

UNIVERZITA SV. CYRILA A METODA V TRNAVE

FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

**Hodnotenie retencie vody a mikrobiálnej biomasy v zhutnených lesných
a poľnohospodárskych pôdach**

Bakalárska práca

Trnava 2022

Juraj Obuch

UNIVERZITA SV. CYRILA A METODA V TRNAVE

FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

**Hodnotenie retencie vody a mikrobiálnej biomasy v zhutnených lesných
a poľnohospodárskych pôdach**

Bakalárska práca

Študijný program: Ochrana a obnova životného prostredia

Študijný odbor: 7. - Ekologické a environmentálne vedy

Školiace pracovisko: Katedra ekochémie a rádioekológie

Školiteľ: Mgr. Martin Valica, PhD.

Konzultant: doc. RNDr. Miroslav Horník, PhD.

30.6.2022

Juraj Obuch



UCM Tnava
Fakulta prírodných vied

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Juraj Obuch
Študijný program: ochrana a obnova životného prostredia (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: 7. - ekologické a environmentálne vedy
Typ záverečnej práce: Bakalárska práca
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Hodnotenie retencie vody a mikrobiálnej diverzity v zhutnených lesných a poľnohospodárskych pôdach

Anotácia: Cieľom bakalárskej práce bude vypracovať súčasný stav poznatkov v podobe literárneho prehľadu poskytujúceho informácie o problematike zhutnených lesných a poľnohospodársky využívaných pôd predovšetkým z pohľadu ich nízkej schopnosti zadržiavania vody a mikrobiálnej diverzity. Taktiež sa zameria na problematiku využívania vodozadržných opatrení v krajine a iných adaptačných opatrení v boji proti zmene klímy. Popri tomto ciele bude práca pozostávať aj z experimentálnej časti, ktorá bude zahŕňať:
(i) vytypovanie lokalít lesných a poľnohospodárskych pôd diferentne postihnutých činnosťami vedúcimi k negatívnemu zhutneniu pôd;
(ii) realizácia in situ meraní rôznych parametrov, ako napr. hutnosti, vlhkosti, teploty a pH pôdy, a odber vzoriek pôdy (pôdnych monolitov) pre ich laboratórnu analýzu;
(iii) analýza odobratých vzoriek pôdy (pôdnych monolitov) z pohľadu ich kapacity zadržiavania vody, pôdnej štruktúry a mikrobiálnej diverzity.
Získané výsledky sa podrobia vzájomnému porovnaniu a diskusii.

Vedúci: Mgr. Martin Valica, PhD.
Oponent: doc. Ing. Stanislav Hostin, PhD.
Katedra: KER - Katedra ekochémie a rádioekológie
Vedúci katedry: doc. RNDr. Miroslav Horník, PhD.
Dátum zadania: 09.03.2021

Dátum schválenia: 28.06.2022

doc. RNDr. Miroslav Horník, PhD.
vedúci katedry

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu prácu na tému: *Hodnotenie retencie vody a mikrobiálnej biomasy v zhutnených lesných a poľnohospodárskych pôdach* vypracoval samostatne pod odborným vedením svojho školiteľa s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Trnave, dňa 30.6.2022

.....

Podpis študenta

Pod'akovanie

Chcel by som touto cestou poďakovať školiteľovi Mgr. Martin Valica, PhD. za jeho odborné vedenie bakalárskej práce. Taktiež by som chcel poďakovať doc. RNDr. Miroslav Horník, PhD. za jeho pripomienky a odborné rady.

Abstrakt

Juraj Obuch: *Hodnotenie retencie vody a mikrobiálnej biomasy v zhutnených lesných a poľnohospodárskych pôdach* [Bakalárska práca] – Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, Fakulta prírodných vied, Katedra ekochémie a rádioekológie – Školiteľ: Mgr. Martin Valica, PhD. – Stupeň odbornej kvalifikácie: Bakalár – Trnava 2022, 58 s.

Bakalárska práca sa venovala problematike zhutnenia poľnohospodárskych a lesných pôd a jeho vplyvu na zadržiavanie vody a diverzitu mikroorganizmov. Súčasťou práce je prehľad základných vlastností pôd (klasifikácia, štruktúra, funkcia atd.) a spracovaný aktuálny prehľad negatívnych dôsledkov zhutnenia pôdy na ŽP.

V rámci praktickej časti práce bolo posudzované zhutnenie pôdy na vybraných lesných a poľnohospodárskych lokalitách, kde hrozí riziko splavovania pôdy. Na týchto lokalitách sa realizovali odbery vzoriek, ktoré boli podrobené stanoveniu pôdnej vody, fyzikálno-chemických vlastností pôdy (pH a vodivosť) a mikrobiologickému rozboru. Vo väčšine prípadov boli zaznamenané značné rozdiely týchto parametrov medzi zhutnenými a nezhutnenými vzorkami pôdy, pričom veľmi dôležitú úlohu na vývoj týchto parametrov v rámci pôdneho stĺpca zohrávali i ďalšie externé faktory (terén, slnečné žiarenie a pod.).

Kľúčové slová: retencia vody, zhutnená pôda, lesná pôda, poľnohospodárska pôda, mikrobiálna diverzita

Abstract

Juraj Obuch: *Evaluation of water retention and microbial diversity in compacted forest and agricultural soils* [Bachelor Thesis] – University of Ss. Cyril and Methodius in Trnava, Faculty of Natural Sciences, Department of Ecochemistry and Radioecology – Supervisor: Mgr. Martin Valica, PhD., Degree of Professional qualification: Bachelor – Trnava 2022, 58 p.

