CEI (Unčovice). Obsah frakce jemného a středního prachu (0,01 – 0,001 mm) byl u CEk 21,78 %, CEI (Praha) 31,12 % a u CEI (Unčovice) 17,26 %. Obsah frakce jílu (<0,001) tvořil u *černozemě luvické* (Praha) 27,76 %, u *černozemě karbonátové* 27,44 % a nejméně u *černozemě luvické* (Unčovice) 17,86 %. Obsah jílnatých částic (< 0,01 mm) byl u CEk 49,22 %, u CEI (Praha) 44,44 % a u CEI (Unčovice) 35,12 %. Podle obsahu jílnatých částic je možné *černozem karbonátovou* označit za jílovitohlinitou půdu, *černozem luvickou* (Praha) též jako jílovitohlinitou a *černozem luvickou* (Unčovice) jako půdu hlinitou – graf 2. viz příloha 1.



Graf č. 2: Zrnitostní složení sledovaných černozemí

6.3 Pórovitost

Graf č. 3 zobrazuje pórovitost sledovaných černozemí v různých hloubkách půdního profilu. Nejvyšší hodnoty pórovitosti byly CEk ve Velešovicích ve všech sledovaných hloubkách půdního profilu. V hloubce do 10 cm byla zjištěna nejvyšší pórovitost u CEk (61,36 %), druhá nejvyšší byla u CEI (Praha) a to 48,84 % a nejmenší u CEI (Unčovice) a to 42,72 %. V hloubce 10 – 20 cm byla opět naměřena nejvyšší pórovitost u CEk 52,53 %, dále u CEI (Praha) 43,41 % a u CEI (Unčovice) byla 39,05 %. V hloubce 20 – 30 cm byla zjištěna nejvyšší pórovitost u CEk 48,83 %, u CEI (Praha) byla 38,75 % a u CEI (Unčovice) 45,18 %. Kritická hodnota pórovitosti dle Lhotského (1984) pro jílovitohlinitou půdu je 47 % a pro hlinitou půdu 45 %. Proto můžeme konstatovat, že CEk měla překročený agroekologický limit ve všech sledovaných hloubkách. Kritické hodnoty byly překročeny v hloubce do 10 o více než 14%. CEI (Praha) měla překročené kritické hodnoty v hloubce do 10 cm o 3,8 %. CEI (Unčovice) měla překročeny kritické hodnoty pórovitosti v hloubce 20 – 30 cm o 0,18 %. Lze tedy říct, že žádná ze sledovaných půd v ornici 0 – 30 cm nesplňovala agroekologický limit a půdy byly utuženy. Nejvíce CEk (Velešovice) a nejméně CEI (Unčovice) - viz graf 3. Při porovnání dat pórovitosti sledovaných půd nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly – viz Tab. 17.



Graf č. 3: Pórovitost sledovaných černozemí

Tabulka č. 17: Porovnání hodnot pórovitosti na sledovaných lokalitách

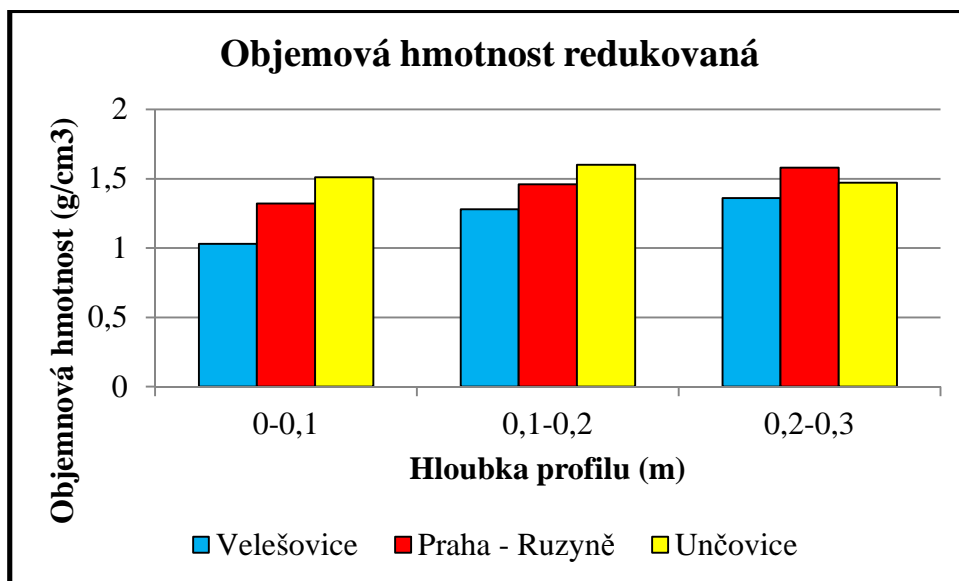
(ANOVA - jeden faktor)

Anova: jeden faktor - pórovitosti (%)						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
CEk (Velešovice)	3	162,32	54,10666667	43,66063		
CEl (Praha)	3	131	43,66666667	25,50143		
CEl (Unčovice)	3	126,95	42,31666667	9,516233		
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	249,8202	2	124,9101	4,762816	0,05771727	5,14325
Všechny výběry	157,3566	6	26,2261			
Celkem	407,1768	8				

