

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Marie Plasová

**Využití penetrometru k vyhodnocení míry utužení zemědělských půd v  
modelovém území**

The employment of cone penetrometer to detect soil compaction in a model area

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Praha 2018

## **Zadání bakalářské práce**

**Název práce:** Využití penetrometru k vyhodnocení míry utužení zemědělských půd v modelovém území

### **Cíle práce:**

- Vypracovat rešerši popisující různé druhy degradace půd a podrobněji se zaměřit na pedokompakci.
- Vyhodnotit hloubku utužení půdy v modelovém území na základě dat pořízených v terénu.
- Zhodnotit vztah mezi hloubkou utužení a půdní mozaikou v modelovém území.

**Zájmové území:** Zemědělská plocha v obci Kleneč u Roudnice nad Labem.

**Metody:** Zpracování rešerše na téma degradace půd se zaměřením na utužení půd. Sběr a vyhodnocení dat pořízených penetrometrem v zájmovém území.

**Datové zdroje:** Odborná literatura, články publikované v českých a zahraničních periodikách, ortofota mapy.cz a ESRI.

Datum zadání: 30. listopadu 2017

Jméno studenta: Marie Plasová

Podpis studenta: .....

Jméno školitele: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Podpis školitele: .....

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně a uvedla všechny informační zdroje a použitou literaturu. Tuto práci ani její podstatnou část jsem nepoužila k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 9. 7. 2018

.....  
Marie Plasová

### **Poděkování**

Děkuji svému školiteli RNDr. Tomáši Chumanovi, Ph.D. za trpělivost, vstřícnost, podnětné rady a za pomoc při získávání dat.

## **Abstrakt**

Půdu někteří autoři přirovnávají k neobnovitelnému zdroji, protože z časového hlediska člověka trvá její vývoj a obnovení dlouhou dobu, i tisíce let. Přírozené schopnosti půdy jsou však často degradovány; popis různých mechanismů této degradace se nachází v této práci. Pozornost je pak zejména věnována pedokompakci jakožto problému intenzivního zemědělství. Prevence v podobě zodpovědného přístupu k hospodaření se vyplácí mnohem více než nápravná opatření, která jsou ekonomicky náročná a půda po nich nedosahuje stejných kvalit jako před utužením. V modelovém území Kleneč se zkoumalo, zdali má barva mozaiky viditelná na leteckém snímku souvislost s hloubkou utužení. V terénu naměřené hloubky (měřilo se penetrometrem) a spektrální informace z leteckého snímku byly statisticky analyzovány metodou Spearmanova korelačního koeficientu a regresní analýzou. Korelace vyšla 37,6 % s p-hodnotou 0,44, regrese vychází pouhých 6,55 % s p-hodnotou 0,18. Tyto z určitého hlediska protichůdné výsledky mohou nést informaci, že zkoumaná závislost je nelineární. Proto se dospělo k závěru, že pro jasnější výsledky je třeba provést i půdní odběry a z nich laboratorní analýzy.

**Klíčová slova:** degradace půdy, utužení půdy, pedokompakce, penetrometr

## **Abstract**

There are some authors who claim that the soil is one of the nonrenewable resources, because pedogenesis is thousand-years-long process. Unfortunately, natural features of soil are often degraded – the mechanism of this is describe below in this work. The thesis focuses on one of the soil degradation processes – pedocompaction in context of intensive agriculture. It is much better to prevent the soil compaction then to try to fix it afterwards; the price is high and the soil after land development is still not as good as it originally was. In this work we used a model area in Kleneč in an attempt to examine the relationship between a colored mosaic seen on the ortophoto with data on profile depth gained from terrain measuring using cone penetrometer. The results were analyzed statistically using Spearman correlation coefficient and regression analysis. Their results are somewhat contradictory: the correlation is 37,6 % with p-value 0,44 and the regression is 6,55 % with p-value 0,18. The reason could be that the relationship between the phenomena is non-linear. For clearer conclusion, it would be better to do more analysis on the field and in the laboratory as well.

**Key words:** soil degradation, soil compaction, pedocompaction, penetrometer

## Obsah

Abstrakt .....	5
Abstract.....	6
1. Úvod a cíle bakalářské práce .....	9
2. Půda .....	10
2.1 Vznik půdy a půdotvorné procesy .....	10
3. Degradace půdy .....	11
3.1 Vodní eroze.....	12
3.2 Větrná eroze .....	12
3.3 Chemická degradace .....	13
3.4 Fyzikální degradace .....	15
4. Pedokompakce.....	16
4.1 Charakteristiky půdy ovlivňované pedokompakcí .....	17
4.1.1 Zrnitostní složení .....	17
4.1.2 Objemová hmotnost.....	18
4.1.3 Pórovitost.....	19
4.1.4 Struktura .....	19
4.1.5 Vlhkostní poměry .....	21
4.1.6 Půdní organická hmota .....	21
4.1.7 Chemické vlastnosti půdy.....	21
4.2 Přírodní pedokompakce .....	22
4.3 Antropogenní pedokompakce .....	22
4.4 Důsledky zhutnění .....	24
4.5 Preventivní opatření a možnosti nápravy.....	24
4.6 Utužení půd v České republice .....	26
4.7 Utužení půd ve světě.....	27
5. Penetrometrie a jiné metody k identifikaci utužení .....	29

6. Stručná charakteristika modelového území.....	30
7. Metodika.....	33
7.1 Terénní měření.....	34
7.2 Zpracování dat.....	35
8. Výsledky a diskuze.....	37
9. Závěr.....	40
Literatura a zdroje.....	41
Seznam použitých zkratek.....	46
Příloha.....	47

## 1. Úvod a cíle bakalářské práce

Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) je specializovaná agentura OSN, která se ve své agendě mimo jiné věnuje ochraně půdy a osvětě. V roce 1981 přijali její členové světovou chartu o půdě, již se v roce 2015 dostalo revize. Česká republika je členem této organizace a příslušným souhlasem se zavázala půdu chránit a chovat se k ní udržitelným způsobem. V našich zákonech se o půdě hovoří jako o základním přírodním bohatství, které je třeba chránit, protože její vznik a vývoj je velmi pomalý proces (v řádu tisíců let).

Tato práce se skládá z rešeršní a praktické části. V rešerši se věnuje degradaci půd obecně se zaměřením na pedokompakci – její příčiny, důsledky a prevenci. Zmiňuje se o situaci utužení v České republice a ve světě. V praktické části se věnuje zpracování dat z modelového území a jejich vyhodnocení.

V praktické části práce je cílem vyhodnotit hloubku utužení půdy v modelovém území. Je to část využívané zemědělské půdy v obci Kleneč nedaleko Roudnice nad Labem. Výhodou tohoto území je, že by se zde měl nacházet jediný substrát, bohužel je ale celá plocha obhospodařovaná nejednotně. Pole je také pokryté půdními mozaikovitými útvary různé barvy a intenzity zbarvení. Podle počáteční domněnky se předpokládalo, že místa, která jsou tmavší, obsahují více humusu, lépe tak zadržují vodu a jejich míra utužení je menší než u míst, která jsou světlá. Pakliže je míra utužení v tmavých místech menší mělo, by zde být možné proniknout měřícím přístrojem hlouběji. Data se pořizovala v terénu přístrojem Eijkelkamp Penetrologger. Tato část práce má tedy za cíl zhodnotit vztah mezi hloubkou utužení a barevnou mozaikou detekovanou na leteckém snímku (RGB 8-bit mód), případně domněnku o této závislosti vyvrátit.

## 2. Půda

V. V. Dokučajev, který je považován za zakladatele pedologie, charakterizuje půdu v díle Ruská černozem (1883) jako samostatný přírodně-historický útvar, který vzniká a vyvíjí se zákonitým procesem v důsledku působení půdotvorných činitelů. Je to složka ekosystému nezbytná pro život na Zemi. Slouží jako zdroj a zásobárna živin, vody, pomáhá filtrovat a odstranit škodlivé látky, je důležitou součástí cyklů chemických prvků (Sposito 2017). Půda tvoří nejsvrchnější část zemské kůry, pedosféru.

### 2.1 Vznik půdy a půdotvorné procesy

Pro vlastnosti a charakter půdy jsou určující tzv. půdotvorné činitele, které dělíme na půdotvorné faktory a podmínky. Faktory působí přímo při vzniku půd – půdotvorný substrát, biologický a klimatický faktor, činnost vody a člověka. Podmínky ovlivňují faktory a jsou jimi reliéf a čas. Kombinací faktorů a podmínek vznikají výsledné vlastnosti a charakter půdy. Základem je půdotvorný substrát, což je zvětralá matečná hornina in situ nebo přemístěná zvětralina. Její složení má vliv na to, jak rychle budou probíhat další procesy ovlivňované konkrétními faktory. Půdotvornými procesy vznikají půdní horizonty, které se liší svými znaky – barvou, zrnitostí, strukturou, pórovitostí, prokořeněním apod. Půdotvorných procesů je celá řada, stejně jako na jejich základě vzniklých genetických horizontů (Tomášek 2007). Podle Tomáška (2007) patří mezi základní půdotvorné procesy zvětrávání, humifikace, eluviace, iluviace, oglejení a glejový proces, solončakování a slancování. Zákonitý sled horizontů (stratigrafie půdního profilu) charakterizuje jednotlivé půdy, které třídí dle různých znaků tzv. půdní klasifikační systém.

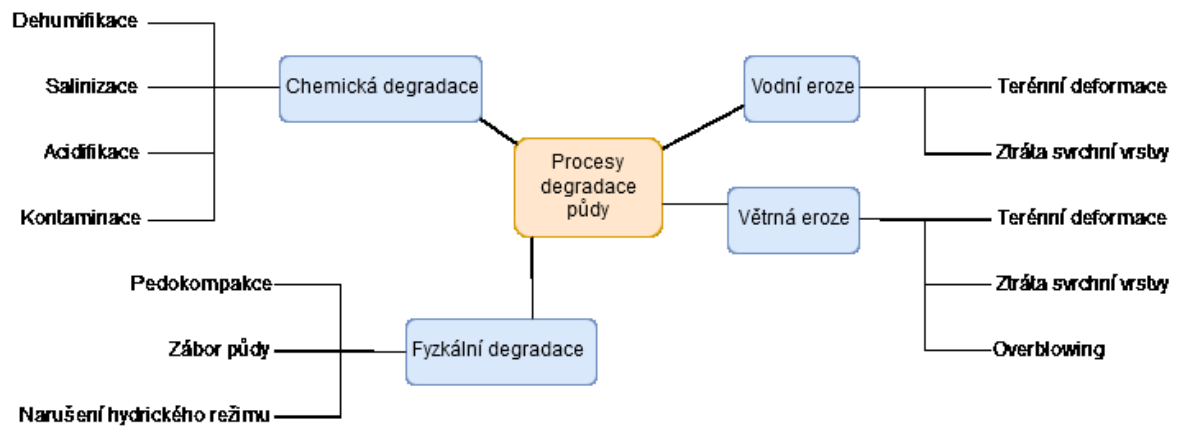
Těchto klasifikačních systémů existuje velké množství. Mezi ty nejznámější a používané v oboru jako standard (Kozák, Němeček 2009) se řadí Světová klasifikace půd WRB, Soil Taxonomy, Systematik der Böden Deutschland a Référentiel Pedologique. Náš nejnovější Taxonomický klasifikační systém půd ČR (TKSP ČR) z roku 2011 navazuje na starší Morfogenetický klasifikační systém ČSSR a zároveň je více kompatibilní s výše zmíněnými klasifikačními systémy (Kozák, Němeček 2009). K tomu slouží především referenční třídy, které jsou seskupovány podle hlavních rysů geneze. Do tříd spadají půdní typy, které jsou právě charakterizovány diagnostickými horizonty a uspořádáním (Němeček 2011).

### 3. Degradace půdy

Degradací půdy označujeme proces změny jejího zdravotního stavu vedoucí ke ztrátě úrodnosti. Dochází ke znehodnocování jejích chemických, fyzikálních a biologických vlastností (Šarapatka 2014). Současné příčiny jsou především antropogenního původu, ale mohou být podníceny i přírodními procesy. Jednotlivé typy degradace mohou probíhat samostatně, ale ve většině případů probíhají současně, navzájem se doplňují či jeden proces dá možnost vzniknout dalšímu. V mnoha případech se jedná z pohledu člověka o procesy nevratné (Vopravil, Khel, Novák 2010).

Oldeman (1992) v rámci projektu GLASOD (Global Assessment of Human-induced Soil Degradation) rozlišuje čtyři kategorie příčinných procesů a ty dále dělí do konkrétnějších podkategorií. Jedná se o vodní a větrnou erozi, chemickou degradaci a fyzikální degradaci. První dva procesy lze popisovat jako aktivní, kdy voda a vítr svou silou půdu přemísťují. Druhé dvě kategorie, chemická a fyzikální degradace, probíhají na místě.

Podkategorie erozních procesů způsobených jak vodou, tak větrem jsou velmi podobné. Máme zde ztrátu svrchní vrstvy a terénní deformace, v případě větrné eroze jev, při kterém váté částice překrývají povrch (overblowing) a v případě vodní eroze koluviaci. Dosáhne-li mocnost akumulovaného humusového horizontu nad 25 cm, vznikají koluvizemě (Němeček 2011). Větrm jsou více ohrožené rozlehlé planiny, vodou svahy. U chemické degradace se setkáváme s jevy acidifikace a salinizace, ztrátou organické hmoty a obecně s kontaminací půdy. Fyzikální degradace zahrnuje utužení půdy, její znehodnocení trvalou zástavbou či pokrytí nepropustným povrchem (sealing), podmáčení půd v důsledku lidské činnosti, tvorbu krust a aridizaci. Detailnější popis výše vypsáných příčinných procesů, důsledků a případných protiopatření je uveden v příslušných kapitolách. Přehledné shrnutí ukazuje Graf 1. Shodnou kategorizaci je možné najít i v publikaci Ritsema et al. (2005).