The bachelor thesis study the issue of compaction of agricultural and forest soils and its impact on water retention and diversity of microorganisms. Thesis is an overview of basic properties of soils (classification, soil structure, function, etc.) and current overview of the negative impact of soil compaction on the environment.

Work study soil compaction of selected forest and agricultural localities, where there is a high risk of soil flushing. Sampling was performed at these localities, which were used to determination of soil water content, physico-chemical properties of soil (pH and conductivity) and microbiological analysis. In most cases, significant differences in these parameters were recorded between compacted and non-compacted soil samples, while other external factors (terrain, solar radiation, etc.) also played a very important role in the development of these parameters within the soil column.

Key words: water retention, compacted soil, forest soil, agricultural soil, microbial diversity

Obsah

Obsah	1
Zoznam ilustrácií a tabuliek.....	3
Zoznam skratiek a značiek.....	4
Úvod.....	5
1 Pôda	6
1.1 Vznik a vývoj pôdy	6
1.1.1 Pôdotvorné faktory	7
1.2 Pôdne horizonty	8
1.3 Funkcia pôdy	9
1.4 Klasifikačné pôdne jednotky	10
1.5 Štruktúra pôdy	12
1.6 Retencia vody v pôde	12
1.7 Mikrobiálna diverzita pôdy	14
1.8 Hodnotenie kvality pôd	15
2 Zhutnenie pôd	16
2.1 Vplyv zhutnenia na štruktúru pôdy	18
2.2 Vplyv zhutnenia na krajinu	19
2.3 Vplyv zhutnenia na retenciu vody v pôde.....	20
2.4 Vplyv zhutnenia na mikrobiálnu diverzitu.....	21
2.5 Riešenia zadržiavania vody na zhutnenej pôde.....	22
3 Ciele bakalárskej práce	24
4 Materiál a metódy	25
4.1 Prístroje a zariadenia	25
4.2 Chemikálie	25
4.3 Výber záujmových lokalít	26
4.4 Stanovenie penetračného odporu pôdy	27
4.5 Odber vzoriek pôd.....	27
4.6 Spracovanie vzoriek pôdy	28
4.7 Príprava živných pôd pre mikrobiologický rozbor vzoriek	28
4.8 Príprava a očkovanie vzoriek pôdných roztokov	29

4.9	Stanovenie obsahu pôdnej vody vo vzorkách	30
4.10	Stanovenie fyzikálno-chemických parametrov pôdy	30
5	Výsledky a diskusia	32
5.1	Stanovenie penetračného odporu pôdy vo vybraných lesných lokalitách	32
5.2	Stanovenie penetračného odporu pôdy vo vybraných poľných lokalitách	34
5.3	Stanovenie mikrobiologickej diverzity vo vzorkách pôd.....	36
5.4	Hodnotenie retencie vody	40
5.5	Hodnotenie fyzikálno-chemických vlastností pôd	42
6	Záver	46

Zoznam ilustrácii a tabuliek

Obr. 1 Znáznornenie rozdelenia pôdneho profilu (vertikálneho prierezu pôdy), podľa pôdných horizontov.:	8
Obr. 2 Mapa Slovenska, ktorá zobrazuje typy pôd a ich rozdelenie.	10
Obr. 3 Štruktúra pôdy a jej retenčná schopnosť..	14
Obr. 4 Rozdiel pôdných štruktúr zhutnenej pôdy a bez zhutnenia.	18
Obr. 5 Štruktúra pôdných pórov a ich rozdiel v retencií vody.	18
Obr. 6 Rozrušenie zhutnenej pôdy rýpadlom.	22
Obr. 7 Príprava kaskádovitých nádrží pre zadržiavanie vody zo zhutnenej pôdy.	23
Obr. 8 Lokalizácia vybraných záujmových lokalít. Zdroj: mapy.cz	26
Obr. 9 Schématické znázornenie procesu kvartovania	28
Obr. 10 Naočkované agarové médium	30
Obr. 11 Multiparametrický prístroj COMBI 5000 a kadička na zarábanie roztokov	31
Obr. 12 Ortofotosnímok lokality lesnej lokality 1 s vyznačenými meracími miestami; fotografia záujmovej lokality	32
Obr. 13 Grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach na lesnej lokalite 1.	32
Obr. 14 Ortofotosnímok lokality lesnej lokality 2 s vyznačenými meracími miestami; fotografia záujmovej lokality	33
Obr. 15 Grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach na lesnej lokalite 2.	33
Obr. 16 Ortofotosnímok poľnej lokality 1 s vyznačenými meracími a odberovými miestami (vľavo hore); a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach.	34
Obr. 17 Ortofotosnímok poľnej lokality 2 s vyznačenými meracími miestami; a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach.	35
Obr. 18 Ortofotosnímok poľnej lokality 3 s vyznačenými meracími miestami; a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach.	36
Obr. 19 Celkové počty MO stanovených vo vzorkách pôdy z lesných pôd vyrastených na DEV a YGC médiu.	38
Obr. 20 Celkové počty MO stanovených vo vzorkách pôdy z poľných pôd vyrastených na DEV a YGC médiu.	39
Obr. 21 Obsah pôdnej vody vo vzorkách pôdy odobraných na lesných lokalitách 1 a 2.	40
Obr. 22 Obsah pôdnej vody vo vzorkách pôdy odobraných na poľných lokalitách 1 a 2.	41
Obr. 23 Grafické znázornenie nameraných hodnôt pH pôdy v lesných lokalitách 1 a 2.	42
Obr. 24 Grafické znázornenie nameraných hodnôt pH pôdy v poľných lokalitách 1 a 2.	43
Obr. 25 Grafické znázornenie nameraných hodnôt vodivosti v lesných lokalitách 1 a 2.	44
Obr. 26 Grafické znázornenie nameraných hodnôt vodivosti v poľných lokalitách 1 a 2.	45
Tab. 1 Pôdne druhy a ich kategorizácia obsahu častíc < 0,01 mm.	11
Tab. 2 Rozdelenie klasifikačných systémov pre opis pôdných pórov	13
Tab. 3 Vyhodnotenie intenzity nárastu kolónií MO zo vzoriek lesných a poľných pôd.	37