6.4 Objemová hmotnost redukována

V grafu č. 4 jsou uvedeny data objemové hmotnosti redukována u sledovaných půd. Černozem karbonátová (Velešovice) má stoupající hodnoty objemové hmotnosti redukována, které se zvyšují s hloubkou. Agroekologický limit $1,47 \text{ g/cm}^3$ nebyl překročen v žádné sledované hloubce. CEI (Praha) vykazovala nárůst objemové hmotnosti s hloubkou a v hloubkách 10 – 20 cm a 20 – 30 cm byl překročen výše uvedený agroekologický limit. CEI (Unčovice) výsledky ukazují podobnou tendenci jako v Praze. Agroekologický limit byl překročen v hloubce 10 – 20 cm a 20 30 cm. Hodnocení strukturního stavu dle objemové hmotnosti redukována uvádíme v Tab. 19.

Nejvyšší objemová hmotnost redukována byla naměřena v hloubce 10 – 20 cm u černozemě luvické (Unčovice) $1,60 \text{ g/cm}^3$ a nejmenší byla u černozemě karbonátové $1,03 \text{ g/cm}^3$ v hloubce do 10 cm.



Graf č. 4: Objemová hmotnost redukovaná sledovaných černozemí

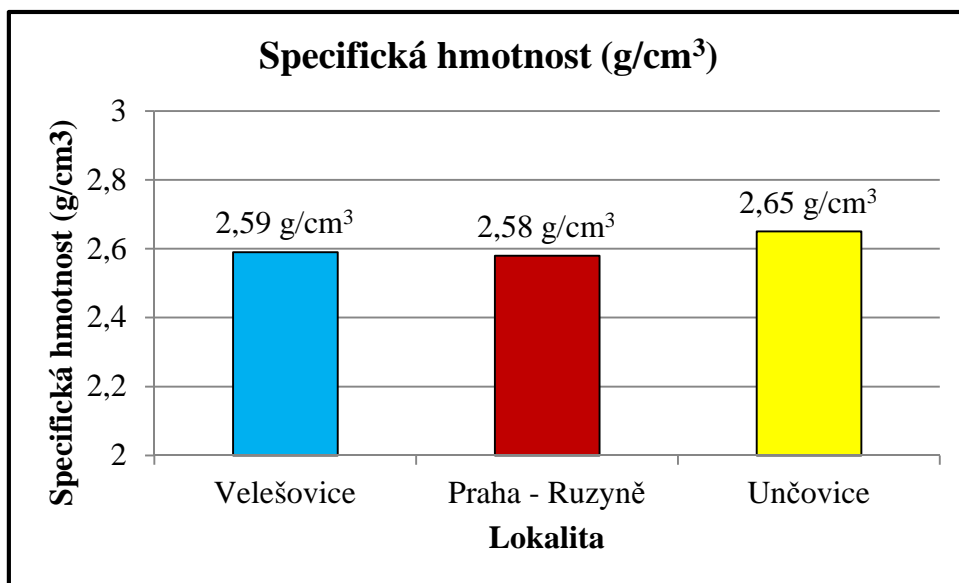
Strukturální stav humusového horizontu sledovaných lokalit zobrazuje tabulka č. 18.

Tabulka 18: Strukturální stav humusového horizontu

Hĺoubka (m)	Velešovice	OHR (CEK)	Praha	OHR (CEI Praha)	Unčovice	OHR (CEI Unčovice)
0-0,1	výborný	1,03	dobrý	1,32	nevyhovující	1,51
0,1-0,2	dobrý	1,28	nevyhovující	1,46	nevyhovující	1,6
0,2-0,3	dobrý	1,36	nevyhovující	1,58	nevyhovující	1,47

6.5 Specifická hmotnost

Z grafu č. 5 vidíme, že nejvyšší specifická hmotnost byla zjištěna u CEI (Unčovice), která byla $2,65 \text{ g/cm}^3$. Nejnižší specifická hmotnost byla naměřena u černoze země luvické (Praha) a to $2,58 \text{ g/cm}^3$. A u černoze země karbonátové byla naměřena $2,59 \text{ g/cm}^3$.