Graf 1: Příčinné procesy degradace (podle Oldeman 1992).

### 3.1 Vodní eroze

Vodní eroze vzniká, když je síla vodního proudu větší než síly, které udržují částice (Demek 1987). Postupným rozrušováním a transportem těchto částic vzniká plošný splach, při kterém se ztrácí svrchní vrstva půdy. Rozhodující faktory ovlivňující intenzitu a rozsah poškození půdy se liší i podle klimatických oblastí. V našich podmínkách je to zemědělská činnost v kopcovitém terénu umocněná špatným výběrem plodin. V tropických oblastech to je vysoká intenzita srážek v kombinaci s obhospodařováním míst pro zemědělství nevhodných. Terénní deformace se pohybují od stružek a ronů přes strže až ke vzniku bahenních proudů (Buzek 1983).

Ze všech typů degradace postihuje právě vodní eroze největší území a odhadované celosvětové ztráty půdy činí zhruba 20–30 Gt·rok<sup>-1</sup> (FAO a ITPS 2015). U nás je dle situační a výhledové zprávy (Ministerstvo zemědělství 2015) ohroženo více než 50 % zemědělské půdy a maximální ztráta se pohybuje okolo 21 mil. t·rok<sup>-1</sup>. Pro evropskou osmadvacítku (bez Malty, Kypru a Řecka) byly v roce 2014 průměrné ztráty odhadnuty na 2,76 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, přičemž za rizikový se považuje odnos již více jak 1 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, uvažuje-li se tvorba půdy v rozmezí 0,3–1,2 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (Stolte et al. 2015).

### 3.2 Větrná eroze

Jak již bylo zmíněno výše, větrná eroze se v důsledcích od té vodní moc neliší. Ke ztrátě svrchní úrodné vrstvy a k vnitřním deformacím se přidává sedimentace unášeného materiálu. Dle síly větru je možné větrnou erozi rozlišit na částice unášené saltací a prachové bouře. Nejohroženějšími místy jsou aridní oblasti bez vegetace, rozsáhlé

pozemky bez přírodních zábran, odvodněné plochy. Místa s výskytem písčitéjších až hlinitých půd jsou o tuto jemnou složku ochuzována a dochází k hromadění skeletu (Šarapatka 2014, Buzek 1983). Sedimentace unášeného materiálu má za následek zanášení vodních toků, narušení infrastruktury, ale také poškození již vzrostlých plodin (Oldeman 1992).

V České republice patří tento druh degradace mezi méně se vyskytující, ale přesto podstatný problém, poněvadž postihuje ty nejúrodnější půdy na Moravě a v Polabí (Ministerstvo zemědělství 2015). V celosvětovém měříku se jedná o velký příspěvek k desertifikaci (FAO a ITPS 2015). V Evropě jsou nejzasáženějšími místy východní Nizozemsko a Anglie, severní Německo a Pyrenejský poloostrov s odhady od  $0,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  do  $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  za výjimečných událostí. Bohužel výstižnější údaje pro celou Evropu chybí (Stolte et al. 2015). Za zmínku stojí také nově se vytvářející poušť Aralkum na místě bývalého Aralského jezera. Kdysi čtvrté největší jezero světa bylo téměř vysušeno nadměrným zavlažováním okolních bavlníkových polí. Směs solí a usazených chemikálií je větrem roznášena do dalekého okolí. Prokazatelně se zvýšil počet respiračních chorob, ledvinových onemocnění i kojenecká úmrtnost (Šobr 2012, Píšková 2011).

### 3.3 Chemická degradace

Zahrnuje širokou škálu dílčích procesů, kdy se jedná o komplexní problém. Půdě odeberáme nějakou složku z její chemické soustavy (např. monokulturní pěstování plodin) či destabilizujeme její chemickou rovnováhu přidáváním látek, ať už podpůrných nebo škodlivých, v nepřiměřeném množství (Ritsema et al. 2005).

Důležitou složkou půdy je obsah organické hmoty. Je to soubor všech odumřelých organických látek rostlinného a živočišného původu v různém stupni rozkladu. Chemické reakce probíhající v této vrstvě jsou podstatné pro tvorbu humusu. Jeho kvalita a množství přímo ovlivňuje produkci, půdní biodiverzitu, koloběh živin a vody, stabilitu struktury (Khel, Vopravil, Novák 2010). Půda o tuto složku přichází především nevhodným způsobem hospodaření, kdy se zvyšuje mineralizace, nebo erozí, změnou půdního klimatu (VÚMOP 2018).

Mezi další typ chemické degradace patří acidifikace. Definuje se jako snížení pufruční schopnosti půdy. Příčinou jsou již vstupní podmínky jako klimatický faktor, matečná hornina, vegetace a ve sníženém pH probíhají procesy přírodního charakteru –

ilimerizace, podzolizace (Lundström, van Breemen, Bain 2000, Němeček, Smolíková, Kutílek 1990). Okyselování slabou kyselinou uhličitou ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), která se na zem dostává ve formě srážek, je přirozené, ale člověk svou činností přirozené procesy urychluje. Antropogenní příčiny jsou důsledkem intenzivního průmyslu a hospodářského rozvoje především ve druhé polovině 20. století, kdy se do ovzduší začalo dostávat mnoho polutantů. Vypouští se nadměrná množství oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) a oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Ty v atmosféře reagují a vytvářejí kyselinu sírovou ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ). Svou zejména zemědělskou činností dodává člověk do atmosféry také amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Ač se v atmosféře chová jako „tlumič“ kyselého pH, svou reakcí s kyselinami vytváří jejich amonné soli a při dopadu na zem svými chemickými vlastnostmi amonný ion ( $\text{NH}_4^+$ ) k acidifikaci půdy výrazně přispívá. Na kyselé depozici se tedy podílí jak  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  tak i jejich soli. (Hruška, Kopáček 2009, Blake 2005). Tyto látky ale nejsou jedinou příčinou acidifikace půdy. Jako další zdroj lze jmenovat například kyselý působící hnojiva (především ta průmyslová), intenzivní závlahy a monokultury. Rychlost, s jakou se acidifikace rozvíjí, záleží na intenzitě okyselování a na charakteru matečné horniny. Důsledkem může být snížení výnosu, zvýšení rozpustnosti toxických prvků, které se pak dostávají do rostlin, zhoršení kvality humusu, negativní ovlivnění půdní struktury. V České republice je tímto typem degradace vysoce ohroženo 43 % půd (Ministerstvo zemědělství 2015).

Salinizace je proces akumulace rozpustných solí. Důležitou roli zde hrají klimatické podmínky a chemické složení půdy. Jev je typický spíše pro aridní prostředí, v našich podmínkách se jedná o marginální problém (Ministerstvo zemědělství 2018, Kozák, Němeček 2009).

Nejširší podkategorií chemické degradace je kontaminace půd, prakticky výhradně způsobená lidskou činností. Důsledky se netýkají jen zamoření konkrétní půdy, ale škodlivé látky dále přecházejí do podzemních vod, vstupují do potravních řetězců nebo přímo ohrožují své okolí. Za příklady příčin můžeme považovat různé nehody s nebezpečnými látkami, imise, vypouštění odpadních vod či nadměrné hnojení a užívání pesticidů. Častou zátěží tak jsou těžké kovy (Zn, As, Cd, Pb, Hg) a perzistentní organické polutanty, látky většinou produkované člověkem a dlouhodobě přetrvávající v životním prostředí; aromatické uhlovodíky (benzo(a)pyren, fenantren, toluen a podob.), chlorované uhlovodíky (PCB, HCB a další), DDT, ropné látky. V České republice se zátěž omezuje na konkrétní ohrožené oblasti (Ministerstvo zemědělství 2018). V globálním měřítku se tato

problematika týká především rozvojového světa, kde obvykle není přítomna dostatečná legislativa a obeznamenost tamních obyvatel (FAO a ITPS 2015).

### **3.4 Fyzikální degradace**

Jedním z procesů fyzikální degradace je zábor. Proces čistě antropogenního původu, kdy je půda nevratně zničena těžbou nerostných surovin, zastavěním a často pokryta nepropustným povrchem. V Evropě je rychlost úbytku půdy vysoká a stále se zvyšuje. Bohužel se také staví v těch nejúrodnějších oblastech (Kozák, Němeček 2009). Další v řadě je narušení hydrického režimu. Může se jednat o cílené odvodňování nebo podmáčení způsobené lidskou činností v nedalekém okolí (Oldeman 1992). Výsledkem narušení hydrického režimu a zastavování půdy je zrychlený odtok vody z krajiny, jehož negativní dopady jsou nejvíce citelné v obdobích sucha a při přívalových srážkách. Do kategorie degradací, které ovlivňují hydrický režim půd, spadá také pedokompakce. Jejímu podrobnějšímu popisu je věnována následující kapitola.

#### 4. Pedokompakce

Pedokompakce je proces poškozování fyzikálních vlastností půdy, které pak negativně ovlivňují její produkční a biologické funkce (Vopravil, Khel, Novák 2010). Může k tomu docházet jak přírodními procesy, tak v důsledku lidské činnosti.

Při zhutňování se degraduje zejména půdní struktura, čímž se naruší vodní a vzdušný režim. Zvýší se objemová hmotnost a sníží se pórovitost, schopnost infiltrace a retence vody. Mezi hlavní činitele, které ovlivňují zhutnění, patří zrnitost, půdní vláhá, obsah organických látek, struktura a osevní postup. Proces také probíhá rozdílně v ornici a podornici. Půdy s vyšším obsahem jemné frakce (jíl, prach) jsou k pedokompakci náchylnější než půdy s hrubou frakcí (Novák 2000). Mezní hodnoty pro jednotlivé půdní druhy včetně penetračních odporů za dané vlhkosti jsou uvedeny v Tabulce 2. Zvyšování půdní vláhý snižuje odolnost proti zhutnění (Trunečka 2002). Přímá úměrnost platí v případě množství a kvality obsažených organických látek: čím více humusu, tím je odolnost proti zhutnění větší. Z tohoto hlediska jsou nejodolnější organozemě (Šarapatka 2014). Z hlediska typu půdní struktury je například odolnější struktura prismatická než polyedrická, nejnáchylnější je pak deskovitá struktura, která je například u eluviálního horizontu, jinak se může vyskytovat ve všech částech půdního profilu (Vopravil 2011, Lhotský 2000). Jako nejjednodušší prevenci utužení autoři doporučují v osevním postupu střídat plodiny s ohledem na jejich vlastnosti, kvůli zachování úrodnosti a zdravého životního prostředí a konat práce za vhodných vlhkostních podmínek (Vopravil, Khel, Novák 2010, Šnobl, Pulkrábek 2007). Podle záměru pěstování nebo podmínek je možné uplatnit specializované osevní postupy pro obilí, brambory, cukrovou řepu atd. Zařazovat plodiny s velkým množstvím posklizňových zbytků (vojtěška setá, jetel luční), pěstovat meziplodiny, uplatňovat zelené hnojení, z důvodu zpřístupnění a dostatku živin pro další plodiny (Moudrý 2007).

Půdní vlastnost	Půdní druh					
	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnost redukovaná [g·cm <sup>-3</sup> ]	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost [%]	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimální vzdušnost [% obj.]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Penetrační odpor [MPa] při vlhkosti [%]	2,8 - 3,2	3,3 - 3,7	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	6
	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10

Tabulka 1: Mezní hodnoty pro zhutnělé půdy (Lhotský 2000).

#### 4.1 Charakteristiky půdy ovlivňované pedokompakcí

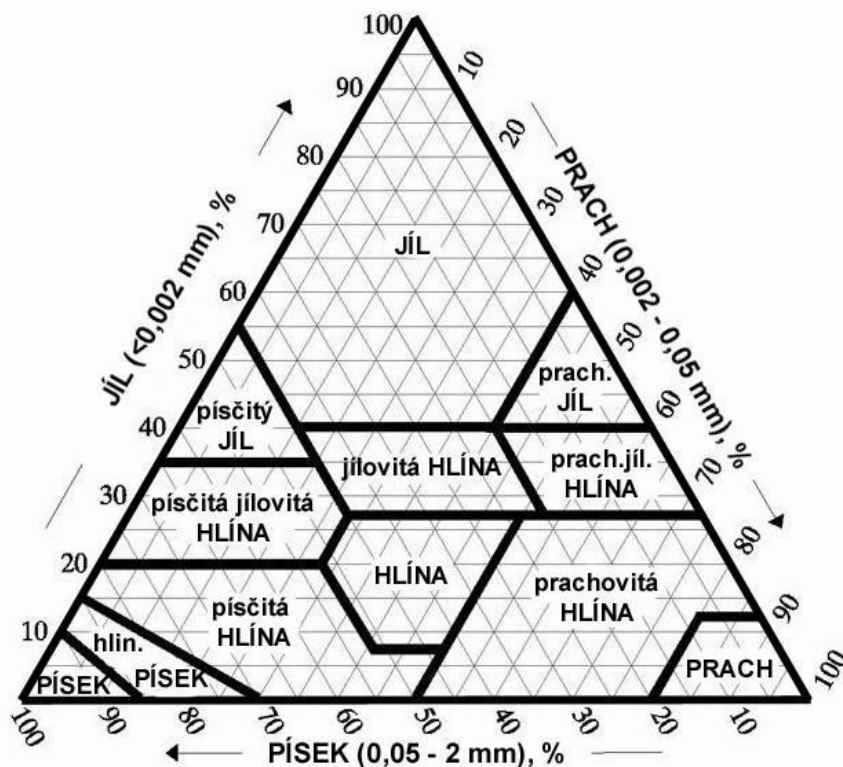
V této kapitole budou popsány vybrané charakteristiky půdy ovlivňované pedokompakcí, které jsou důležité mimo jiné i pro její posouzení. Z fyzikálních charakteristik to jsou zejména zrnitost, objemová hmotnost, pórovitost, struktura a vlhkostní poměry. Dále chemické vlastnosti a organická hmota.