Zoznam skratiek a značiek

MO – mikroorganizmy

ŽP – životné prostredie

KTJ – kolóniotvorné jednotky

Les1 – lesná lokalita 1

Les2 – lesná lokalita 2

Pole1 – poľná lokalita 1

Pole2 – poľná lokalita 2

Úvod

Pôda predstavuje dôležitú časť biosféry. Je zdrojom veľkého množstva dôležitých surovín a prebieha tu nespočetné množstvo fyzikálnych, chemických a biochemických procesov, ktoré sú dôležité pre zachovanie a rozvoj života na Zemi. Pôda predstavuje jednu z matric životného prostredia, ktorá je veľmi úzko prepojená so všetkými zložkami tvoriacimi biosféru.

V dôsledku prebiehajúcej zmeny klímy nastáva zvyšovanie teploty vzduchu, s ktorým veľmi úzko súvisí nerovnomerná distribúcia dažďových zrážok. Tá je sprevádzaná extrémnymi podmienkami období dlhého sucha s privalovými dažďami, ktoré krajina nedokáže zachytiť.

Veľkú úlohu pri zachytávaní vody v ŽP plní práve pôda. Vodozadržná kapacita pôdy je však výrazne ovplyvnená antropogénnou činnosťou akou sú napríklad menej vhodné spôsoby obrábania poľnohospodárskych pôd (orba mimo vrstevníc a bez existencie prirodzených medzí, ktoré by oddeľovali jednotlivé obrábané celky), ako aj zhutnené lesné pôdy vytvárané, napr. aktívnou ťažbou dreva v lesoch. Obidva tieto fenomény zákonite vedú k čoraz väčšiemu deficitu vody a zhoršeniu vlastností, ktoré vyplývajú z jej obsahu v pôde.

Cieľom bakalárskej práce je vypracovať aktuálny stav poznatkov o vplyve zhutnenia na lesné a poľnohospodárske pôdy. Na vybraných lokalitách prakticky sledovať vplyv zhutnenia pomocou *in situ* merania a laboratórnych analýz vzoriek pôdy (mikrobiologické a fyzikálno-chemické analýzy).

1 Pôda

Pôda predstavuje najvrchnejšiu časť zemskej kôry. Je kľúčovou zložkou v lesnom poľnohospodárstve, životnom prostredí a ekosystéme. Je veľmi citlivá na antropogénne zásahy, ktoré z nej môžu vytvoriť nefunkčnú a bezvýznamnú maticu. Zásobuje všetky živé organizmy na povrchu i pod povrchom, poskytuje im potrebné prvky a látky, ktoré sú nevyhnutné pre ich rast a vývin. Prebieha v nej kolobeh živín, vývoj rastlín, výmena plynov, ukladanie uhlíka a rozklad odpadných produktov.

Skladá sa zo vzduchu, vody, minerálov, agregátov a z rôznej rastlinnej a živočíšnej, prevažne odumretej organickej hmoty. Najčastejšie vyskytujúce sa prvky, ktoré podporujú rast organizmov sú draslík, fosfor a dusík. Menej vyskytujúce sa minerály v pôde sú horčík, fosfor a síra. V optimálnom stave obsahuje približne 45% pevného materiálu (piesočnaté, ílovité a štrkové častice), 5% organickej hmoty a 50% pórovitých priestorov (Kalev, 2018).

Pôda a rastliny sú medzi sebou prepojené a neustále spolupracujú, vymieňajú si živiny a všetky potrebné informácie cez koreňové systémy. Pôda a jej zloženie a štruktúra sa odlišujú hlavne od geografickej polohy, v ktorej sa nachádza. Pôda sa považuje za neobnoviteľný zdroj a jej tvorba je časovo náročná a zdĺhavá (Dazzi, 2021).

1.1 Vznik a vývoj pôdy

Vývoj pôdy a jej celkových profilov sa nazýva pedogenéza. Každý profil má vytvorené horizonty, ktoré sa odlišujú fyzikálno-chemickými vlastnosťami. Najjednoduchšie rozlíšenie horizontov sa dá definovať na základe ich rôznej farebnosti, ktorá je podmienená rôznou štruktúrou a obsahom prítomnej pôdy.

Pôdy možno taktiež rozdeliť na zonálne a intrazonálne.

Genéza zonálnych pôd je podmienená hlavne pôsobením bioklimatických činiteľov. Vznikajú na bežných substrátoch bez vplyvu povrchovej, alebo podzemnej vody.