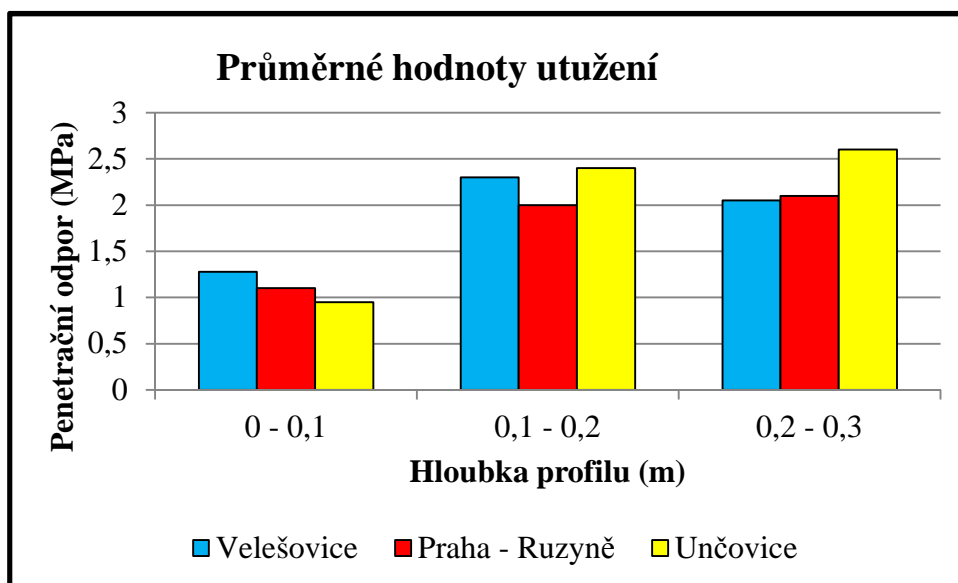
Graf č. 5: Měrná hmotnost sledovaných černoze země

6.6 Utužení půd

Graf č. 6 zobrazuje naměřené výsledky penetračního odporu sledovaných černoze země, podle kterých jsme hodnotili utužení. Kritické hodnoty dle Lhotského (1984) jsou pro jílovitohlinité půdy $3,2 - 3,7 \text{ MPa}$ a pro hlinité půdy $3,7 - 4,2 \text{ MPa}$. Můžeme konstatovat, že hodnoty penetračního odporu u všech černoze země narůstají s hloubkou. Kritické hodnoty podle Lhotského nebyly překročeny. Nejvyšší hodnoty penetračního odporu byly u CEI (Unčovice) a CEK (Velešovice). Podle Arshad a kol. (1997) hodnotíme sledované půdy následovně – černoze země luvická (Praha) má

penetrační odpor v hloubce do 20 cm střední a v hloubce 20 – 30 vysoký. Černozezem luvická (Unčovice) má penetrační odpor do 10 cm nízký a v hloubkách od 10 – 30 cm vysoký. A černozezem luvická (Velešovice) má též penetrační odpor v hloubce do 10 nízký a v ostatních hloubkách vysoký stejně jako Černozezem luvická (Unčovice).

Statisticky průkazné rozdíly u sledovaných půd nebyly zjištěny – viz Tab. 19.



Graf č. 6: Penetrační odpor sledovaných černozezemí

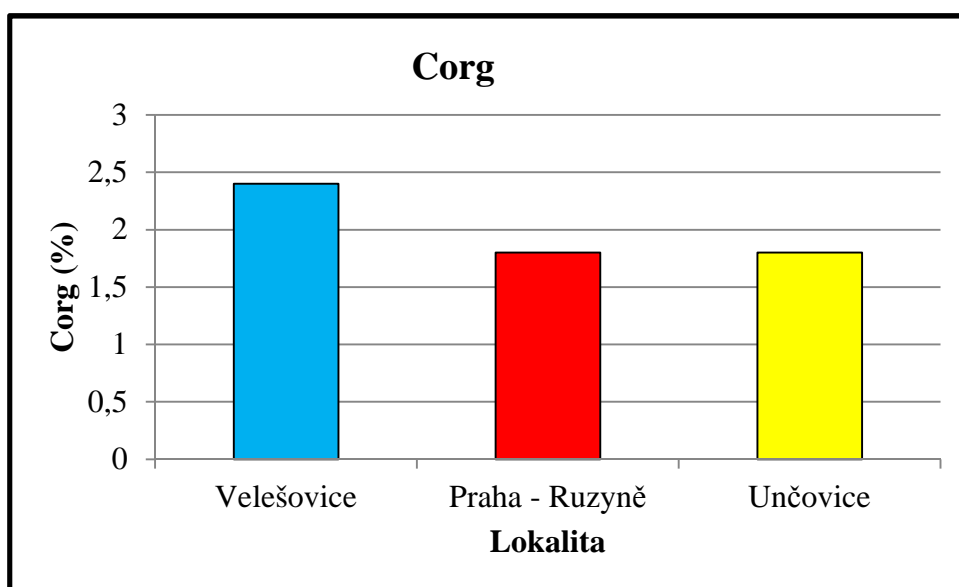
Tabulka č. 19: Porovnání hodnot penetračního odporu na sledovaných lokalitách

(ANOVA - jeden faktor)

Anova: jeden faktor - penetrační odpor (MPa)						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
CEk (Velešovice)	3	5,63	1,876666667	0,282633		
CEl (Praha)	3	5,2	1,733333333	0,303333		
CEl (Unčovice)	3	5,95	1,983333333	0,810833		
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	0,09442222	2	0,047211111	0,101398	0,90508856	5,14325
Všechny výběry	2,7936	6	0,4656			
Celkem	2,88802222	8				

6.7 Obsah celkového organického uhlíku

Graf č. 7 ukazuje, že největší množství organického uhlíku (Corg) bylo zjištěno u CEK, což bylo 2,4 %. Jedná se o střední hodnoty. U CEI (Praha) a CEI (Unčovice) byl zjištěný shodný obsah Corg a to 1,8 %. Jedná se o nízké hodnoty. Korschens (1999) uvádí, že zrnitostně lehčí půdy sekvestrují méně uhlíku než půdy zrnitostně těžší. Naše experimentální výsledky ukazují, že na zrnitostně těžších půdách dochází k výraznému úbytku organického uhlíku a humusu. Zjištěné hodnoty obsahu humusu považujeme za nízké a mají stále klesající tendenci.