##### 4.1.1 Zrnitostní složení

Někdy označované jako textura, se podle obsahu jednotlivých frakcí (písek, prach, jíl) v jemnozemi (částice pod 2 mm) určuje půdní druh. U nás nejrozšířenější klasifikace podle V. Nováka dělila zeminu dle procentuálního zastoupení frakce pod 0,01 mm do sedmi skupin (viz Tabulka 1) (Šarapatka 2014). Pro detailnější zkoumání se používá trojúhelníkový diagram NRSC USDA, který je představen na Obrázku 1 (Němeček 2011).

Půdní druh		Obsah frakce v jemnozemi pod 0,01 mm (%)
lehké	písčité	0–10
	hlinitopísčité	10–20
střední	písčitohlinité	20–30
	hlinité	30–45
těžké	jílovitohlinité	45–60
	jílovité	60–75
	jílové	nad 75

Tabulka 2: Zrnitostní složení podle V. Nováka (převzato z Tomášek 2007).



Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (NRSC USDA, převzato Němeček 2011).

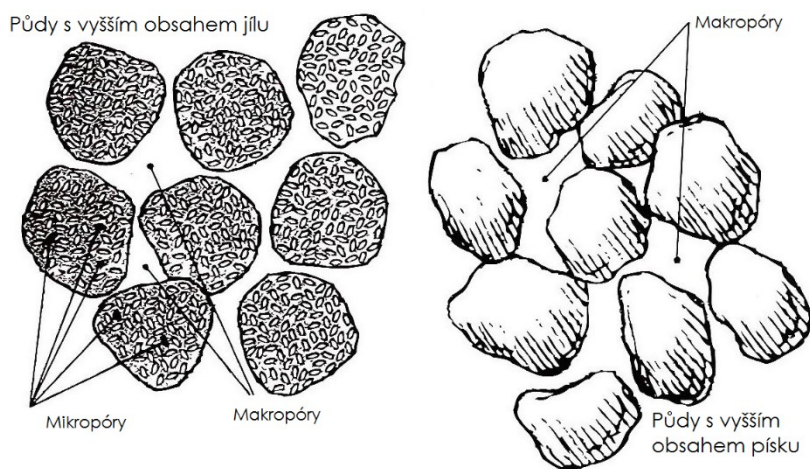
#### 4.1.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je hmotnost daného objemu půdy v přirozeném uložení, k odběru obvykle slouží Kopeckého válečky o objemu  $100\text{ cm}^3$ . Výsledek nese informaci o poměru pevných částic půdy a pórů. Čím je obsah pórů vyšší, tím je objemová hmotnost menší a podobně platí, že půdy s vyšším obsahem jemné frakce mají nižší objemovou hmotnost než půdy s hrubou frakcí. Hodnoty u minerálních půd kolísají v rozmezí  $0,8\text{--}1,8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Pokorný, Šarapatka, Hejátková 2007).

Objemovou hmotnost půdy je možné měřit v redukovaném nebo neredukovaném stavu. Objemová hmotnost redukovaná je vysušený vzorek při  $105\text{ }^\circ\text{C}$ , získaná hodnota je stálější a je možné porovnávat odběry mezi sebou během roku (Šarapatka 2014). Směrem do spodiny hodnota narůstá a indikuje kyprost či ulehlost (Pokorný, Šarapatka, Hejátková 2007). Objemová hmotnost neredukovaná je vlhká půda, jejíž naměřené hodnoty se mění v průběhu roku. Utužením se objemová hmotnost zvyšuje, protože na stejnou jednotku objemu je natěsnáno více částic; zmenšením pórovitosti a rozpadem struktury.

### 4.1.3 Pórovitost

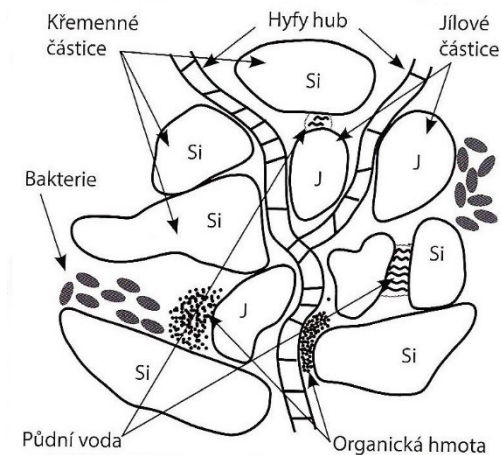
Volné prostory v půdě, tzv. póry, umožňují proudění vzduchu a vody. Jsou důležité pro zvětrávací a půdotvorné procesy, probíhají v nich látkové přeměny, vývoj kořínků a reakce mezi mikroorganismy a kořeny rostlin (Pokorný, Šarapatka, Hejátková 2007). Každý půdní druh má jiné složení a velikost přítomných pórů. Obecně v povrchových horizontech dosahuje pórovitost 40–60 % (Vopravil 2011). Jak píše Šarapatka (2014), platí, že půdy s převahou jílnatých částic mají pórů hodně, ale jsou špatně provzdušněné, protože jsou zastoupeny hlavně tzv. mikropóry. Naopak u písčitéch frakcí je pórovitost nižší, ale vyskytuje se u nich více makropórů a vzduch a voda zde mohou proudit lépe. Přehledně rozdíl ukazuje Obrázek 2. Množství pórů se vyjadřuje v procentech a vypočítá se nejnadhěji jako poměr objemové hmotnosti redukované a měrné hmotnosti (hodnota závislá na složení půdy) (Suchara 2007). Pórovitost může být ovlivňována osevím a pracovním postupem (Pokorný, Šarapatka, Hejátková 2007). Při utužení jsou póry stlačovány a zmenšovány, případně zcela zanikají, snižuje se tím retenční a výměnná kapacita.



Obrázek 2: Uspořádání pórů u různých půdních druhů (Brady, Weil 2002, převzato z Šarapatka 2014).

### 4.1.4 Struktura

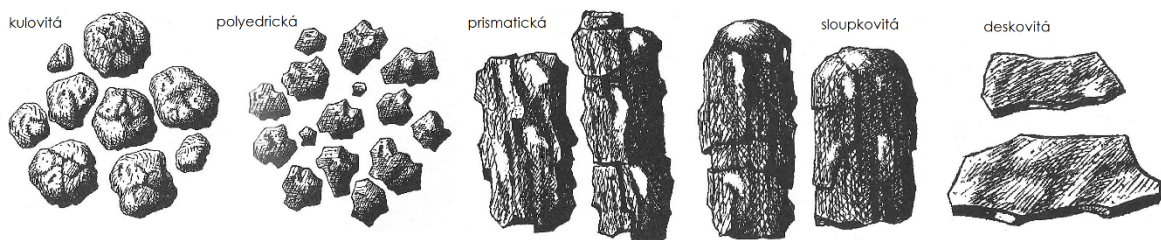
Vzniká stmelením půdních částic do větších celků – agregátů (viz Obrázek 3).



Obrázek 3: Struktura půdního agregátu (Šantrůčková, Malý, Cienciala 2014).

Výsledkem je prostorové uspořádání. Při tvorbě hraje důležitou roli obsah a složení přítomných látek jako množství jílu, organické hmoty a různých iontů – přítomnost karbonátů a seskvioxidů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) představuje stabilizující prvek, naopak vyšší přítomnost  $\text{Na}^+$  má už negativní vlastnosti. Uplatňují se zde procesy fyzikální, chemické i biologické. Pevnost stmelení vypovídá o stabilitě struktury, může informovat o probíhajících procesech v půdě. Stablní struktura lépe odolává negativním vlivům (Tomášek 2007). Síla stability se projevuje reakcí na ovlhčení. Dle tvaru a velikosti rozlišujeme strukturu kulovitou, polyedrickou, prismatickou, sloupkovitou a deskovitou (Šarapatka 2014). Jejich přibližné zobrazení je na Obrázku 4, jedná se o reprezentativní náčrty, poněvadž se ještě dále dělí podle velikosti. Kromě strukturního stavu je možné ještě rozlišit i bezstrukturní stavy. Pro extrémně lehké půdy rozlišujeme tzv. elementární stav, kdy se netvoří agregáty, a pro extrémně těžké půdy slitý stav, kdy jsou půdní částice slity v jednu masu.

Stav utužení se někdy označuje jako degradace či rozpad půdní struktury. V extrémním případě se rozpadají půdní agregáty, čímž zanikají póry.



Obrázek 4: Typy půdní struktury (Tomášek 2007).

#### **4.1.5 Vlhkostní poměry**

Ovlivňují rozpad půdní struktury. Klasifikace vymezuje vlhkost půdy od vyprahlé po mokrou, kdy z ní voda odkapává. Při zvyšující se vlhkosti půda bobtná, při vysychání se naopak smršťuje. Změny objemu u písčitých půd mohou dosahovat cca 3 %, ale u jílovitých až 33 % (Šarapatka 2014). Stav vlhkosti je důležitý zejména v době polních prací (Šnobl, Pulkrábek 2005).

#### **4.1.6 Půdní organická hmota**

Půdní organickou hmotu tvoří odumřelé látky rostlinného a živočišného původu v různém stupni rozkladu. Výchozí humusový materiál podléhá procesům přeměny – mineralizace, humifikace, ulmifikace (rašelinění). Při těchto procesech se syntetizují huminové látky – fulvokyseliny, huminové kyseliny, humin a spolu s rozloženými organickými látkami tvoří vlastní humus (z velké části je tvořen organickým uhlíkem). Mocnost humusového horizontu a jeho kvalita se liší mezi půdními typy a je základním faktorem úrodnosti. Půdy s vyšším obsahem humusu lépe odolávají utužení (Šarapatka, Dlapa, Bedrna 2002). Pomáhá tomu i půdní fauna, která v kvalitním humusu žije a má příznivý vliv na provzdušnění. Množství organické hmoty má vliv na sorpční kapacitu půdy, koloběh vody a živin (VÚMOP 2018).

#### **4.1.7 Chemické vlastnosti půdy**

Největší zastoupení v půdě mají prvky kyslík, křemík, hliník a železo. Důležité minerální látky pro rostliny jsou dusík, fosfor a draslík v jejich přístupných formách. Přes sérii chemických reakcí se z nepřístupných forem stanou přístupné pro příjem rostlinami. Další prvky důležité pro správnou funkci biochemických cyklů rostlin jsou vápník, hořčík, síra a sodík. Ve stopovém množství, ale rovněž důležitými jsou například bór, molybden, mangan, měď, zinek. U některých z těchto prvků dochází k bioakumulaci a mohou se poté stát rizikovými (Šarapatka 2014).

Každá chemická reakce v půdě probíhá za jiných reakčních podmínek. To především ovlivňuje pH, na kterém je závislá syntéza a mobilita prvků. Každá rostlina má své optimální reakční rozmezí, ve kterém se jí daří nejlépe. Některé půdy jsou přirozeně kyselější, jiné alkalické. Je to dáno klimatickým prostředím a matečnou horninou. Probíhající půdní reakce vypovídá o nasycenosti sorpčního komplexu, který potřebné ionty pro rostliny zadržuje či uvolňuje, charakterizuje její hodnota kationtové výměnné kapacity,

a to zase charakterizuje půdní typy. Čím více je sorpční komplex nasycen, tím lépe půda odolává změnám pH – to je tzv. pufrční schopnost půdy. Pufrční schopnost půdy může vypovídat o jejím zdravotním stavu a o obsahu dalších látek, například množství humusu. V případě snížení pufrční schopnosti půdy vnějším vlivem dochází k její acidifikaci a k oslabení půdní struktury, která je pak náchylnější k pedokompakci.

## **4.2 Přírodní pedokompakce**

Přírodní pedokompakce je zastoupena v menší míře. Zhutněním je ohroženo přibližně 30 % zemědělských půd (Šarapatka 2014, Vopravil, Khel, Novák 2010). Vliv na to má zrnitostní složení a půdotvorné procesy. Náchylnější jsou obecně těžké půdy, které mají obsah jílnatých částic více než 45 % (Šarapatka 2014). S tím souvisí proces iluvace jílových minerálů (ilimerizace) z horizontu A a dává tak možnost vzniku horizontu Bt. Vyskytuje se u luvisolů (šedozem, hnědozem, luvizem) a u černozemí luvických, které jsou tak k utužení citlivější. Přirozeně náchylnější jsou také glejové a oglejené horizonty. Dále může být utužení způsobeno zatížením půdy ledem a sněhem nebo tlakem nadložních vrstev. Tyto procesy jsou ale poměrně pomalé (van den Akker, Soane 2005). Ve starší literatuře je možné nalézt i speciální termíny podle genetického původu utužení jako argilipedokompakce – v souvislosti s jílem, stratipedokompakce – tlak nadložních sedimentů, hydropedokompakce – kolísání podzemní vody (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990, Mermut, Jongerius 1980, Jongerius 1970).

Lehce odlišným případem je tvorba krust na povrchu intenzivně obdělávaných půd dopadem dešťových kapek (McIntyre 1958). Tato strukturální krusta (Carmi, Abudi, Berliner 2018) nese některé vlastnosti pedokompakce, např. zhoršenou infiltraci vody, proto je možné řadit dopad dešťových kapek jako jednu z příčin zhutnění, jako to uvádí ve svém článku van den Akker a Soane (2005).

## **4.3 Antropogenní pedokompakce**

Antropogenní utužení půdy souvisí s intenzivním technickým zemědělstvím a v literatuře je často zmiňované jako technogenní pedokompakce. Ve vyspělých zemích se k obhospodařování polí používá těžká zemědělská mechanizace. Tyto stroje se při pěstování plodin po poli pohybují opakovaně. Například při pěstování cukrové řepy to může být i 34× (Pulkrábek 2007). Možnost, jak částečně omezit negativní dopady opakovaných přejezdů, je využití GPS a zavedení systému CTF (Controlled Traffic

Farming). Cílem je snížit množství zásahů do půdy a snažit se některé operace, pokud je to možné, provádět najednou. Špatnou skladbou pěstovaných plodin, používáním velkého množství minerálních hnojiv, orbou na stejnou hloubku a velkými závlahami se problém naopak dále prohlubuje.