Intrazonálne pôdy nie sú podmienené bioklimatickými činiteľmi ako to je v prípade zonálnych pôd. Sú podmienené hlavne extrémnym zrnitostným a chemickým charakterom substrátov (Mičian, 1977). Oba typy ovplyvňujú aj ďalšie procesy ako je čas, klíma, typ horniny a vegetácia.

Zonálne pôdy sa ďalej delia na podzolové a hnedé pôdy. Podzolové pôdy sa vyskytujú prevažne pri boreálnych ihličnatých lesoch alebo vresoviskách v chladnom a vlhkom podnebí. Tieto pôdy majú kyslý charakter a dobrú vylúhovateľnosť. Hnedý typ

pôd sa prevažne vyskytuje pri dubových a bukových lesoch, kde dominujú listnaté stromy. Intrazonálne pôdy majú v pôdnom profile nadmerné množstvo vody a malý obsah vzduchu. To vyhovuje mikroorganizmom, ktoré žijú alebo sa rozmnožujú pri anaeróbných podmienkach. Patrí sem glejovitý typ pôdy, redzinová pôda alebo ranker (Mareddy, 2017).

Pri vývoji pôdy majú dôležitú úlohu procesy elúcie (tzv. vymývanie) a iluviácie (tzv. premývanie). Prostredníctvom týchto procesov sa pohybujú časti ílu a iné zložky z povrchu do nižších horizontov (Osman, 2013).

Fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy sú z pravidla ovplyvnené zoogénnou aktivitou. Živočíchy žijúce v pôde premiešavajú pôdu, čím menia jej mineralogické vlastnosti a distribúciu. Ďalej tu dochádza k vzniku organických humínových látok, ktoré biochemicky premieňajú pôdne organizmy. Schopnosť rozkladať odumreté zvyšky zlepšuje chemickú, fyzikálnu a biologickú vlastnosť pôd. Medzi najrozšírenejšie pôdne organizmy, ktoré menia zloženie pôd sú dážďovky. Ich funkciou je udržiavať pôdu v rovnovážnom stave. Pôda a jej tvorba prebieha v rôznych krokoch a fázach, ktoré sú veľmi komplexné a jednotlivé fázy sú od seba závislé.

1.1.1 Pôdotvorné faktory

Základným pôdotvorným faktorom je materský materiál a jeho zloženie. Hlavnou zložkou materského materiálu sú horniny, z ktorých sú pôdy ako celok vytvorené. Tvorba pôdy začína fyzikálnym a chemickým rozpadom materskej horniny pôsobením externých vplyvov. Horniny sa zvetrávaním rozpadajú na menšie častice, čím sa modifikujú nielen ich fyzikálne a chemické vlastnosti, ale po určitom čase sa z nich vytvorí pôda. Zvetrávanie môže tiež syntetizovať nové minerály, ktoré sú nevyhnutné pre proces tvorby pôdy. Samotné zvetrávanie určujú fyzikálne, chemické a biologické faktory.

K fyzikálnym procesom patrí zmena teploty, vysychanie, topenie, zmrazenie alebo erózia.

V procesoch chemického zvetrávania zohráva dôležitú úlohu oxid uhličitý, ktorý sa rozpúšťa v dažďovej vode a dochádza k vzniku slabej kyseliny uhličitej. Kontakt najmä s kamennými útvarmi vyvolá po určitom čase opotrebenie a následný rozpad hornín. Chemické a fyzikálne zvetrávanie sa navzájom dopĺňajú, čo celkovo urýchľuje proces rozpadu hornín.

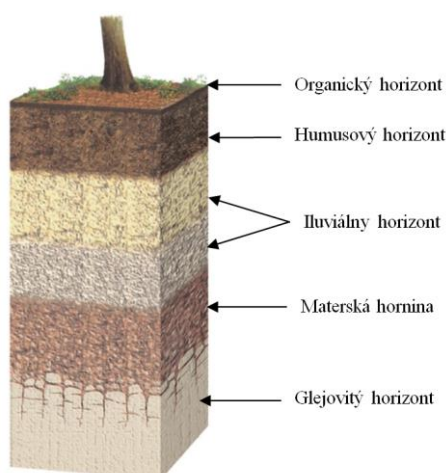
Posledným druhom zvetrávania je biologické, pri ktorom rôzne druhy organizmov pôsobia na materiály fyzikálne i chemicky. Stromy a rastliny svojím koreňovým systémom

prenikajú cez malé trhliny, čím rozširujú ich plochu a dochádza k rozpadu týchto hornín. (Creamer a kol., 2018).

Medzi sekundárne pôdotvorné faktory patrí čas, topografiu a činnosť organizmov.

1.2 Pôdne horizonty

Pôda je rozdelená na jednotlivé vrstvy, ktoré sa nazývajú pôdne horizonty. Horizont je vrstva pôdy, ktorá sa nachádza rovnobežne s povrchom krajiny. Na Obr. 1 je znázornených 5 základných pôdnych horizontov.



Obr. 1 Znázornenie rozdelenia pôdneho profilu (vertikálneho prierezu pôdy), podľa pôdnych horizontov. Upravené podľa: (Pearson Prentice Hall, 2005).

Organický horizont predstavuje vrchný pôdny horizont. Je zložený prevažne z odumretých živočíšnych a rastlinných zvyškov. Nastávajú tu veľmi intenzívne mikrobiologické a biochemické premeny. V niektorých pôdnych profiloch sa organický horizont vôbec nevyskytuje a iné sú tvorené len ním (rašelinové pôdy).