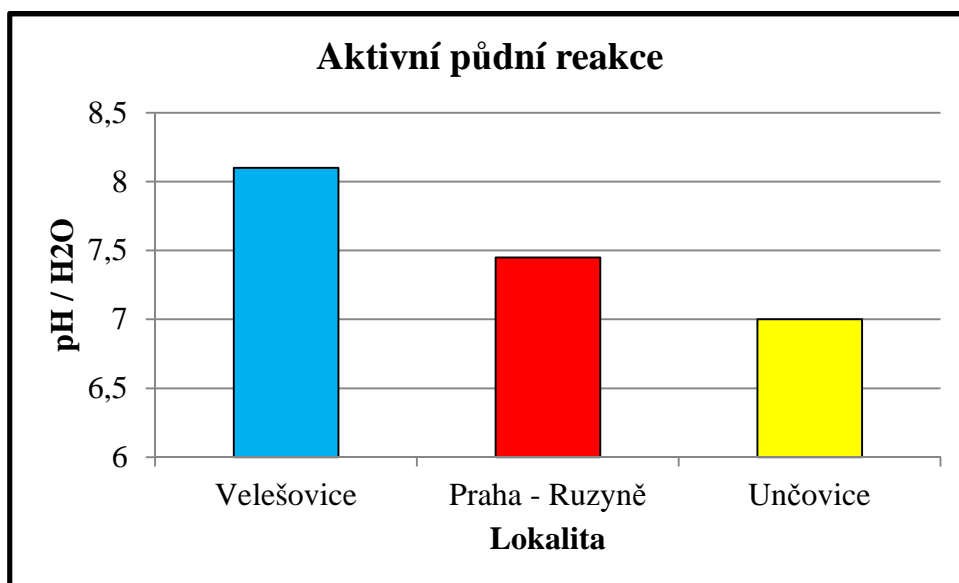


Graf č. 7: Organický uhlík u sledovaných černozemí

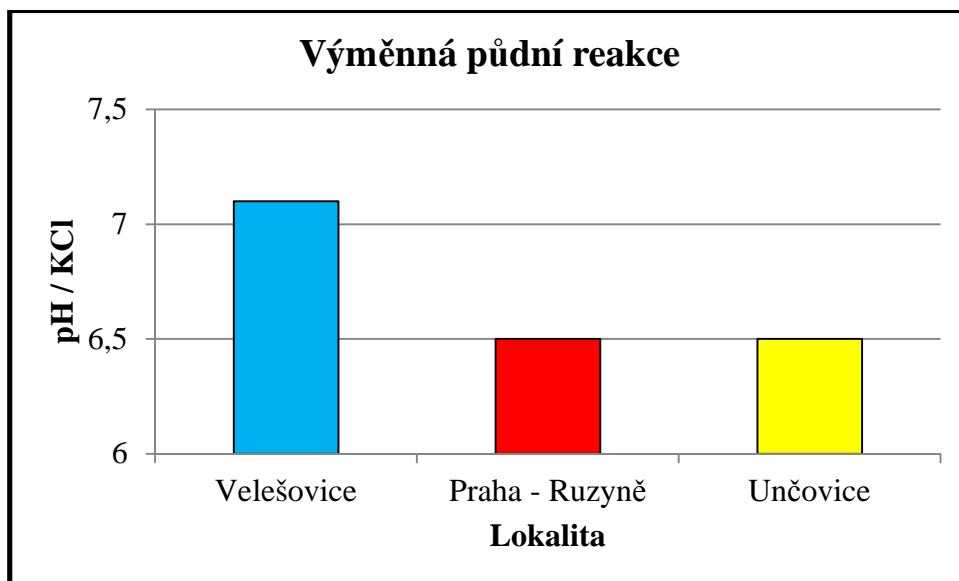
6.8 Půdní reakce

Graf č. 8a) uvádí hodnoty aktivní půdní reakci (pH/H₂O). Aktivní půdní reakce u sledovaných černozeří nejvyšší u CEK. Její hodnotu pH/H₂O = 8, lze považovat za alkalickou. Nejnižší reakce pH/H₂O = 7 byla u CEI (Unčovice) a je hodnocena jako neutrální. U CEI (Praha) byla půdní reakce slabě alkalická s pH 7,45. Výsledky aktivní půdní reakce jsou v souladu s celou řadou literatury, např. Jandák (2010) uvádí, že černozeří mají neutrální až slabě alkalickou reakci, což naše výsledky potvrzují.