Tímto jevem jsou ohroženy půdy všech zrnitostních kategorií a u těžkých půd se obvykle kombinuje s genetickým utužením. Podle míry destrukce půdní struktury můžeme rozlišit zhutnění strukturální a mikrostrukturální. Při strukturálním zhutnění existuje možnost samovolné regenerace. Agregáty jsou k sobě stěsnané, pórovitost je také narušená, ale ještě nejsou zcela destruované. Při mikrostrukturálním zhutnění agregáty již zcela podléhají rozpadu a bez vnějšího agromelioračního zásahu (např. dlátování) není možné zlepšení. Samovolná regenerace je také omezena podle půdního druhu. Písčité půdy nemají tuto schopnost prakticky vůbec. Těžké půdy reagují více na teplotní změny – mráz, tání nebo na aktuální vlhkostní podmínky – bobtnání, smršťování. Doba trvání regenerace je zhruba 2–8 let za předpokladu, že se půda dále nepoškozuje (Lhotský 2000).

Přestože se jedná o kumulativní proces, největší vliv má již první přejezd těžkými stroji. V kombinaci s nevhodnými vlhkostními podmínkami to může být až 85 % (Kovaříček 2014). Zhutnění zasahuje ornici i podorničí, případně spodinu (Vopravil 2011). Zhutnění podorniční vrstvy je vážnější, protože náprava je obtížnější a také méně účinná (van den Akker, Soane 2005). V ornici je možné utužení zvrátit orbou (Tomiška 2009, Lhotský 2000). Kontaktní tlaky, které působí na půdu, závisí na váze strojů, ale třeba i na tom, jaké mají pneumatiky nebo zda kola prokluzují – při stejné váze stroje se může účinek až zdvojnásobit (Lhotský 2000). Čím větší je zatížení, tím větší je hloubka působení tlaku, jak píše Trunečka (2002). Trunečka (2002) dále uvádí, že působící tlaky (průměrné kontaktní tlaky) do 100 kPa nezpůsobují nevratné změny. V rozmezí 100–120 kPa nepřesahují hloubku orby, za hranici orby se už dostává tlak nad 150 kPa, zasaženou hloubku udává zhruba 35–40 cm. Od 250–400 kPa se tlak projeví do hloubky 50–65 cm a případně i níže. Největší napětí je na hranici ornice a podorničí (Lhotský 2000). Velmi náchylná je půda na jaře při předseťovém zpracování a setí, kdy je kyprá a vlhká, a na podzim při sklizních. I když zhutnění negativně ovlivňuje celou produkci už od počátku – tedy od klíčení, Tomiška (2009) zmiňuje i jeden pozitivní dopad: pokud se zhutněnost vyskytuje v přiměřené míře (pro obilniny uvádí objemovou hmotnost redukovanou v ornici  $1,46\text{--}1,52\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), znamená to lepší a vyrovnanější vedení vláhy k semenům po zasetí. Badalíková, Hrubý (1998) popisují velmi podobný pohled na věc, podle nějž určitá míra zhutnění pomáhá zadržovat vodu po delší čas v místech s nedostatkem srážek.

#### 4.4 Důsledky zhutnění

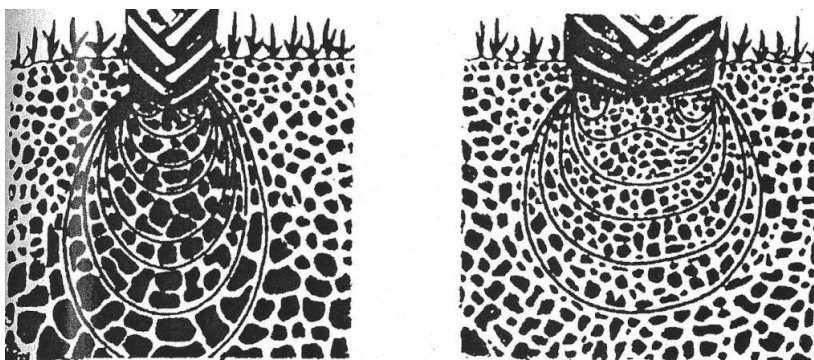
Důsledků zhutnění je mnoho, jsou komplexního charakteru a obvykle vedou k dalšímu druhu degradace. Níže jsou popsány ty, o kterých píše Lhotský (2000) a van den Akker a Soane (2005).

Kořenům rostlin se nedostává kyslík, to způsobuje stres rostliny a zvyšuje spotřebu kyslíku. Omezení aerobních procesů vede k rozvinutí procesů anaerobních, a to vede k tvorbě nekvalitního humusu, škodlivých meziproductů a okyselování půdy. Dochází k celkovému snížení procesů látkových přeměn, a tedy omezení energie dostupné pro rostliny. Škodí také špatné prokořenění v důsledku utuženého podorničí a ztížená startovní pozice pro klíčení z důvodu nízké pórovitosti. V návaznosti na nepříznivé podmínky pro růst dochází ke snížení výnosu o 10–30 % (Lhotský 2000) podle druhu plodiny a půdy. Tomiška (2009) se odkazuje na ruské výzkumy, které uvádějí snížení výnosu obilnin 0,2–1,0 t·ha<sup>-1</sup> či brambor o 1,5–2,0 t·ha<sup>-1</sup> při zvýšení objemové hmotnosti redukované jen o 0,1 g·cm<sup>-3</sup>. Vztáhneme-li tyto údaje na průměrné výnosy v České republice v letech 2006–2017 (ČSÚ 2018), u obilnin by to činilo snížení v přibližné míře 3,8–19,0 % a u brambor 5,7–7,6 % při zvýšení utužení o 0,1 g·cm<sup>-3</sup>. Ve studii bohužel není uvedeno, k jakým půdním druhům se daná čísla vztahují. Zhoršuje se také výrazně infiltrace vody do půdy kvůli celkovému narušení fyzikálních vlastností. Dochází tak k plošnému splachu a vodní erozi. Při vysokých dávkách minerálních hnojiv typu N, P, K (dusík, fosfor, draslík) zůstávají jejich rezidua v půdě, někdy i ve vysokých koncentracích (Massah, Azadegan 2016). Snižuje se také sanitární schopnost půdy a obvyklé je i snížené pH. Poslední zásadní položka, která je vlivným moderátorem jevu, je osevňovací postup. Je možné jím vše zhoršit, nebo naopak napravit. Podstatné je správné střídání plodin, ale i organizace polních prací za vhodného počasí. Předcházet tomuto jevu je žádoucí i vzhledem k energetické, potažmo finanční náročnosti zpracovávání utužené půdy.

#### 4.5 Preventivní opatření a možnosti nápravy

Jako ve spoustě jiných odvětví i zde má prevence svůj význam. Antropogenní pedokompakci lze předcházet, oddálit ji dodržováním určitých zásad či ji držet v udržitelných mezích. Je možné pracovat aspoň s těmi jednoduššími, nebo již cíleně investovat do složitějších mechanismů a postupů. Všechny následující zásahy a úkony jsou dobře známé, ale v praxi často nedodržované (Hůla, Kovaříček, Vlášková 2017). Podstatný vliv na zhutnění má aktuální půdní vlhkost: ve chvíli, kdy je půda mokrá, uléhá snadněji.

Z toho plyne omezení polních prací například po dešti; v číslech se doporučuje zatížení do 80 kPa pro jaro a vlhkou půdu nebo maximálně do 150 kPa pro suchou půdu (Lhotský 2000). Dalším faktorem je sama váha stroje a přídatných náprav. V případě, že není možné ji jakkoliv redukovat, se doporučuje zavedení flotačních pneumatik (podhuštěné pneumatiky, které umožňují lepší rozložení váhy) nebo dvojmontážních kol, která mají menší valivý odpor než kola široká (Trunečka 2002). Obrázek 5 ukazuje, jak se tlak přenáší do hloubky v závislosti na šířce kol.



*Obrázek 5: rozložení tlaku pneumatiky na půdu (Trunečka 2002).*

Díky rozvoji a zpřesňování GPS systému se do popředí dostává systém stálých kolejových stop. Používá se pro něj zkratka CTF (Controlled Traffic Farming), kdy se pomocí GPS dosáhne řízených přejezdů vždy po stejných drahách. Samozřejmě je i nutnost investic do vozového parku, aby byl rozchod kol vždy stejný a redukce přejezdů byla možná v maximální míře. Díky těmto úpravám je možné snížit plochu, kterou zaujímají kolejové stopy, na 20–25 % z celkové výměry pozemku (Hůla et al. 2011) oproti běžným cca 90 % (Kroulík et al. 2009). Při snaze uplatnit tento systém může být již nutná počáteční investice, nicméně Hůlovi et al. (2011) se podařilo v polním pokusu i za použití dostupné mechanizace (menší záběr, nestejný rozchod) snížit kolejové stopy na 32 %.

K prevenci přispívá dodržování vhodného osevního postupu. Mezi to patří zařazení hlubokokořenících a víceletých rostlin, jako jsou luskoviny, pícniny, zvláště jeteloviny (Vopravil, Khel, Novák 2010, Šnobl, Pulkrábek 2005). Na všech typech půd je vhodné zařazovat dostatek organických hnojiv a u kyselých půd by se mělo uplatňovat vápnění pro podporu pufrční schopnosti půdy. Dodáváním dostatečného množství organické hmoty do půdy se podporuje i oživení půdy – půdní edafon, který aktivně vytváří póry.

V situaci, kdy preventivní opatření už nemohou napravit dřívější škody, je možné přistoupit k agromelioračnímu zásahu. Technika je velmi podobná, záleží však, do jaké

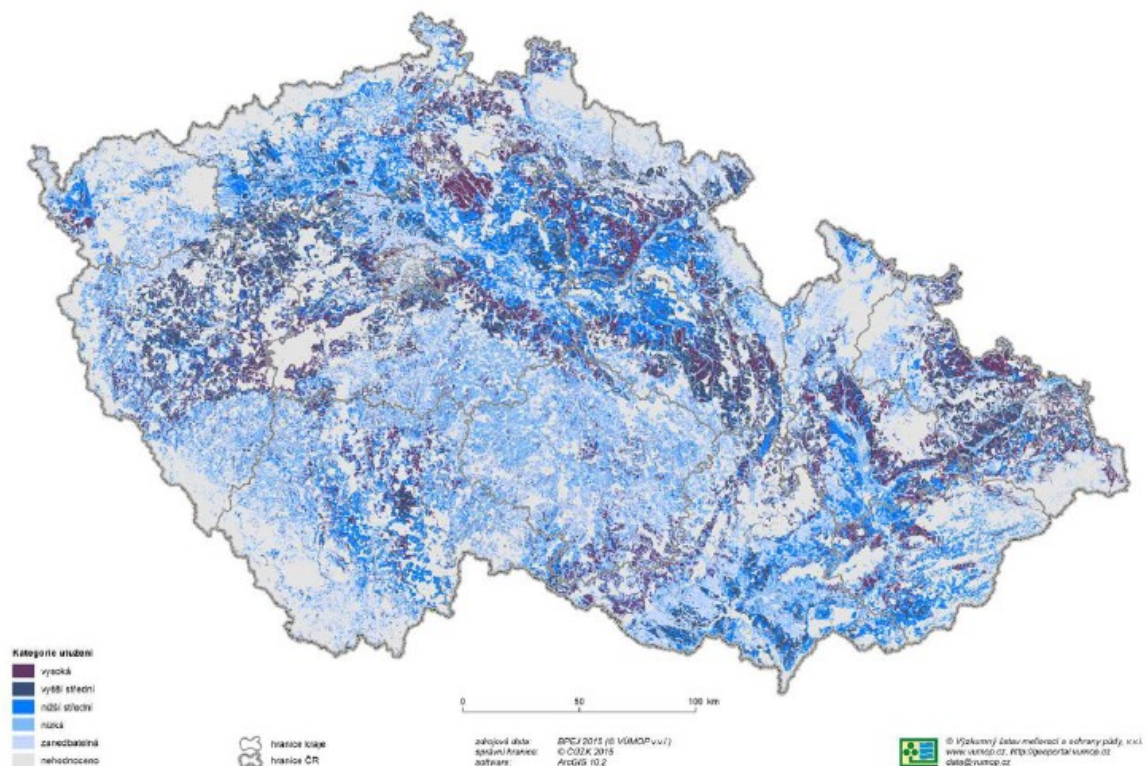
hloubky se výkon provádí a jak silné zhutnění je. V principu se jedná o nakypření půdy. Lhotský (2000) popisuje zákroky od nejjednodušších po nejsložitější. Jako první zmiňuje orbu s podrýváky vhodnou pro utuženou vrstvu těsně pod ornici (podbrázdí). Dále podrývání, které už je energeticky náročnější a příliš se nepoužívá (Šnobl, Pulkrábek 2005). Častější je dlátování vhodné pro zhutnělé podornici a propustnou spodinu, provádí se do maximální hloubky cca 50 cm. Nejnáročnější pak je hloubkové kypření prováděné do hloubky 50–70 cm, vzhledem ke své náročnosti se v praxi příliš nevyužívá (Šnobl, Pulkrábek 2005). Je třeba ještě jednou zdůraznit, že všechny úkony jsou energeticky a technicky velmi náročné a spotřebovává se při nich velké množství pohonných hmot (Šnobl, Pulkrábek 2005). Tuto investici pak dává do sporu životnost těchto opatření a limituje je i rozsah použití – nutný je málo skeletovitý profil, spíše rovinná oblast. Hůla, Kovaříček, Vlášková (2017) svým výzkumem zpochybňují údaje o trvání nakypření nad tři roky. Při jejich práci byly už po deseti měsících přítomny znaky opětované zhutňování a po 32 měsících se půda vrátila prakticky do výchozího stavu. Hloubka jejich zásahu postupnými kroky činila 30 cm. Lhotský (2000) se přiklání k 2–4 i více letům, van den Akker a Soane (2005) doporučují opakování po 4–5 letech a Parker a Amos (1982) připomínají na základě svého výzkumu, že velmi záleží typu ošetřované půdy. Všichni se také ve svých závěrech shodují, že na tyto zásahy je třeba zároveň navázat preventivními opatřeními, bez nichž se péče o půdu neobejde.