Humusový horizont sa nachádza pod organickým horizontom. Obsahuje minerálnu hmotu premiešanú s jemným organickým materiálom. Máva zvyčajne tmavšiu farbu a vytvára väčšiu vrstvu ako organická časť pôdy. Minerály obsiahnuté v humusovom horizonte sem prenáša dažďová voda z povrchu.

Iluviálny horizont sa vytvára pod humusovým horizontom. Dochádza tu k akumulácii materiálov pochádzajúcich z vrchných pôdnych horizontov. Zvyčajne sa vyskytuje v strede pôdneho profilu. V suchých oblastiach sa tu môže akumulovať síran alebo uhličitan vápenatý. Naproti tomu vo vlhkých oblastiach sa akumulujú rôzne oxidy železa a hliníka.

Ďalej sa nachádza vrstva materskej horniny. Ide o materiál, ktorý ešte nebol rozrušený alebo zmenený pedogénnymi procesmi. Všetky pôdne horizonty, ktoré sú nad touto vrstvou, sa vyvíjajú práve z materského horniny.

Posledný pôdny horizont sa označuje ako glejovitý a je špecifický vysokým obsahom podzemnej vody (Osman, 2013).

1.3 Funkcia pôdy

Primárnou funkciou pôdy je tvorba biomasy, či už lesnej, alebo poľnohospodárskej. Sekundárnou veľmi dôležitou funkciou je ekologická stabilizácia okolitého prostredia. V pôde sa uskutočňuje rad funkcií (Hatfield, 2017):

- kolobeh živín,
- filtrácia a infiltrácia vody,
- transformácia živín,
- ukladanie rôznych prvkov, ako je uhlík a dusík MO,
- podporuje celkovú biodiverzitu a biotopy,
- domov pre rôzne živé organizmy a MO.

Pôda udržiava svoju kvalitu pre rastlinstvo a živočíšstvo, ktoré sú závislé od jej podmienok. Pôda vďaka svojim filtračným vlastnostiam dokáže absorbovať a viazať rôzne toxické i netoxické látky a odstraňovať ich z látkového cyklu. Znečistená voda, ktorá bola infiltrovaná do pôdy prechádza cez pôdne horizonty, kde sa zbavuje rôznych znečisťujúcich látok. Zachytené znečisťujúce látky v pôde sú následne MO spracovávané a rozkladané. Zvýšená ľudská aktivita na pôdu zapríčiňuje menšiu a pomalšiu schopnosť pôdnej regenerácie a samotnej pôdnej kvality (Vidal, 2016).

Voda prechádza cez minerálne podložia, kde je obohatovaná minerálnymi zložkami. Takto prefiltrovaná a obohatená voda sa dostáva do podzemných vôd. Samotná pôda vďaka vode a organickej hmote dokáže regulovať svoju teplotu, a tým nedochádza k veľkým výkyvom, ktoré by boli nežiaduce pre organizmy.

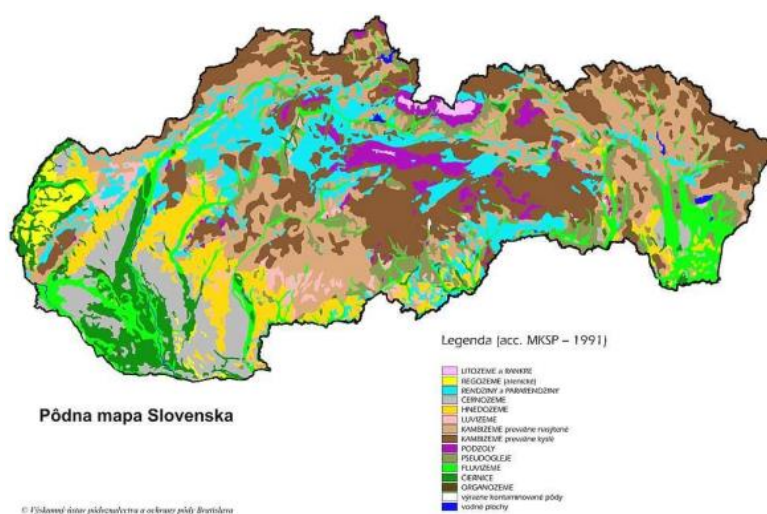
Kolobeh živín v pôde je nevyhnutný pre fungovanie ekosystému. Dusík, uhlík či fosfor sú absorbované do organickej hmoty a premieňané vplyvom biochemických reakcií, MO. MO rozkladajú odumretú organickú hmotu napr. listy, drevo a korene rastlín. Premieňajú ich na zlúčeniny, ktoré neskôr využívajú pre svoj rast.

Významnou funkciou pôdy je viazanie a ukladanie uhlíka. Pôda obsahuje dvakrát väčšie množstvo uhlíka ako je vo vegetácii a atmosfére dohromady. Uhlík sa tu ukladá vo

forme pôdnej organickej hmoty. Primárnymi zložkami obsahujúce uhlík sú hubová a bakteriálna nekromasa, ktoré udržujú celkovú hladinu organickej hmoty v pôde. Množstvá uloženého uhlíka v pôde sa líšia podľa lokality a závisia od pH a mineralógie pôdy (Liang a kol., 2017).

1.4 Klasifikačné pôdne jednotky

Na Slovensku máme sedem najdôležitejších klasifikačných pôdnych jednotiek podľa ktorých pôdu rozlišujeme:



Obr. 2 Mapa Slovenska, ktorá zobrazuje typy pôd a ich rozdelenie. Prevzaté z: (VÚPOP, 2019).