Graf č. 8b) popisuje výměnnou půdní reakci (pH/KCl). Výměnná reakce byla slabě alkalická u CEK s pH/KCl = 7,1. Stejná výměnná půdní reakce byla zjištěna u CEI (Praha) a CEI (Unčovice) a to slabě kyselá s pH/KCl 6,5. Výsledky výměnné půdní reakce odpovídají typickým hodnotám pouze u CEK. Proces podkyselení je patrný u obou *černozeří luvických* a souvisí s poklesem obsahu humusu v půdě.



Graf 8a): Aktivní půdní reakce u sledovaných černozeří



Graf 8b): Výměnná půdní reakce u sledovaných černozemí

6.9 Tlumící schopnost půd

Hodnocení pufrací schopnosti sledovaných půd uvádíme v tabulce č. 17. Černozem karbonátová měla velmi silnou ústojčivost v kyselé oblasti a slabou vůči zásadám – viz příloha 6, Tab. 20., graf č. 9. Černozem luvická CEI (Praha) měla střední ústojčivost vůči kyselinám střední a vůči zásadám silná – viz příloha 7., Tab. 21., graf č. 10. Černozem luvická (Unčovice) měla ústojčivost vůči kyselinám i zásadám střední – viz příloha 8, Tab. 22., graf č. 11.

Celková ústojčivost sledovaných černozemí luvických byla silná a černozemě karbonátové velmi silná. Naše výsledky ukazují, že u obou černozemí luvických poklesla ústojčivost vůči kyselinám, což můžeme zdůvodnit poklesem hodnot výměnné půdní reakce (acidifikaci) a poklesem obsahu organické hmoty u sledovaných půd – viz příloha 9.

7 DIKUZE

Naše výsledky ukazují, že sledované černozemě jsou zrnitostně těžší a mají sklon k uléhání. Utužení ale výrazně umocňuje i člověk jejich intenzivním využíváním a nedodrčováním základních agrotechnických postupů, nízkou aplikací organických hnojiv a slabým vápnění. Dokumentují to nejen penetrometrická měření, ale i překročené kritické hodnoty pórovitosti, objemové hmotnosti redukované, pokles stability půdních agregátů, pokles obsahu humusu, zvýšení kyselosti a poklesu pufrační schopnosti vůči kyselinám. I když kritické hodnoty penetračního odporu nebyly překročeny, v podorničí se blíží ke kritickým hodnotám, proto předpokládáme, že další intenzivní využívání povede k nevratné degradaci těchto velmi úrodných půd se všemi negativními důsledky pro přírodní prostředí.

8 ZÁVĚRY

V souladu s cílem práce byly sledovány antropické změny v půdě u tří subtypů černozemí. Objektem studia byly – *černozezem karbonátová* (Velešovice), *černozezem luvická* (Praha) a *černozezem luvická* (Unčovice).

Výsledky našeho výzkumu nám dovolují vyslovit tyto závěry:

1. *Černozezem luvická* (Praha) – překračovala agroekologické limity u pórovitosti, objemové hmotnosti redukované, stabilita půdních agregátů je vysoká, klesla pufrční schopnost vůči kyselinám a snížil se obsah humusu v půdě. Zatímco u penetračního odporu nepřekročila agroekologický limit.
2. *Černozezem luvická* (Unčovice) – překračovala agroekologické limity u pórovitosti, objemové hmotnosti redukované, stabilita půdních agregátů je střední, klesla pufrční schopnost vůči kyselinám a snížil se obsah humusu v půdě. A nepřekračovala agroekologický limit u penetračního odporu.
3. *Černozezem karbonátová* (Velešovice) – překračovala agroekologické limity pouze u pórovitosti, stabilita půdních agregátů je vysoká, klesla pufrční schopnost vůči kyselinám a snížil se obsah humusu v půdě. Nepřekračovala stanovený agroekologický limit u penetračního odporu a objemové hmotnosti redukované.