#### 4.6 Utužení půd v České republice

Podle situační a výhledové zprávy Ministerstva zemědělství (2015) je v České republice pedokompakcí ohroženo 40 % zemědělských půd. Zhruba 30 % připadá na genetické zhuštění, zatímco zbylých 70 % připadá na zhutnění technogenní. Procentuální zastoupení jednotlivých tříd ukazuje Tabulka 3 a v barevné škále Obrázek 6.

Potenciální zranitelnost	vysoká	vyšší střední	nižší střední	nízká	zanedbatelná	nehodnoceno
Zastoupení (%)	16,25	16,8	21,52	23,75	19,53	2,15

*Tabulka 3: Potencionální zranitelnost zemědělské půdy utužením (MZe 2018).*



Obrázek 6: Potenciální zranitelnost zemědělské půdy utužením (VÚMOP 2018).

V systému bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) půd České republiky má každá hlavní půdní jednotka přiřazené riziko/náchylnost k utužení podle kategorií, jaké jsou uvedeny na Obrázku 6. Přehlednější zařazení nabízí Tabulka 4. Hlavní půdní jednotky jsou rozepsány v příloze I.

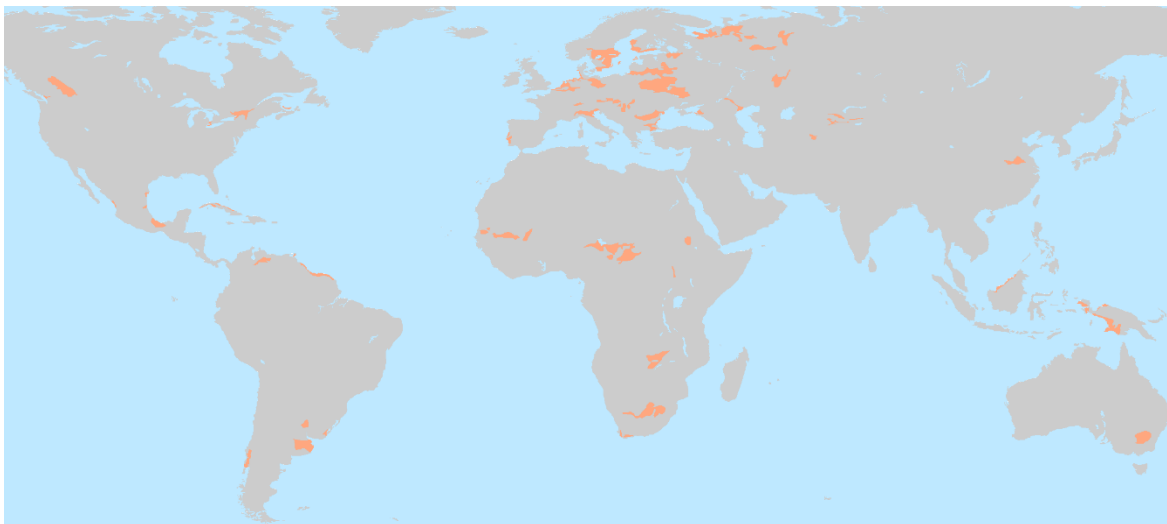
Potencionální zranitelnost	Kategorie	Hlavní půdní jednotka
zanedbatelná	1	17, 27, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 55
nízká	2	8, 28, 29, 37, 40, 56, 58, 60, 62, 64
nižší střední	3	2, 4, 6, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 41, 42, 45, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 59, 61, 63
vyšší střední	4	3, 5, 7, 11, 22, 23, 25, 26, 30, 33, 43, 67
vysoká	5	9, 10, 12, 14, 44, 46, 47, 48, 66, 68, 69, 70, 71
nehodnoceno	6	18, 24, 39, 65, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78

Tabulka 4: Kategorie potenciální zranitelnosti půd utužením (VÚMOP 2017)

#### 4.7 Utužení půd ve světě

Oldeman (1992) uvádí čísla pro antropogenní pedokompakci dohromady se zastavováním území. Celosvětově se dle jeho výzkumu jedná o cca 68 M ha, což činí zhruba 3,5 % z celkové plochy půd postižených degradací vyvolanou člověkem. Novější zpráva FAO a

ITPS (2015) se také odkazuje na data z výzkumu GLASOD (Oldeman 1992) a na knihu Soana a Van Ouwerkerk (1994). FAO vede různé novější navazující projekty věnující se degradaci půdy v obecné míře, nemá však k dispozici data za celý svět. Evropská čísla se v dohledatelných informacích spíše odkazují na knihu Soana a Van Ouwerkerk (1994). Pro představu je na Obrázku 7 reprodukována mapa z projektu GLASOD, na které je zobrazeno rozšíření fyzikální degradace.



*Obrázek 7: Fyzikální degradace z projektu GLASOD (ISRIC 2018).*

## 5. Penetrometrie a jiné metody k identifikaci utužení

K identifikaci utužení existují metody přímé a nepřímé. Nepřímé metody vycházejí z pozorování procesů odehrávajících se na inkriminovaném území. Patří mezi ně stagnující kaluže vody, které indikují pomalý vsak. Pomalé vzcházení rostlin a jejich zdravotní stav, jako je zažloutnutí listů, menší vzrůst, deformace kořenů (zjišťuje se při kopání malé sondy). Orientačně je možné zjistit indikaci utužení podle typu struktury povrchových agregátů. Ty by měly mít spíše drobtovitý, kulovitý charakter (Khel, Vopravil 2015, Šarapatka 2014).

Přímé metody se věnují konkrétním stanovením z naměřených dat. Slouží k tomu měření odporu penetrometrem a odběry vzorků Kopeckého válečky. Ruční penetrometr měří (v jednotkách MPa), jak velkou sílu je třeba vyvinout pro jeho zarážení do země. Pro orientační stanovení postačuje přístroj s budíkem, na kterém je sice vidět průběh měření podle pohybu ručičky, ale nedává spolehlivou odpověď. Dobře odečíst lze jen konečnou hodnotu. Pro přesnější měření, a hlavně následné vyhodnocení dat slouží přístroj, který digitálně zaznamenává a ukládá už průběh měření (viz Obrázek 8). Vyhodnocení je odstupňováno po centimetru. Mezní penetrační odpory při dané vlhkosti jsou již uvedeny v Tabulce 2. Pomocí vzorků z Kopeckého váleček se stanovuje objemová hmotnost redukovaná, pórovitost, vzdušnost a propustnost (Lukas, Neudert, Křen 2011). Vlhkost se vypočítá z rozdílné hmotnosti vlhkého a vysušeného vzorku (Suchara 2007).



Obrázek 8: Penetrologger firmy Eijkelkamp ([eijkelkamp.com](http://eijkelkamp.com))

## 6. Stručná charakteristika modelového území

Modelové území se nachází v obci Kleneč severozápadně od hory Říp. Vyznačené pole je vidět na Obrázku 9. Plocha činí cca 23 ha.



Obrázek 9: Vyznačené modelové území v katastru obce Kleneč v měřítku 1:10 000 (ESRI).

Geologicky spadá oblast do České masivu a byla ovlivněna saxonskou tektogenezí. Během této doby se obnovovaly staré zlomy, zřídka se tvořily nové, časově spadá mezi spodní a svrchní trias (Chamra, Schröfel, Tylš 2005). Během křídly vznikly sedimentární horniny České křídové pánve, které překryly v kvartéru terasové uloženiny a spraše (Kachlík 2003, Zahálka 1923). Na modelovém území se tedy v podloží nachází křídové uloženiny, na nich jsou sedimenty uložené převážně Vltavou a spraš. Konkrétně se jedná o Vinohradskou terasu (Balatka, Sládek 1962).

Z hlediska geomorfologie se území nachází v Krabčické plošině (VIB-1B-2). Systematické zařazení je uvedeno v Tabulce 5 (Demek, Mackovčín 2006). Ještě přesnější vymezení nabízí Balatka, Kalvoda (2006): podokrsek Straškovské plošiny, část roudnická (VIB-1B-2a1), toto dělení je také zahrnuto v Tabulce 5.

provincie	Česká vysočina
soustava	Česká tabule
podsoustava	Středočeská tabule
celek	Dolnooharská taule
podcelek	Řipská tabule
okrsek	Krabčická plošina
podokrsek	Straškovská plošina
část	roudnická

*Tabulka 5: Geomorfologické zařazení modelového území (Demek, Mackovčín 2006, Balatka, Kalvoda 2006).*

Největší plochu území zabírá černozem arenická (HPJ 04) a v menší míře modální, modální karbonátová (HPJ 01) na obrázku 10. Půdotvorným substrátem je spraš. Půdní druh spíše písčité (VÚMOP 2018). Klimatický region je teplý, na srážky chudý – T2. Zima krátká a mírně teplá se srážkami 200–300 mm. Počet mrazivých dnů se pohybuje okolo 100–110. Léto je dlouhé, teplé a suché, srážky v průměru 350–400 mm. Přechodná období jsou krátká. Průměrná teplota 8–9 °C (Tolasz 2007, Quitt 1971).



*Obrázek 10: Vyznačené půdní typy podle katalogu BPEJ v měřítku 1:6 000(VÚMOP 2018)*

Z hlediska biogeografického zařazení se jedná o Řipský bioregion (1.2). Oblast je osídlena od neolitu (Culek 2013). Z potenciální přirozené vegetace by se v oblasti měly dominovat dubohabřiny a doubravy (CENIA 2018). Těsně vedle zájmového území se nachází Národní přírodní památka Kleneč, kde roste endemický poddruh hvozdík písečný český (*Dianthus arenarius* subsp. *bohemicus*) zde jako na jediné lokalitě (Culek 2013). Jeho květ je na Obrázku 11.



Obrázek 11: Květ hvozdíku písečného českého (foto: L. Rak, botany.cz).

## 7. Metodika

Modelové území Kleneč bylo vybráno na základě mozaikovitého zbarvení viditelného na leteckém snímku serveru mapy.cz z 22. 5. 2016 (viz Obrázek 12). Tato mozaika může být výsledkem odlišného zadržování vody v půdě, které je dané odlišnými vlastnostmi půdních profilů – množství humusu, půdní druh, struktura. Ke zjištění rozdílů v hloubce utužení půdy byly v území náhodně rozmístěny body.



Obrázek 12: Mozaika modelového území v měřítku 1:5000 (mapy.cz).

Tyto body sloužily jako podklad pro práci s penetrometrem v terénu. Pomocí GPS byly body na místě zaměřeny a změřil se penetrometrický odpor přístrojem penetrolgger (firmy Eijkelkamp). Byla zjišťována maximální hloubka utužení. Druhý soubor dat byl zjišťován z RGB snímku v 8-bit módu (mapy.cz) pro získání spektrální informace v určených bodech. To je důležité pro základní domněnku souvislosti barvy s hloubkou utužení, tedy že ve světlejších místech bude dosaženo menší hloubky a tím pravděpodobně většího utužení. Aby bylo možné statistické ověření výše zmíněné domněnky, je třeba stanovit nulovou hypotézu, která zní: „Barva je na dosažené hloubce utužení nezávislá.“

Zpracování dat proběhlo v programech Microsoft® Excel a ArcMap™ 10.5. Příslušné analýzy se vypočítaly ve statistickém programu R 3.5.0.

## 7.1 Terénní měření

Jako podklad pro terénní měření sloužily výše zmíněné náhodně vygenerované body (nástroj Create Random Points); pomocí nástroje Features to GPX byly staženy do turistického GPS přístroje (Garmin Dakota 20). Díky otevřené ploše pole bylo dosaženo přesnosti  $\pm 1$  metr, která byla dostačující. Výjezd byl uskutečněn 13. 4. 2018. Dle údajů z nejbližší meteorologické stanice Doksany (vzdušnou čarou vzdálené cca 10 km) zde v posledních 14 dnech nenapadly žádné významné srážky, průměrná teplota za toto období byla 11 °C. V daném dnu se průměrná teplota pohybovala okolo 16 °C, vanul čerstvý vítr  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a bylo zataženo (ČHMÚ 2018). Půda byla suchá a za chůze prašná.

Měření probíhalo přístrojem Penetrologger (firmy Eijkelkamp) v celkem 48 bodech. Na každém bodě byla provedena tři měření kvůli minimalizaci chyb z měření, výsledný údaj je průměrem těchto měření. Přístroj zaznamenával tlak v MPa po 1 cm, maximálně do hloubky 80 cm, použit byl měrný kužel o ploše  $2 \text{ cm}^2$ . Veškerá data bylo nutné shromáždit během jednoho dne kvůli zajištění stejných podmínek (počasí a polní práce, vlhkost).

Samotné pole obhospodařují čtyři subjekty s podobnou skladbou plodin. Jednotlivé části jsou zobrazeny na Obrázku 13 a v Tabulce 6 jsou vypsány pěstované plodiny za poslední roky.



Obrázek 13: Dělení modelového území podle využití v měřítku 1:6 000 (podklad ESRI, hranice LPIS).