- **Skupina** - hlavný ukazovateľ zatriedenia pôd. Identifikuje sa podľa pôdneho horizontu, ktorý je najviac dominujúci. Základné označenie skupiny sa vykonáva písmenom (A, B, C, D a N/A- neaplikuje sa žiadne z označení)
- **Pôdny typ** - určuje celkovú identifikáciu a kategorizáciu pôdy, podľa pôdnych horizontov a dominantných morfológických znakov. Na Slovensku evidujeme 21 typov pôd (Obr. 2). Najviac rozšírené typy sú kambizeme (zastúpenie > 30% rozlohy SR), fluvizeme (14,4% SR), hnedozeme (11% SR) a černoze (cca 10% SR). Menej rozšírené typy pôd sú pseudogleje, černice, regozeme či rendzina a ďalšie (VÚPOP, 2019).
- **Subtyp** - charakterizuje typ pôdy, ktorý môže byť rozdelený podľa rôznych charakteristických znakov napr. vizuálny znak.
- **Varieta** - identifikovanie a kategorizovanie pôdy podľa:
 - chemických vlastností vybraných horizontov

- charakteru antropických zásahov
- erózne-akumulačných znakov
- charakter organických a mrazových foriem.

Variety sa rozdeľujú (Dodok, 2017):

- hlavné horizonty Adi - určuje primárne štádium pôdotvorby o hrúbke 1-10 centimetrov
- antropogénne horizonty A_{dr}, A_d a H_d - obsahujú artefakty ako sú rôzne úlomky skla, plastu, železa, či gummy.
- **Pôdny druh** - určuje sa podľa obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií (Tab. 1).

Tab. 1 Pôdne druhy a ich kategorizácia obsahu častíc <0,01 mm podľa Novákovej klasifikačnej stupnice zemín.

Kategória zrnitosti	Obsahu častíc < 0,01 mm	Zastúpenie v %
pôdy ľahké	piesočnaté (0-10%) hlinito-piesočnaté (10 - 20%)	6,4
pôdy stredne ťažké	piesočnato-hlinité (20-30%) hlinité (30 - 45%)	73,2
pôdy ťažké	ílovito-hlinité (45 - 60%)	17,1
pôdy veľmi ťažké	ílovité (60-75%) íly (> 75%)	3,3

- **Substrát** - delenie sa vykonáva kategorizáciou na:
 - pôdotvorné - vytvárajú sa zvetrávaním hornín a obsahujú sekundárne zložky, ktoré sú rozpustné vo vode alebo sú rozložiteľné organizmami a MO. Z rozložených sekundárnych zložiek vzniká pôdny profil, ktorý je následne členený do pôdnych horizontov (Čurlík, 2012).
 - antropogénne – rozdeľujú sa podľa pôvodu na (Zverková, 2011):
 - prírodný - štrky, piesky, kamenitý materiál alebo rašelinový či humulitový materiál.
 - prírodno-technogénny - pôvod materiálu, kde môžeme zaradiť odpad z banského priemyslu, zmiešané technologicko-rekultivačné materiály

- technogénny - stavebný materiál, smetiskový odpad, priemyselný odpad, popolčky
- Sfarbenia pôdy - určuje úrodnosť, čím je pôda tmavšia, tým obsahuje vyšší podiel organickej hmoty. Zafarbenie pôdy je podmienené humusovou zložkou. Podľa sfarbenia pôdy sa dajú zistiť ďalšie informácie o pôde (napr. čierne zeminy sú viac teplejšie a majú vysokú výparnosť) (Mareddy, 2017).

1.5 Štruktúra pôdy

Častice, z ktorých sa skladá pôda sa označujú ako tzv. pôdne agregáty a konglomeráty. Vzájomne sa líšia svojím tvarom (guľatý, hranatý a pod), veľkosťou a ich zložením (hlina, piesok, organická hmota). Tieto parametre definujú štruktúru pôdy. Agregáty a ich tvorba je podmienená naviazaním minerálnych a organických koloidov. Piesok alebo bahno spája častice, a tým vznikajú agregáty rôznej veľkosti a stability. Ideálna veľkosť pôdných agregátov sa pohybuje v rozmedzí od 1 mm do 10 mm. Práve veľkosť agregátov v pôde určuje jej celkovú štruktúru a kvalitu.

Poznáme pôdy, ktoré majú vyššiu a nižšiu štruktúru agregátov. Vyššia štruktúra predstavuje pre pôdu dobré prevzdušnenie, pôda je drobivá a má veľmi vysokú vodozadržnú kapacitu. Pri nižších štruktúrach je pôda hustejšia, stabilnejšia, pórovitejšia ale nie je dokonale prevzdušnená.

Dôležitou zložkou pôdy je humusová časť, ktorá vplýva na veľkosť pórov, zvyšuje absorpciu a zadržiavanie vody a zároveň uľahčuje jej pohyb vo všetkých smeroch (Jackson, 2020).

Pôdy s vysokým podielom ílu sa vyznačujú vyššou pevnosťou a stabilitou. Oproti piesočnatým pôdam, ktoré sú veľmi ľahko rozrušiteľné (Rai a kol., 2017).