9 POUŽITÁ LITERATURA

1. ARSHAD P. a kol., 1997: Long-term tillage effects on soil structure. Kanada, Fragmenta agronomica, 14-th. ISTRO conference Pulawy, Poland, 43 – 46 s.
2. BÁRTLOVÁ, J., 2013: *Makrostrukturální změny antropogenně zhutněných půd*. Disertační práce (in MS, dep. knihovna Mendelu v Brně), Mendelova univerzita v Brně, Brno, 54 s.
3. BIČÍK I. a kol., 2009: *Půda v České republice*, Ministerstvo Životního prostředí ČR a Ministerstvo Zemědělství ČR, Praha.
4. BUDŇÁKOVÁ, M., JACKO, K. (eds.), 2012: *Situační a výhledová zpráva - Půda*. Ministerstvo zemědělství, Praha, 100 s., ISBN 879-80-7434-088-8.
5. CULEK, M. a kol., 1996: *Biografické členění České republiky*. ENGIMA, 1. vydání, Praha, 347 s., ISBN 80-85368-80-3.
6. HLUŠIČKOVÁ, J., LHOTSKÝ, J., 1994: *Metodika: Ochrana půdní struktury před technogenní degradací*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 40 s., ISSN 0231-8470.
7. HRAŠKO, J. a kol., 1962: *Rozbory pôd*. Slovenské vydavateľstvo
8. HUBÁČKOVÁ, T., 2014: *Charakteristika černozemě karbonátové na lokalitě Velešovice*. Bakalářská práce (in MS, dep. knihovna Mendelu v Brně), Mendelova univerzita v Brně, Brno, 53 s.
9. HŮLA, J. a kol., 2010: *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Praha, 58 s., ISBN 978-80-86884-53-0.
10. JANDÁK J. a kol., 2003: *Cvičení z půdoznalství*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 92 s., ISBN 80-71757-733-2.
11. JANDÁK, J., POKORNÝ, E., PRAX, A., 2010: *Půdoznalství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 142 s., ISBN 978-80-7375-445-7.
12. KORSCHENS M., 1999: *Dynamika organické hmoty a optimální obsah humusu v orných půdách*. In: Bilancování organických látek a optimální zásoba organické hmoty v půdě. VURV, Praha, 60 – 74.
13. KUTÍLEK, M., 1978: *Vodohospodářská pedologie*. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha, 296 s.
14. KVĚCH O., 1995: *Osevní postupy*. Státní zemědělské nakladatelství, 1. vydání, Praha.

15. LAL R., 1994: *Research and development priorities*. In: LAL R., BLUM W. H. (eds.): *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton, CRC Press 1998a. 547 – 554.
16. LHOTSKÝ, J. a kol., 1984: *Soustava opatření k zúrodnování zhutněných půd*. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 39 s.
17. LHOTSKÝ, J., 2000: *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 61 s.
18. LUKAS, V. a kol., 2011: *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 34s., ISBN 978-80-7375-562-1.
19. MARTINEC, J. 2010. *Návrh klasifikace tlumivé schopnosti půd*. Agrotest fyto, Kroměříž, Brno, 98s. ISBN 978-80-904594-1-0.
20. McKONKEY, B. G. a kol., 2003: *Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils*. Soil and Tillage Research 74, 90 s.
21. NĚMEČEK, J. a kol., 2011: *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU, Praha, 2. upravené vydání, 93 s.
22. OLDEMAN L. R.: *The global extent of soil degradation*. In GREENLAND D. J., SZABOLCS I. (eds.): *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford, CAB International. 99 – 118, pôdohospodárskej literatúry, Bratislava, 335 s.
23. POKORNÝ, A. a kol., 2007: *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku*. Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s., 1. Vydání, Náměšť nad Oslavou, 27 s., ISBN 80-903548-5-8.
24. POSPÍŠILOVÁ L. a VLČEK V., 2015 -, *Chemické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy*. Mendelova univerzita, Brno, Acta Folia Iniversitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 87 s., ISBN 978-80-7509-244-1.
25. POSPÍŠILOVÁ, L., 2013: *Agrochemická opatření ke snížení vodní eroze na orné půdě s využitím zapravení organické hmoty. Charakteristika přírodních a půdních poměrů na vybraných lokalitách, které jsou součástí projektu NAZV QJ 1210263*. Mendelova univerzita v Brně, ÚAPMVR, Brno, 35 s., ISBN 978-80-7375-900-1.
26. POSPÍŠILOVÁ, L., TESAŘOVÁ, M., 2009: *Organický uhlík obhospodařovaných půd*. Acta Folia II., 1. Vydání, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 41 s., ISBN 978-80-7375282-8.

27. QUITT, E., 1971: *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav, Brno, 84 s.
28. REJŠEK, K., 1999: *Lesnická pedologie – cvičení*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 154 s., ISBN 80-7157-352-3.
29. SKLENIČKA, P., 2003: *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.
30. SOTÁKOVÁ S., 1988: *Podoznavectvo III*. Priroda, Bratislava, 114 s.
31. STACH J., 1995: *Základní agrotechnika*. ZF JU České Budějovice, 1. vydání, České Budějovice, 98 s., ISBN 80-7040-117-6.
32. SZOBATHOVA, N. (2010). *Chemické a fyzikálně - chemické vlastnosti humusových látek jako ukazatel antropogenního vlivu v ekosystémech*. Vědecká monografie. SPU Nitra. 96s. ISBN 978-80-552-0329-4.
33. ŠARAPATKA, B., 2014: *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci, 1. Vydání, Olomouc, 232 s., ISBN 978-80-244-3736-1.
34. ŠIMEK M., 2004: *Základy nauky o půdě: 4. Degradace půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, České Budějovice, 225 s., ISBN 80-7040-667-4.
35. ŠIMEK, M., 2007: *Základy nauky o půdě: 1. neživé složky půd*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, České Budějovice, 131 s.
36. ŠIMON, J., LHOTSKÝ, J., (1989): *Zpracování a zúrodnování půd*, Praha, 317s. ISBN: 80-209-0048-9
37. VOPRAVIL, J. a kol., 2010: *Půda a její hodnocení v ČR*. VÚMOP, 2. vydání, Praha, 148 s., ISBN 978-80-87361-05-4.
38. WALKLEY, A. & BLACK, T. A. (1934). An examination of Degtjarev method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29–38.
39. WALLINGA I. a kol., 1935 – 1944: *J. J. van der Spectrophotometric determination of organic carbon in soil*. Commun. Soil Sci. Anal., 23 (15-16).
40. WÁRALLYAY G.: *Soil databases for sustainable land use. Hungarian case study*. In GREENLAND D. J., SZABOLCS I. (eds.): *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford, CAB International 1994. 469 – 495.
41. ZBÍRAL, J. a kol., 1997: *Analýza půd III. Jednotné pracovní postupy*. ÚKZUZ, 1. Vydání, Brno, 150 s.