	2018	2017	2016	2015
A	řepka	pšenice	pšenice	kukuřice
B	žito	žito		
C	pšenice	řepka	pšenice	pšenice
D	kukuřice	pšenice	pšenice	

Tabulka 6: Pěstované plodiny v posledních letech na jednotlivých částech (zdroj: hospodáři)

## 7.2 Zpracování dat

Data byla zpracována především v programech Microsoft® Excel a ArcMap™ 10.5. Z dat pořízených penetrem se zjišťovala dosažená hloubka, která nese informaci o hloubce utužení. Ve 40 % případů (z 48 bodů) bylo dosaženo maximální hloubky, jakou je přístrojem možné měřit, tj. 80 cm, střední hodnota je 68,5 cm, průměr 58,6 cm. Zbýlých 29 bodů mělo dosažené hloubky od 11 cm do 77 cm a barva se pohybovala od 35 do 249, střední hodnota 102 a průměr 107,6. Statistické analýzy, jejichž výsledky jsou v další kapitole, se počítaly z oněch zbylých 29 bodů. Důvodem je to, že při dosažení hloubky 80 cm, která představuje měřicí maximum přístroje, není možné říci, zda je tato hloubka

konečná, nebo je hranice jen kousek níže či vůbec. Výsledné hodnoty by to tudíž mohlo zkreslit. Číselný údaj se kterým se počítalo byla dosažená hloubka v cm, kde se sonda zarazila. Druhý soubor dat zjištěný z RGB snímku v 8-bit módu (mapy.cz) nesl spektrální informaci v určených bodech. K tomu byl použit nástroj Sample, který při extrakci bodové hodnoty zahrnuje i hodnoty okolních pixelů, v tomto případě byla použita metoda kubické konvoluce. Na Obrázku 14 je modelové území s vyznačenými sondami. V programu R 3.5.0 byla data vyhodnocena Spearmanovým korelačním koeficientem a podrobena regresní analýze.



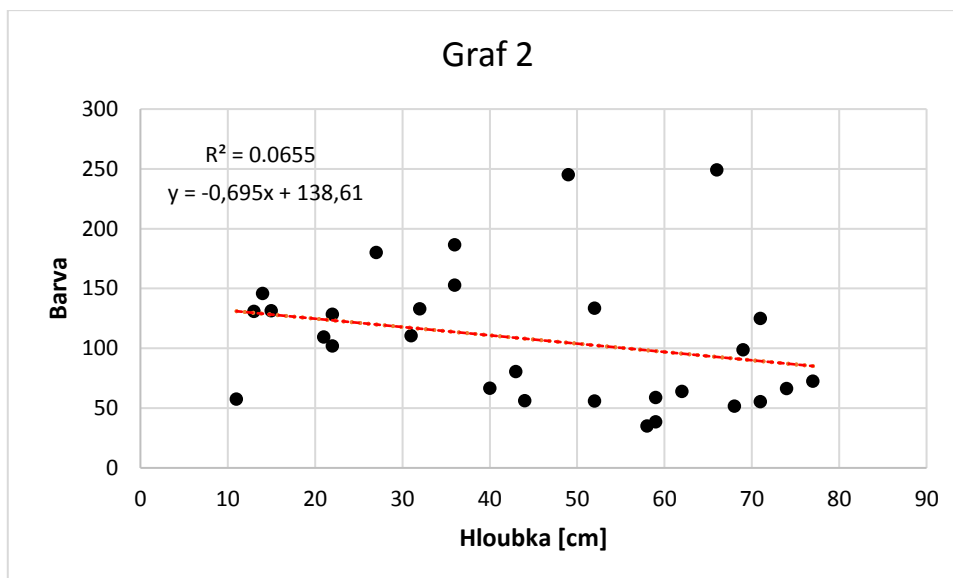
*Obrázek 14: Modelové území s vyznačenými místy, kde proběhlo měření penetrometrem v měřítku 1:5 000 (podklad mapy.cz).*

## 8. Výsledky a diskuze

Nulová hypotéza zněla: „Barva je na dosažené hloubce utužení nezávislá.“ Vzhledem k tomu, že data vykazují nenormální rozdělení, byl použit Spearmanův korelační koeficient. Výsledkem je korelace 37,6 % s přípuštěním 5% chyby testu, p-hodnota vychází 0,04, ale program R zároveň varuje, že její stanovení není zcela přesné. Dle výsledné p-hodnoty mohu nulovou hypotézu zamítnout, barva tedy je závislá na hloubce utužení, a dále tuto souvislost hledat.

Druhou statistickou metodou, která měla prokázat nějakou souvislost mezi daty, byla regresní analýza. Koeficient determinace vychází 0,0655, což ukazuje na velmi nízkou lineární závislost. Toto je patrné i z Grafu 3, kde se zobrazené body příliš neshlukují okolo regresní přímky. Její vzorec vypadá následovně:  $\text{barva} = -0,695 \cdot \text{hloubka} + 138,61$ . V případě, že by platila lineární závislost, by se s každým centimetrem hloubky spektrum posouvalo k tmavé části přibližně o 0,7 hodnoty na 8-bitové barevné škále, jelikož se snižující se číselnou hodnotou barvy se dostáváme do tmavšího odstínu. Jelikož ale p-hodnota u regresní analýzy vyšla 0,18, nulovou hypotézu není možné zamítnout – barva je na dosažené hloubce nezávislá.

Rozpor mezi oběma analýzami by bylo možné vysvětlit tak, že jakási souvislost intenzity zbarvení s dosaženou hloubkou utužení existuje, ale pravděpodobně se nebude jednat o lineární vztah, který počítá lineární regrese, ale nějakou formu nelineární závislosti. Pro lepší podpoření této hypotézy by bylo zapotřebí získat více dat včetně laboratorních analýz. Z nich by se dalo odvodit, zda je vztah možné vysvětlit jinou funkcí než lineární, či zdali nějaký vztah skutečně existuje.



*Graf 2: Souvislost barvy s hloubkou utužení.*

Existuje zde i pravděpodobnost, že přes další doměřování by byl výsledek stejný. Nelze to ale s jistotou tvrdit, protože současné výsledky nelze považovat za dostatečně validní z následujících důvodů:

- Hamza a Anderson (2005) se odkazují na knihu Soane a Van Ouwerkerk (1994), kde jasně stanovují, že obsah vody v půdě má největší vliv na proces zhutňování. Toto tvrzení je zdůrazňováno i v mnoha dalších publikacích. Má nepopíratelný vliv i na měřený penetračního odporu a je třeba myslet na případné korekce kritických hodnot, které jsou uvedeny v Tabulce 2 a které by podle Šimon, Lhotský (1989) bylo třeba upravit o  $\pm 0,25$  MPa na 1 % hmotnostní vlhkosti mimo uvedený interval. To je jistě jedna ze slabín při posuzování námi naměřených hodnot, kde se vlhkost neměřila. Na druhu stranu by ale výsledek nemusel být příliš odlišný, protože Lukas, Neudert, Křen (2011) uvádějí nejvhodnější dobu pro měření koncem dubna kvůli rovnoměrnému provlhčení a naše měření se uskutečnilo 13. dubna.

- Pro komplexnější zhodnocení stavu je vhodné odebrat vzorky zeminy Kopeckého válečky a v laboratoři zjistit objemovou hmotnost redukovanou a pórovitost. Tuto metodu v kombinaci s měřením penetrometrem použili ve své studii Grzesiak et al. (2013), kdy zjišťovali změny ve strukturách kořenového systému a potřebovali mít podrobné zmapování vstupních podmínek. Pro praktické použití ve vztahu k základní hypotéze této práce, zda barva má nějakou souvislost s hloubkou utužení, by se mohla stanovit doplňující hypotéza, zda s barvou souvisí míra utužení.

- Vyhledat zemědělskou plochu s mozaikovitými útvary, které budou homogenně obdělávané po delší časový úsek.

- K zamyšlení nad potencionální metodikou: bylo by dobré vyhnout se měření v souvratích či jejich blízkosti. Jak svým výzkumem dokládá Szatanik-Kloc et al. (2018), v souvratích je kvůli neustálým přejezdům mnohem utuženější půda než v ostatních částech pole. Na obrázku 12 je patrné, že penetrometrická data byla měřena i v těchto koncích a mohla tedy svými odlehlými hodnotami zkreslovat výsledek.

- Provedená studie Soane (1990) prokázala souvislost mezi množstvím organické hmoty, a její kvalitou, a odolností vůči utužení. Kocum (2018) na stejném modelovém území zjišťoval změny struktury půdního pokryvu. Při terénním průzkumu zatloukané sondy odhalily v tmavších místech hlubší profily s mocnějším A horizontem a na světlejších místech mělký A horizont s přechodem na písčité podloží. Toto zjištění se opět přiklání k provedení hlubších analýz a mělo by se stanovit množství humusu v jednotlivých barevných typech mozaiky, aby bylo možné se lépe opřít o výchozí data.

- Demattê et al. (2010) hodnotili utužení metodou dálkového průzkumu a porovnávali s pozemním sběrem vzorků o objemové hmotnosti. Zjistili, že utužené půdy mají vyšší spektrální odrazivost než půdy méně utužené/neutužené. Jedním z důvodů by mohl být vyšší obsah humusu, který by záření pohlcovao. Užitečné by mohlo být i stanovení množství humusu v okolí každé sondy. Ale vraťme se zpět k zjištění, že utužené půdy mají vyšší spektrální odrazivost. V případě této práce bohužel není možné říci, zda to platí také, protože při pohledu na Graf 2 vykazují nejsvětlejší místa značnou variabilitu, je jich relativně málo a nenasvědčují tomu ani statistické výsledky. Podobná studie (Omuto, Shrestha 2007) na toto téma se věnuje snadnému rozpoznání fyzikální degradace dálkovým průzkumem, ale také své poznatky kombinuje s analytickými metodami a dívá se na to pohledem míry degradace této kategorie.

Při porovnávání naměřených hodnot tlaku (maximální odpor jednom místě 3,0 MPa), jaký půda kladla penetrometru, a porovnání s Tabulkou 2 mezních hodnot pro písčitou texturu se modelové území v obci Kleneč nedá označit za kriticky zasažené pedokompakcí. I zde platí stejné námitky k přesnosti měření, které jsou rozepsány výše.

## **9. Závěr**

Ze získaných dat pro modelové území nacházející se v obci Kleneč se nedá jasně usuzovat na korelaci mezi barvou mozaiky viditelnou na leteckém snímku (server mapy.cz) a dosaženou hloubkou utužení. Pro přesvědčivější dokázání nebo vyvrácení hypotézy by bylo zapotřebí provést další měření s uvážením více vstupujících proměnných – půdní vlhkosti, objemové hmotnost redukované, pórovitosti, obsahu humusu.

## Literatura a zdroje

- BADALÍKOVÁ, B. (2010): Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. *Soil Engineering*, 19-30.
- BADALÍKOVÁ, B., HRUBÝ, J. (1998): Physical soil properties at different systems of sugar beet cultivation. In: *Soil condition and crop production*. Godollo, Hungary, 83-85.
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. *Kartografie*, Praha.
- BALATKA, B., SLÁDEK, J. (1962): Říční terasy v českých zemích. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- BLAKE, L. (2005): ACID RAIN AND SOIL ACIDIFICATION. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 1-11.
- BRADY, N., WEIL, R. (2007): *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Harlow.
- BUZEK, L. (1983): *Eroze půdy*. Pedagogická fakulta v Ostravě, Ostrava.
- CARMI, G., ABUDI, I., BERLINER, P. (2018): An experimental study to assess the effect of the energy and the electrolyte concentration of rain drops on the infiltration properties of naturally crusted soils. *Journal of Arid Environments*, 152, 69-74.
- CULEK, M. (2013): *Biogeografické regiony České republiky*. Masarykova univerzita, Brno.
- ČSÚ (2018): Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin - 2017, Český statistický úřad, <https://www.czso.cz/documents/10180/61431846/2701411801.pdf/49e7c45d-850f-4c7e-b237-1de9d0034beb?version=1.0> (03. 06. 2018).
- DEMATTÊ, J. A. M., NANNI, M. R., DA SILVA, A. P., DE MELO FILHO, J. F., DOS SANTOS, W. C., CAMPOS, R. C. (2010): Soil density evaluated by spectral reflectance as an evidence of compaction effects. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 31, 403-422.
- DEMEK, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. eds. (2006): *Zeměpisný lexikon ČR*. AOPK ČR, Brno.
- FAO (2015): *Revised World Soil Charter*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Řím.
- FAO AND ITPS (2015): *Status of the World's Soil Resources: Main Report*. Rome.
- GRZESIAK, S., GRZESIAK, M. T., HURA, T., MARCIŃSKA, I., RZEPKA, A. (2013): Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany*, 88, 2-10.

- HAMZA, M. A., ANDERSON, W. K. (2005): Soil compaction in cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 2, 82, 121-145.
- HERRICK, J. E., JONES, T. L. (2002): A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 4, 66, 1320-.
- HRUŠKA, J., KOPÁČEK, J. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy: I. Emise a depozice okyselujících sloučenin. *Živa*, 2, 2009, 93-96.
- HŮLA, J., GUTU, D., KOVAŘÍČEK, P., STANĚK, L., KROULÍK, M. (2011): Odolnost půdy vůči zhutňování při řízených přejezdech strojů. *AgritechScience*, 1, 5, 1-6.
- HŮLA, J., KOVAŘÍČEK, P., VLÁŠKOVÁ, M. (2017): Trvanlivost jednorázového prokypření zhutnělé vrstvy v půdním profilu. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 9-10, 133, 297-301.
- CHAMRA, S., SCHRÖFEL, J., TYLŠ, V. (2005): *Základy petrografie a regionální geologie ČR*. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- JONGERIUS, A. (1970): Some morphological aspects of regrouping phenomena in Dutch soils. *Geoderma*, 3, 4, 311-331.
- KACHLÍK, V. (2003): *Geologický vývoj území České republiky*. Surao, Praha.
- KHEL, T., VOPRAVIL, J. (2015): Možnosti identifikace utužení půdního profilu. *Úroda*, 1, 63, 66.
- KHEL, T., VOPRAVIL, J., NOVÁK, P. (2010): Úbytek organické hmoty v půdě - dehumifikace. *Úroda*, 11, 58, 58.
- KHEL, T., VOPRAVIL, J., NOVÁK, P. (2011): Okyselování (acidifikace) půdy. *Úroda*, 2, 59, 78.
- KOCUM, J. (2018): *Dálkový průzkum jako indikátor změn struktury půdního pokryvu*. Bakalářská práce. Praha.
- KOVAŘÍČEK, P. (2014): *Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu: uplatněná certifikovaná metodika*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.
- KOZÁK, J., NĚMEČEK, J. (2009): *Atlas půd České republiky*. ČZU Praha, Praha.
- KROULÍK, M., KUMHÁLA, F., HŮLA, J., HONZÍK, I. (2009): The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. *Soil and Tillage Research*, 1, 105, 171-175.
- LHOTSKÝ, J. (2000): *Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva)*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- LHOTSKÝ, J. (2000): Půdy ohrožené zhutněním a opatření proti němu. *Farmář*, 2, 32-33.