Štruktúra pôdy je nevyhnutná pri trofických interakciách v spoločenstvách, ktoré obývajú pôdu. Práve pôdna mikrobiota je zodpovedná za vstup organického uhlíka do pôdy, jeho spracovanie a uloženie. Táto činnosť sa vykonáva prevažne v malých pôdných póroch a organo-minerálnych asociáciách (Erktan a kol., 2020).

1.6 Retencia vody v pôde

Retenciu vody je možné definovať ako schopnosť pôdy zadržiavať vodu v rámci pôdných pórov. Pri tomto parametre sa hodnotí maximálna možná miera nasýtenia pôdy vodou a takisto čas, ktorý je pôda schopná ju udržať.

To koľko vody je schopná pôda zadržať primárne závisí od jej zrnitosti, veľkosti pôdnych pórov a obsahu organického uhlíka (Obr. 3). Zadržiavanie je teda komplexnou funkciou zloženia pôdy. Podľa zloženia organickej hmoty v pôde sú ovplyvnené celkové adsorpčné a retenčné vlastnosti pôdy (Rawls a kol., 2003). Pri retencii vody v pôde sa uplatňujú procesy adhézie (tzv. príľnavosť, pripojenie rôzneho materiálu o materiál a kohézie (poskytuje molekulám vody ich spojitosť)).

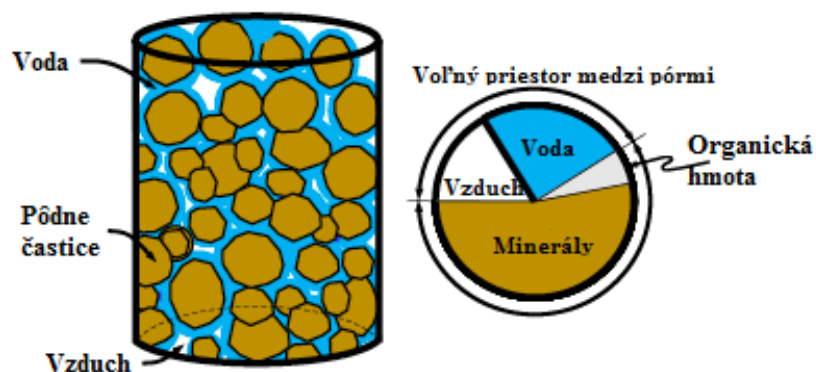
Častice, ktoré sú jemné, zadržia väčší objem vody ako hrubé častice obsiahnuté v pôdnej matrici. Póry v pôde možno definovať ako vzdušné priestory, ktoré existujú medzi časticami pôdy. Existujú 2 klasifikačné systémy na opis veľkosti a funkčnosti pôdnych pórov (Tab. 2).

Tab. 2 Rozdelenie klasifikačných systémov pre opis pôdnych pórov

Systém	Priemer	Názov
Kay	$> 30 \mu\text{m}$	makropóry
	medzi $30 \mu\text{m}$ a $0,2 \mu\text{m}$	mezospóry
	$< 0,2 \mu\text{m}$	mikropóry
Grónsk	$\text{ECD} > 50 \mu\text{m}$	prenosové póry
	50 a $0,5 \mu\text{m}$	zásobné póry
	$< 0,5 \mu\text{m}$	zvyškové póry

Makropóry udržujú prevzdušenie a priepustnosť pôdy. Pôdne organizmy najčastejšie dážďovky, väčšie podzemné stavovce a bezstavovce spolu s koreňovým systémom rastlín sú hlavnými tvorcami makropórov. Tieto póry umožňujú vode rýchlejšiu infiltráciu do pôdy. Pri póroch väčších ako $50 \mu\text{m}$ voda kontinuálne a bez problémov oteká cez pórovú štruktúru pokiaľ sú medzi sebou póry poprepájané.

Mikropóry majú za úlohu zadržiavať vodu v pôde kapilárnymi silami. Zmeny pôdnych procesov či už prírodných, alebo umelých môžu degradovať ako aj meniť póry a vyvolávať ich zmeny (Azizsoltani a kol., 2016). Piesočnaté pôdy obsahujú veľké póry, ktoré nemajú dostatočnú schopnosť zadržiavania a z tohto dôvodu ju rýchlo odvádzajú do pôdy. Ílovité pôdy obsahujú malé póry, ktoré pôdu udržiavajú v stálej vlhkosti.



Obr. 3 Štruktúra pôdy a jej retenčná schopnosť. Upravené podľa: (Sharma, 2018).

Pórovitosti a retenciu pôdy popisujú nasledovné parametre:

- **Merná špecifická hmotnosť (ρ_s)** – vyjadruje hmotnosť 1 m³ pôdy zbavenej pôdnych pórov a vody.
- **Objemová hmotnosť (ρ_d)** – hmotnosť 1 m³ pôdy. Vyjadruje sa v t.m⁻³, alebo kg.m⁻³. Závisí od štruktúry, pôdnych častíc alebo obsahu vody a vzduchu v pôde.
- **Pórovitosť pôdy** – nazývame celkový objem pórov medzi pôdnymi časticami, agregátmi i vo vnútri agregátov, vyjadrený v percentách k určitému objemu pevnej fázy v prirodzenom zložení.

Pórovitosť pôdy sa zisťuje nepriamo výpočtom pomocou mernej špecifickej hmotnosti ρ_s a objemovej hmotnosti redukovanej ρ_d podľa vzorca:

$$P = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_s} * 100$$

Ak chceme porovnať do akej miery rôzne pôdy (zeminy) sú nasýtené vodou vo vzťahu k celkovej pórovitosti, môžeme vypočítať i tzv. relatívnu vlhkosť a relatívnu vodnú kapacitu (Hanes, 1995).