10 INTERNETOVÉ ZDROJE

1. Happy whispers, stupnice pH, online [cit. 2015-02-10]
Dostupné na:
<<http://www.happywhispers.lv/lv/sarmainie-un-skabie-produkti/>>
2. Taxonomický klasifikační systém půd ČR, půdní profil černozemě a její stratigrafie, online [cit. 2015-02-10]
Dostupné na:
<http://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showPudniSubtyp&id_categoryNode=177>
3. Taxonomický klasifikační systém půd ČR, mapa výskytu černozemí v ČR, online [cit. 2015-02-10]
Dostupné na:
<http://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showMapy&id_categoryNode=29>
4. Učebnice remediace, fyzikální válečky, online [cit. 2015-02-20]
Dostupné na:
<<http://ucebnice.remediace.cz/default.asp?oid=03020100002&fid=140>>
5. Winlab, pyknometr, online [cit. 2015-02-20]
Dostupné na:
<<http://www.winlab.de/experimentiergeraete/allgemeines-experimentiermaterial/dichtebestimmung/pyknometer-mit-thermometer>>
6. Kolektiv, struktura půdy, online [cit. 2015-02-26]
Dostupné na:
<<files.vhozpp.webnode.cz/200000030-294c42b3fb/Pdologie skripta 2.pdf>>
7. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, mapa utužení, online [cit. 2015-03-02]
Dostupné na:
<http://www.vumop.cz/sites/File/Katalog_Map/20130529_katalogMap_Limity_vyuziti.pdf>
8. Umad.de, pozitivní a negativní vlivy lidské činnosti na půdu, online [cit. 2015-04-15]
Dostupné na:
<http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B_22.pdf>

9. Vítej na zemi, pozitivní a negativní vlivy lidské činnosti na půdu, online [cit. 2015-04-15]
Dostupné na:
<http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=pozitivni_vlivy_lidske_cinnosti_na_pudu&site=puda>
10. Česká pozice, lidovky, degradovaná půda vodní erozí online [cit. 2015-04-18]
Dostupné na:
<http://ceskapozice.lidovky.cz/nenapadny-nepritel-jmenem-eroze-da5-/tema.aspx?c=A140723_144040_pozice-tema_paja>
11. Mapy, mapa obce Velešovice, online [cit. 2015-04-19]
Dostupné na:
<<http://www.mapy.cz/zakladni?x=16.8270037&y=49.1778357&z=11&source=mu ni&id=5996&q=Vele%C5%A1ovice>>
12. Mapy, mapa městské části Praha – Ruzyně, online [cit. 2015-04-19]
Dostupné na:
<<http://mapy.cz/zakladni?x=14.3028644&y=50.0939744&z=12&l=0&source=ward&id=13693&q=Praha-Ruzyn%C4%9B>>
13. Mapy, mapa obce Unčovice, online [cit. 2015-04-19]
Dostupné na:
<<http://mapy.cz/zakladni?x=17.1007347&y=49.6814026&z=13&source=ward&id=11754>>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

1. Obrázek 1: Půda (Foto: Michaela Indrová).
2. Obrázek 2: Degradace půdy vodní erozí (ceskapozice.lidovky.cz).
3. Obrázek 3: Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením (VÚMOP, v. v. i.).
4. Obrázek 4: Měření penetrometrického odporu ručním penetrometrem (Lukas, 2011).
5. Obrázek 5: Trojúhelníkový diagram dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček a kol., 2011).
6. Obrázek 6: Fyzikální (Kopeckého) válečky. (www.ucebnice.remediace.cz).
7. Obrázek 7: Pyknometry (www.winlab.de).
8. Obrázek 8: Stupnice pH (www.happywhispers.lv).
9. Obrázek 9: Výskyt černozemí v ČR (www.klasifikace.pedologie.cz).
10. Obrázek 10: Půdní profil černozemě a stratigrafie horizontů (www.klasifikace.pedologie.cz).
11. Obrázek 11: Mapa obce Velešovice (www.mapy.cz).
12. Obrázek 12: Půdní profil černozemě karbonátové Velešovice (Foto: Pospíšilová, 2012).
13. Obrázek 13: Mapa městské části Praha-Ruzyně (www.mapy.cz).
14. Obrázek 14. Půdní profil černozemě luviské (Žigová, 2008, nepublikovaná data).
15. Obrázek 15: Mapa obce Unčovice (www.mapy.cz).
16. Obrázek 16: Půdní profil černozemě luviské (Pokorný, 2008, nepublikovaná data).