- LUKAS, V., NEUDERT, L., KŘEN, J. (2011): Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- LUNDSTRÖM, U. S., VAN BREEMEN, N., BAIN, D. (2000): The podzolization process. A review. *Geoderma*, 2-4, 94, 91-107.
- MASSAH, J., AZADEGAN, B. (2016): Effect of chemical fertilizers on soil compaction and degradation. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 1, 47, 44-50.
- MCINTYRE, D. S. (1958): PERMEABILITY MEASUREMENTS OF SOIL CRUSTS FORMED BY RAINDROP IMPACT. *Soil Science*, 4, 85, 185-189.
- MERMUT, A., JONGERIUS, A. (1980): A micromorphological analysis of regrouping phenomena in some turkish soils. *Geoderma*, 2, 24, 159-175.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ (2015): Situační a výhledová zpráva: Půda. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha.
- MOUDRÝ, J. (2007): Multifunkční zemědělství: Osevní postupy v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějvicích, České Budějvice.
- NĚMEČEK, J. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. (1990): Pedologie a paleopedologie: celostátní vysokoškolská příručka pro stud. přírodověd. fak., skupiny stud. oborů geologické vědy. Academia, Praha.
- NOVÁK, P. (2000): Kategorizace zpracovatelnosti půd podle půdních podmínek. *Farmář*, 2, 6, 29-31.
- OLDEMAN, L. R. (1992): Global extent of soil degradation. *ISRIC Bi-Annual Report, 1991-1992*, 19-36.
- OMUTO, C. T., SHRESTHA, D. P. (2007): Remote sensing techniques for rapid detection of soil physical degradation. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 28, 4785-4805.
- PARKER, J. C., AMOS, D. F. (1982): Subsoiling effects on four pine seed orchard soils. *Soil and Tillage Research*, 1, 2, 53-66.
- PÍŠKOVÁ, A. (2011): Aralské jezero. *Vesmír*, 90.
- POKORNÝ, E., ŠARAPATKA, B., HEJÁTKOVÁ, K. (2007): Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka. ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, Náměšť nad Oslavou.
- PULKRÁBEK, J. (2007): Řepa cukrová: pěstitelský rádce. Pro katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent, Praha.

- QUITT, E. (1871): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno.
- RITSEMA, C. J., VAN LYNDEN, G. W. J., JETTEN, V. G., DE JONG, S. M. (2005): DEGRADATION. Encyclopedia of Soils in the Environment, 370-377.
- SOANE, B. D. (1990): The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. Soil and Tillage Research, 1-2, 16, 179-201.
- SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van (1994): Soil compaction in crop production. Elsevier, London.
- SPOSITO, G. (2017): Soil, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/soil> (07. 05. 2018).
- STOLTE, J., TESFAI, M., ØYGARDEN, L., KVÆRNØ, S., KEIZER, J., VERHEIJEN, F., PANAGOS, P., HESSEL, R., BALLABIO, C. eds. (2015): Soil threats in Europe: Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. European Union, Luxembourg.
- SUCHARA, I. (2007): Praktikum vybraných ekologických metod. Karolinum, Praha.
- SZATANIK-KLOC, A., HORN, R., LIPIEC, J., SICZEK, A., SZEREMENT, J. (2018): Soil compaction-induced changes of physicochemical properties of cereal roots. Soil and Tillage Research, 175, 226-233.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2014): Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H., MALÝ, S., CIENCIALA, E. (2014): Půdní organická hmota a vodní retenční kapacita půd. In: Povodně a sucho: krajina jako základ řešení. Botanický ústav Akademie věd ČR, Průhonice, 41-48.
- ŠARAPATKA, B. (2014): Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- ŠARAPATKA, B., BEDRNA, Z., DLAPA, P. (2002): Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého, Olomouc.
- ŠIMON, J., LHOTSKÝ, J. (1989): Zpracování a zúrodnování půd. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- ŠNOBL, J., PULKRÁBEK, J. (2005): Základy rostlinné produkce. Česká zemědělská univerzita, V Praze.
- ŠOBR, M. (2012): Podaří se zachránit Aralské jezero?. Geografické rozhledy, 2, 22, 27-29.
- TOLASZ, R. (2007): Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.
- TOMIŠKA, Z. (2009): Degradace půdy pod vlivem zhutnění. Úroda, 9, 57, 65-66.

- TRUNEČKA, K. (2002): Odolnost půdy proti zhutňování v průběhu roku. *Agromagazín*, 8, 3, 42-43.
- VAN DEN AKKER, J. J. H., SOANE, B. (2005): COMPACTION. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 285-293.
- VOPRAVIL, J. a kol. (2011): Půda a její hodnocení v ČR II. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- VOPRAVIL, J. a kol. (2011): Půda a její hodnocení v ČR I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- VOPRAVIL, J., KHEL, T., NOVÁK, P. (2010): Degradální faktory působící na půdu. *Úroda*, 8, 58, 60.
- VOPRAVIL, J., KHEL, T., NOVÁK, P. (2010): Utužení půdy. *Úroda*, 12, 58, 62.
- ZAHÁLKA, B. (1923): O geologických poměrech okolí Roudnice a Řípu: (s geol. mapou a profilem). Státní geologický ústav ČSR, Praha.
- ZVÁRA, K. (2013): *Základy statistiky v prostředí R*. Karolinum, Praha.
- Zákon č. 334/1992 Sb.: Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu
- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: Půdní organická hmota (2018): <http://www.organickahmota.cz> (06. 04. 2018).
- Ministerstvo zemědělství: Půda (2018): <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/> (24. 04. 2018).

## **Seznam použitých zkratk**

**BPEJ** – Bonitovaná půdně ekologická jednotka

**CTF** – Controlled Traffic Farming

**ČSÚ** – Český statistický úřad

**DDT** – dichlordifenyltrichlorethan

**FAO** – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organizace pro výživu a zemědělství)

**GLASOD** – Global Assessment of Human-induced Soil Degradation

**GPS** – Global Positioning System

**HCB** – hexachlorbenzen

**ISRIC** – Internatiol Soil Reference and Information Centre

**ITPS** – Internatiol Technical Panel on Soils

**LPIS** – Veřejný registr půdy

**MZe** – Ministerstvo zemědělství České republiky

**NRCS USDA** – Natural Resources Conservation Service of United States Department of Agriculture

**OSN** – Organizace spojených národů

**PCB** – polychlorované bifenyly

**RGB** – Red, Green, Blue

**TKSP ČR** – Taxonomický klasifikační systém půd České republiky

**VÚMOP** – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

**WRB** – World Reference Base

Značky prvků periodické soustavy.

## **Příloha**

*Příloha I: Hlavní půdní jednotky BPEJ (VÚMOP 2018).*

**HPJ 01** Černozemě modální, černozemě karbonátové, na spraších nebo karpatském flyši, půdy středně těžké, bez skeletu, velmi hluboké, převážně s příznivým vodním režimem

**HPJ 02** Černozemě luvické na sprašových pokryvech, středně těžké, bez skeletu, převážně s příznivým vodním režimem

**HPJ 03** Černozemě černické, černozemě černické karbonátové na hlubokých spraších s podložím jílu, slínů či teras, středně těžké, bezskeletovité, s vodním režimem příznivým až mírně převlhčeným

**HPJ 04** Černozemě arenické na píscích nebo na mělkých spraších (maximální překryv do 30 cm) uložených na píscích a šterkopíscích, zrnitostně lehké, bezskeletovité, silně propustné půdy s výsušným režimem

**HPJ 05** Černozemě modální a černozemě modální karbonátové, černozemě luvické a fluvizemě modální i karbonátové na spraších s mocností 30 až 70 cm na velmi propustném podloží, středně těžké, převážně bezskeletovité, středně výsušné, závislé na srážkách ve vegetačním období

**HPJ 06** Černozemě pelické a černozemě černické pelické na velmi těžkých substrátech (jílech, slínech, karpatském flyši a terciérních sedimentech), těžké až velmi těžké s vylehčeným orničním horizontem, ojediněle šterkovité, s tendencí povrchového převlhčení v profilu

**HPJ 07** Smonice modální a smonice modální karbonátové, černozemě pelické a černozemě černické pelické, vždy na velmi těžkých substrátech, celoprofilově velmi těžké, bezskeletovité, často povrchově periodicky převlhčované

**HPJ 08** Černozemě modální a černozemě pelické, hnědozemě, luvizemě, popřípadě i kambizemě luvické, smyté, kde dochází ke kultivaci přechodného horizontu nebo substrátu na ploše větší než 50 %, na spraších, sprašových a svahových hlínách, středně těžké i těžší, převážně bez skeletu a ve vyšší sklonitosti

**HPJ 09** Šedozemě modální včetně slabě oglejených a šedozemě luvické na spraších, středně těžké, bezskeletovité, s příznivými vláhovými poměry

**HPJ 10** Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na spraších, středně těžké s mírně těžší spodinou, bez skeletu, s příznivými vláhovými poměry až sušší

**HPJ 11** Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na sprašových a soliflukčních hlínách (prachovicích), středně těžké s těžší spodinou, bez skeletu, s příznivými vlhkostními poměry

**HPJ 12** Hnědozemě modální, kambizemě modální a kambizemě luvické, všechny včetně slabě oglejených forem na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké s těžkou spodinou, až středně skeletovité, vododržné, ve spodině s místním převlhčením

**HPJ 13** Hnědozemě modální, hnědozemě luvické, luvizemě modální, fluvizemě modální i stratifikované, na eolických substrátech, popřípadě i svahovinách (polygenetických hlínách) s mocností maximálně 50 cm uložených na velmi propustném substrátu, bezskeletovité až středně skeletovité, závislé na dešťových srážkách ve vegetačním období

**HPJ 14** Luvizemě modální, hnědozemě luvické včetně slabě oglejených na sprašových hlínách (prachovicích) nebo svahových (polygenetických) hlínách s výraznou eolickou příměsí, středně těžké s těžkou spodinou, s příznivými vláhovými poměry

**HPJ 15** Luvizemě modální a hnědozemě luvické, včetně oglejených variet na svahových hlínách s eolickou příměsí, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, vláhově příznivé pouze s krátkodobým převlhčením

**HPJ 16** Luvizemě modální a hnědozemě arenické, eventuálně i slabě oglejené na lehkých až zahliněných terasách, pískovcích a šterkopiscích s překryvem písčitých spraší a prachovic v mocnosti 30 až 60 cm, zrnitostně středně těžké lehčí, až slabě skeletovité, vláhově méně příznivé až nepříznivé

**HPJ 17** Luvizemě arenické i slabě oglejené, na lehkých, propustných substrátech, výsušné, závislé na srážkách nebo závlaze

**HPJ 18** Rendziny modální, rendziny kambické a rendziny vyluhované na vápencích a travertinech, středně těžké lehčí až těžké, slabě až středně skeletovité, méně vododržné

**HPJ 19** Pararendziny modální, kambické i vyluhované na opukách a tvrdých slínovcích nebo vápnitých svahových hlínách, středně těžké až těžké, slabě až středně skeletovité, s dobrým vláhovým režimem až krátkodobě převlhčené

**HPJ 20** Pelozemě modální, vyluhované a melanické, regozemě pelické, kambizemě pelické i pararendziny pelické, vždy na velmi těžkých substrátech, jílech, slínech, flyši, tercierních sedimentech a podobně, půdy s malou vodopropustností, převážně bez skeletu, ale i středně skeletovité, často i slabě oglejené

**HPJ 21** Půdy arenického subtypu, regozemě, pararendziny, kambizemě, popřípadě i fluvizemě na lehkých, nevododržných, silně výsušných substrátech

**HPJ 22** Půdy jako předcházející HPJ 21 na mírně těžších substrátech typu hlinitý písek nebo písčité hlína s vodním režimem poněkud příznivějším než předcházející

**HPJ 23** Regozemě arenické a kambizemě arenické, v obou případech i slabě oglejené na zahliněných písčích a štěrkopísčích nebo terasách, ležících na nepropustném podloží jílu, slínů, flyše i tercierních jílu, vodní režim je značně kolísavý, a to vždy v závislosti na hloubce nepropustné vrstvy a mocnosti překryvu

**HPJ 24** Kambizemě modální eubazické až mezobazické i kambizemě pelické z přemístěných svahovin karbonátosilikátových hornin flyše a kulmských břidlic, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, se střední vododržností

**HPJ 25** Kambizemě modální a vyluhované, eubazické až mezobazické, výjimečně i kambizemě pelické na opukách a tvrdých slínovcích, středně těžkém flyši, permokarbonu, středně těžké, až středně skeletovité, půdy s dobrou vodní kapacitou

**HPJ 26** Kambizemě modální eubazické a mezobazické na břidlicích, převážně středně těžké, až středně skeletovité, s příznivými vláhovými poměry

**HPJ 27** Kambizemě modální eubazické až mezobazické na pískovcích, drobách, kulmu, brdském kambriu, flyši, zrnitostně lehké nebo středně těžké lehčí, s různou skeletovitostí, půdy výsušné

**HPJ 28** Kambizemě modální eubazické, kambizemě modální eutrofní na bazických a ultrabazických horninách a jejich tufech, převážně středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, s příznivými vlhkostními poměry, středně hluboké

**HPJ 29** Kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variet, na rulách, svorech, fylitech, popřípadě žulách, středně těžké až středně těžké lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s převažujícími dobrými vláhovými poměry

**HPJ 30** Kambizemě eubazické až mezobazické na svahovinách sedimentárních hornin pískovce, permokarbon, flyš, středně těžké lehčí, až středně skeletovité, vláhově příznivé až sušší

**HPJ 31** Kambizemě modální až arenické, eubazické až mezobazické na sedimentárních, minerálně chudých substrátech pískovce, křídové opuky, permokarbon, vždy však lehké, bez skeletu až středně skeletovité, málo vododržné, výsušné

**HPJ 32** Kambizemě modální eubazické až mezobazické na hrubých zvětralinách, propustných, minerálně chudých substrátech, žulách, syenitech, granodioritech, méně ortorulách, středně těžké lehčí s vyšším obsahem grusu, vláhově příznivější ve vlhčím klimatu

**HPJ 33** Kambizemě modální eubazické až mezobazické a kambizemě modální rubifikované na těžších zvětralinách permokarbonu, těžké i středně těžké, někdy i středně skeletovité, s příznivými vláhovými poměry

**HPJ 34** Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické i kryptopodzoly modální na žulách, rulách, svorech a fylitech, středně těžké lehčí až středně skeletovité, vláhově zásobené, vždy však v mírně chladném klimatickém regionu

**HPJ 35** Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické, kryptopodzoly modální včetně slabě oglejených variet, na břidlicích, permokarbonu, flyši, neutrálních vyvřelých horninách a jejich svahovinách, středně těžké, až středně skeletovité, vláhově příznivé až mírně převlhčené, v mírně chladném klimatickém regionu

**HPJ 36** Kryptopodzoly modální, podzoly modální, kambizemě dystrické, případně i kambizemě modální mezobazická, bez rozlišení matečných hornin, převážně středně těžké lehčí, s různou skeletovitostí, půdy až mírně převlhčované, vždy však v chladném klimatickém regionu

**HPJ 37** Kambizemě litické, kambizemě modální, kambizemě rankerové a rankery modální na pevných substrátech bez rozlišení, v podorniči od 30 cm silně skeletovité nebo s pevnou horninou, slabě až středně skeletovité, v ornici středně těžké lehčí až lehké, převážně výsušné, závislé na srážkách

**HPJ 38** Půdy jako předcházející HPJ 37, zrnitostně však středně těžké až těžké, vzhledem k zrnitostnímu složení s lepší vododržností

**HPJ 39** Litozemě modální na substrátech bez rozlišení, s mělkým drnovým horizontem s výchozy pevných hornin, zpravidla 10 až 15 cm mocným, s nepříznivými vláhovými poměry

**HPJ 40** Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici

**HPJ 41** Půdy jako u HPJ 40 avšak zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry

**HPJ 42** Hnědozemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), spraších, středně těžké, bez skeletu, se sklonem k dočasnému převlhčení

**HPJ 43** Hnědozemě luvické, luvizemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), středně těžké, ve spodině i těžší, bez skeletu nebo jen s příměsí, se sklonem k převlhčení

**HPJ 44** Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, na sprašových hlínách (prachovicích), středně těžké, těžší ve spodině, bez skeletu nebo s příměsí, se sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 45** Hnědozemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, často s eolickou příměsí, středně těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 46** Hnědozemě luvické oglejené, luvizemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 47** Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, kambizemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 48** Kambizemě oglejené, rendziny kambické oglejené, pararendziny kambické oglejené a pseudogleje modální na opukách, břidlicích, permokarbonu nebo flyši, středně těžké lehčí až středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému, převážně jarnímu zamokření

**HPJ 49** Kambizemě pelické oglejené, rendziny pelické oglejené, pararendziny kambické a pelické oglejené a pelozemě oglejené na jílovitých zvětralinách břidlic, permokarbonu a flyše, tufech a bazických vyvřelinách, zrnitostně těžké až velmi těžké až středně skeletovité, s vyšším sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 50** Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření

**HPJ 51** Kambizemě oglejené a pseudoglej modální na zahliněných štěrkopiscích, terasách a morénách, zrnitostně lehké nebo středně těžké lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s nepravidelným vodním režimem závislým na srážkách

**HPJ 52** Pseudogleje modální, kambizemě oglejené na lehčích sedimentech limnického terciéru (sladkovodní svrchnokřídové a tercierní uloženiny), často s příměsí eolického materiálu, zpravidla jen slabě skeletovité, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, se sklonem k dočasnému převlhčení

**HPJ 53** Pseudogleje pelické planické, kambizemě oglejené na těžších sedimentech limnického terciéru (sladkovodní svrchnokřídové a tercierní uloženiny), středně těžké až těžké, pouze ojediněle středně skeletovité, málo vodopropustné, periodicky zamokřené

**HPJ 54** Pseudogleje pelické, pelozemě oglejené, pelozemě vyluhované oglejené, kambizemě pelické oglejené, pararendziny pelické oglejené na slínech, jílech mořského neogenu a flyše a jílovitých sedimentech limnického terciéru (sladkovodní svrchnokřídové a terciérní uloženiny), těžké až velmi těžké, s velmi nepříznivými fyzikálními vlastnostmi

**HPJ 55** Fluvizemě psefitické, arenické stratifikované, černice arenické i pararendziny arenické na lehkých nivních uloženinách, často s podloží teras, zpravidla písčité, výsušné

**HPJ 56** Fluvizemě modální eubazické až mezobazické, fluvizemě kambické, koluvizemě modální na nivních uloženinách, často s podloží teras, středně těžké lehčí až středně těžké, zpravidla bez skeletu, vláhově příznivé

**HPJ 57** Fluvizemě pelické a kambické eubazické až mezobazické na těžkých nivních uloženinách, až velmi těžké, bez skeletu, příznivé vlhkostní poměry až převlhčení

**HPJ 58** Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podloží teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí, pouze slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry po odvodnění příznivé

**HPJ 59** Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, těžké i velmi těžké, bez skeletu, vláhové poměry nepříznivé, vyžadují regulaci vodního režimu

**HPJ 60** Černice modální i černice modální karbonátové a černice arenické na nivních uloženinách, spraši i sprašových hlínách, středně těžké, bez skeletu, příznivé vláhové podmínky až mírně vlhčí

**HPJ 61** Černice pelické i černice pelické karbonátové na nivních uloženinách, sprašových hlínách, spraších, jílech i slínech, těžké i velmi těžké, bez skeletu, sklon k převlhčení

**HPJ 62** Černice glejové, černice glejové karbonátové na nivních uloženinách, spraši i sprašových hlínách, středně těžké i lehčí, bez skeletu, dočasně zamokřené spodní vodou kolísající v hloubce 0,5 - 1 m

**HPJ 63** Černice pelické glejové i karbonátové na nivních uloženinách, jílech a slínech, těžké a velmi těžké, bez skeletu, nepříznivé vláhové poměry v důsledku vysoké hladiny spodní vody

**HPJ 64** Gleje modální, stagnogleje modální a gleje fluvické na svahových hlínách, nivních uloženinách, jílovitých a slinitých materiálech, zkulturněné, s upraveným vodním režimem, středně těžké až velmi těžké, bez skeletu nebo slabě skeletovité

**HPJ 65** Gleje akvické, histické, modální zrašelinělé, organozemě glejové na nivních uloženinách, svahovinách, horninách limnického terciéru i flyše, lehké až velmi těžké s vyšším obsahem organických látek, vlhčí než HPJ 64

**HPJ 66** Stagnogleje modální i histické na písčích, jílech, slínech a nivních uloženinách, lehké až velmi těžké s vyšším obsahem organických látek, velmi nepříznivý vodní režim, nevhodné pro jeho úpravu

**HPJ 67** Gleje modální na různých substrátech často vrstevnatě uložených, v polohách širokých depresí a rovinných celků, středně těžké až těžké, při vodních tocích závislé na výšce hladiny toku, zaplavované, těžko odvodnitelné

**HPJ 68** Gleje modální i modální zrašelinělé, gleje histické, černice glejové zrašelinělé na nivních uloženinách v okolí menších vodních toků, půdy úzkých depresí včetně svahů, obtížně vymežitelné, středně těžké až velmi těžké, nepříznivý vodní režim

**HPJ 69** Gleje akvické, gleje akvické zrašeliněné a gleje histické na nivních uloženinách nebo svahovinách, převážně těžké, výrazně zamokřené, půdy depresí a rovinných celků

**HPJ 70** Gleje modální, gleje fluvické a fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podložím teras, při terasových částech širokých niv, středně těžké až velmi těžké, při zvýšené hladině vody v toku trpí záplavami

**HPJ 71** Gleje fluvické, fluvizemě glejové, stejných vlastností jako HPJ 70, avšak výrazně vlhčí při terasových částech úzkých niv

**HPJ 72** Gleje fluvické zrašelinělé a gleje fluvické histické na nivních uloženinách, středně těžké až velmi těžké, trvale pod vlivem hladiny vody v toku

**HPJ 73** Kambizemě oglejené, pseudogleje glejové i hydroeluviální, gleje hydroeluviální i povrchové, nacházející se ve svahových polohách, zpravidla zamokřené s výskytem svahových pramenišť, středně těžké až velmi těžké, až středně skeletovité

**HPJ 74** Pseudogleje glejové i hydroeluviální, gleje povrchové zrašelinělé i gleje povrchové histické, gleje akvické, stagnoglej modální, půdy středně těžké až velmi těžké, až středně skeletovité nacházející se ve svahových polohách, zamokřené se svahovými prameny, často zrašelinělé

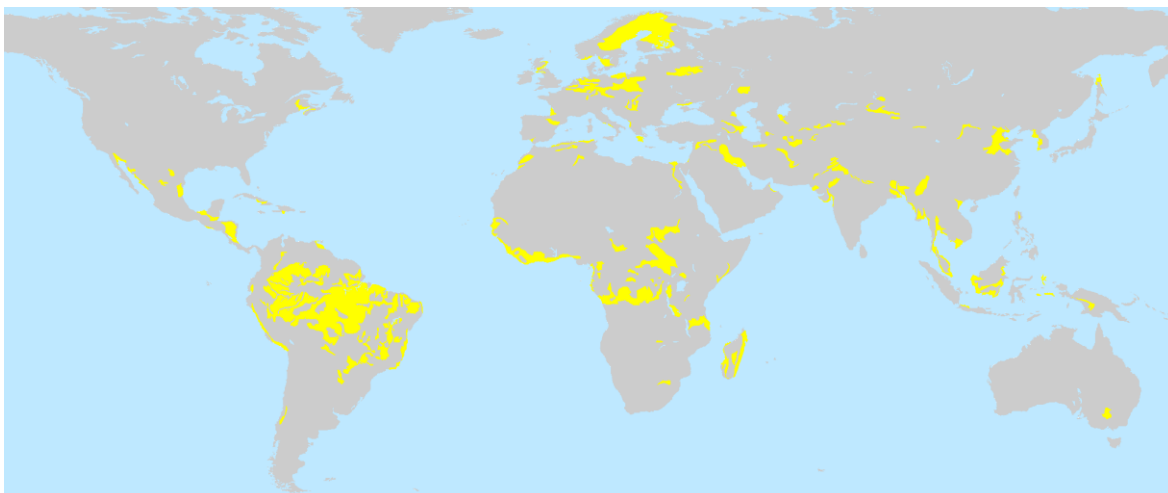
**HPJ 75** Kambizemě oglejené, kambizemě glejové, pseudogleje i gleje, půdy dolních částí svahů, zamokření výraznější než u HPJ 74, obtížně vymežitelné přechody, na deluviích hornin a svahovinách, až středně skeletovité

**HPJ 76** Pseudogleje, gleje zrašelinělé i histické, organozemě, vždy s výrazným rašeliněním a zamokřením, s obtížnou dostupností, zpravidla středně těžké až velmi těžké, skeletovité

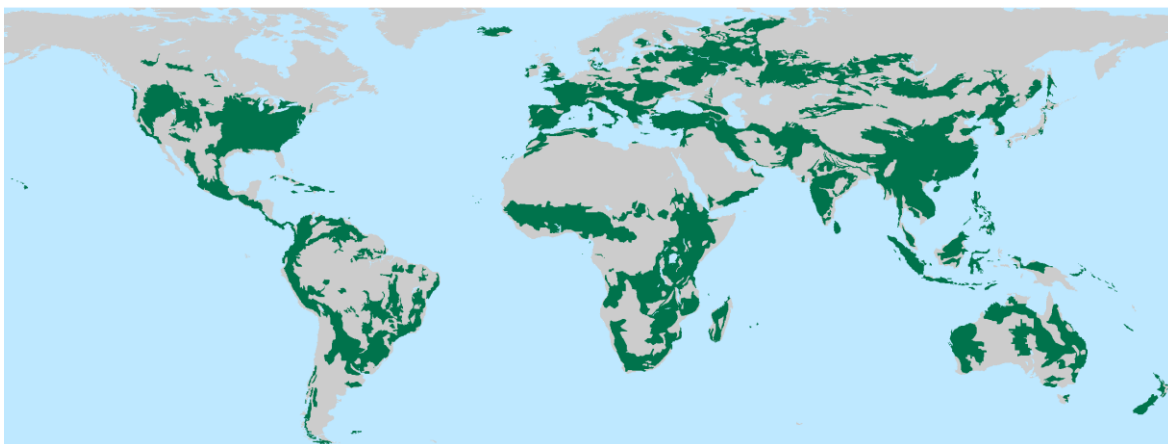
**HPJ 77** Mělké strže do hloubky 3 m s výskytem koluvizemí, regozemí, kambizemí a dalších, s erozními smyvy orníc, různé zrnitosti, bezskeletovité až silně skeletovité, pro zemědělské využití málo vhodné

**HPJ 78** Hluboké strže přesahující 3 m, s nemapovatelným zastoupením hydromorfních půd glejů, pseudoglejů a koluvizemí všech subtypů s výrazně nepříznivými vlhkostními poměry, pro zemědělství nevhodné.

*Příloha II: Znázornění chemické degradace (GLASOD).*



*Příloha III: Znázornění vodní eroze (GLASOD).*



*Příloha IV: Znázornění větrné eroze (GLASOD).*