12 SEZNAM TABULEK

1. Tabulka 1: Zrnitostní klasifikace podle Nováka (Novák, 1953).
2. Tabulka 2: Třídění struktury podle tvaru, vývinu hran a velikosti dle Soil Survey Staff (JANDÁK a kol., 2003).
3. Tabulka 3: Strukturní stav humusového horizontu (Kutílek, 1994).
4. Tabulka 4: Hodnoty specifické, objemové hmotnosti vysušené půdy a pórovitosti typické pro různé půdy (upraveno podle: Rowell, 1994, In: Šimek, 2007).
5. Tabulka 5: Rozdělení pórů podle velikosti a sacího napětí vody (Jandák a kol., 2010).
6. Tabulka 6: Optimální poměr kapilárních a nekapilárních pórů v půdě (Jandáka kol., 2010).
7. Tabulka 7: Hodnocení půd dle KVK (Pospíšilová, 2003).
8. Tabulka 8: Hodnocení půd dle V (Pospíšilová, 2003).
9. Tabulka 9: Hodnocení pH/H₂O dle Sotákové (1988).
10. Tabulka 10: Hodnocení pH/KCl dle Sotákové (1988).
11. Tabulka 11: Subtypy černozemí (upraveno dle Vopravil, 2010).
12. Tabulka 12 : Stanovení vodostálosti dle Bártlové (2013).
13. Tabulka 13: Kritické hodnoty pórovitosti dle Lhotského (1984).
14. Tabulka 14: Třídy penetračního odporu a její velikosti (Arshad a kol., 1997).
15. Tabulka 15: Kritické hodnoty penetrometrického odporu při dané vlhkosti dle Lhotského (1984).
16. Tabulka 16: Hodnocení tlumící schopnosti podle Martince (2010).
17. Tabulka 17: Porovnání hodnot pórovitosti na sledovaných lokalitách (ANOVA - jeden faktor).
18. Tabulka 18: Strukturní stav humusového horizontu.
19. Tabulka 19: Porovnání hodnot penetračního odporu na sledovaných lokalitách (ANOVA - jeden faktor).
20. Tabulka 20: Naměřené hodnoty pH pro *černozeť karbonátovou* (Velešovice).
21. Tabulka 21: Naměřené hodnoty pH pro *černozeť luvickou* (Praha).
22. Tabulka 22: Naměřené hodnoty pH pro *černozeť luvickou* (Unčovice).

13 SEZNAM GRAFŮ

1. Graf 1: Stabilita agregátů dle Adrianova sledovaných černozezí.
2. Graf 2: Zrnitostní složení sledovaných černozezí.
3. Graf 3: Pórovitost sledovaných černozezí.
4. Graf 4: Objemová hmotnost redukovaná sledovaných černozezí.
5. Graf 5: Specifická hmotnost u sledovaných černozezí.
6. Graf 6: Penetrační odpor sledovaných černozezí.
7. Graf 7: Organický uhlík u sledovaných černozezí.
8. Graf 8a): Aktivní půdní reakce u sledovaných černozezí.
9. Graf 8b): Výměnná půdní reakce u sledovaných černozezí.
10. Graf 9: Pufrační schopnost *černozezí karbonátové*
11. Graf 10: Pufrační schopnost *černozezí luvické (Praha)*
12. Graf 11: Pufrační schopnost *černozezí luvické (Unčovice)*

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CC – černice

CE – černozem

CEk – černozem karbonátová

CEl – černozem luvická

Corg – celkový organický uhlík

FK – fulvokyseliny

HK – huminové kyseliny

KCl – kyselina chlorovodíková

KVK – kationtová výměnná kapacita

OH – organická hmota

OHR – objemová hmotnost redukována

pF – sací napětí vody

pH – záporný dekadický logaritmus

pH/H₂O – aktivní půdní reakce

pH/KCl – výměnná reakce

POH – půdní organická hmota

S – obsah výměnných bází

V – stupeň sorpčního nasycení

ZPF – zemědělský půdní fond

15 PŘÍLOHY

Příloha 1: Zrnitostní složení sledovaných černozemí

Příloha 2: Pórovitost sledovaných černozemí

Příloha 3: Objemová hmotnost redukováná sledovaných černozemí

Příloha 4: Penetrační odpor sledovaných černozemí

Příloha 5: Půdní reakce sledovaných černozemí

Příloha 6: Pufrační schopnost *černozemě karbonátové* (Velešovice)

Příloha 7: Pufrační schopnost *černozemě luvické* (Praha)

Příloha 8: Pufrační schopnost *černozemě luvické* (Unčovice)

Příloha 9: Celková pufrační schopnost všech sledovaných černozemí