1.7 Mikrobiálna diverzita pôdy

Mikrobiálna diverzita je pre pôdu ako systém veľmi dôležitým prvkom z dôvodu veľkého vplyvu na pôdny ekosystém, jeho štruktúru a zloženie (Yang a kol., 2021). Baktérie a huby sú zodpovedné za cyklus významných biogénnych prvkov v pôde, čo prispieva a udržiava pôdu v zdraví a kondícii. MO sú zodpovedné za eliminovanie nebezpečných látok, ktoré sa dostali antropogénnou činnosťou do pôdneho profilu (Dipanti a kol., 2018).

Veľkosť pôdnych častíc úzko súvisí so zmenou diverzity. Pri bahnovitých frakciách je menej rôznorodejšie bakteriálne spoločenstvo ako v ílovitých, kde prevláda rôznorodosť. Vo všeobecnosti mikroagregáty majú vyššie zastúpenie bakteriálnej diverzity ako majú makroagregáty, ktoré sú väčších rozmerov (Xu a kol., 2021).

Najväčšia mikrobiálna diverzita vyskytuje v povrchovej vrstve pôdy, približne do hĺbky 25 cm. Vrstva obsahuje najväčšie množstvá organickej hmoty a pôdnych živín. Mikrobiálne spoločenstvá, ktoré sa nachádzajú v hlbších častiach pôdy majú väčší vplyv na pôdotvorné procesy než v prípade povrchových spoločenstiev.

Diverzita MO a ich množstvo sa vertikálnym smerom značne líši. V povrchových vrstvách je najväčšia zmena v zastúpení od (0 – 15 cm) až (15 – 30 cm) pričom medzi (15 – 90 cm) nedochádza k výraznej zmene diverzity. Vo väčších hĺbkach (90 – 180 cm) je značne znížený objem mikrobiálnych spoločenstiev (Hao a kol., 2020).

1.8 Hodnotenie kvality pôd

Hodnotenie kvality pôdy je možné vykonávať z 2 hľadísk. Významnými ukazovateľmi hodnotenia kvality lesnej a poľnohospodárskej pôdy je ich produkčná a ekologická stránka. Práve tieto dva faktory určujú či je pôda vhodná pre samotnú krajinnú oblasť, udržanie biodiverzity a pestovanie plodín. Faktory nás informujú v akom množstve budú výnosy z konkrétneho druhu pôdy a o množstve zastúpenia biologickej časti v pôde.

Produkčná funkcia pôdy je dôležitým faktorom pre ľudstvo. Požiadavky a nároky majú zvyšujúci sa trend a množstvo dostupnej poľnohospodárskej pôdy je obmedzené. Typickým príkladom je salinizácia pôd. Vzniká pri rozpúšťadlách, ktoré sú aplikované na pôdu alebo je spôsobená v dôsledku zhutnenia pôdy.

Ďalším negatívnym vplyvom je zvyšujúca sa dezertifikácia pôd, ktorá je podmienená hlavne nesprávnymi spôsobmi obrábania, nadmerným spásaním dobytkom a pod.

Vysoko rizikovým faktorom pre pôdu je jej kontaminácia v dôsledku používania určitých toxických postrekov, pesticídov proti škodcom, burinám, ktoré sa používajú pri ochrane lesných porastov a rastlinných plodín. To má za dôsledok zvýšenú toxicitu pôd, zníženú kvalitnú a produkčnú časť.

Ekologické hodnotenie kvality pôdy je faktorom ktorý určuje funkčnosť pôdy a hodnotí ju od jej štruktúry cez organizmy, až po vodozadržnú schopnosť. Kvalita pôdy a okolitého prostredia by mala byť udržiavaná vo všetkých aspektoch, od ktorých sa odvíja zdravie a kvalita najmä rastlín, zvierat a ľudí.

Dôležitým kvalitatívnym znakom je hodnotenie pôdnej reakcie (pH). Určuje jej

kyslosť alebo zásaditosť, čo predstavuje jednoduchú indikáciu prebiehajúcich chemických procesov v pôde. Najoptimálnejšia hranica pH pôdy je v rozmedzí pH 6 až 7, vtedy sú organizmy najaktívnejšie a je zabezpečená bezproblémová dostupnosť živín (Hatten, 2019). Okrem hodnoty pH majú dôležitý vplyv na celkovú úrodnosť pôdy aj ďalšie podmienky:

- rýchlosť vsakovania vody pri zrážkach – nemala by byť menšia ako 30 mm za prvú hodinu
- obsah skeletu - vo vrchných 30 cm pôdy by mal byť < 10 %,
- celková mineralizácia vodného výluhu pôdy - nemôže byť > 0,3 % a obsah humusu do hĺbky 30 cm > 2 %,
- pôda nesmie obsahovať žiadne škodlivé látky,
- erózna ohrozenosť - by nemala byť vyššia ako tzv. erózný koeficient 0,4, čo značí, že by nemala byť na svahu nad 5 %,
- premŕzanie pôdy – nesmie byť hlbšie ako 50 cm a teplota pôdy v mesiacoch jún – september by nemala byť nižšia ako 15 °C v hĺbke 50 cm,
- obsah vody v pôde - za celé vegetačné obdobie by nemal klesnúť pod trojnásobok čísla hygroscopicity (Vilček, 2011).

Od ekologickej kvality pôdy sa odvíja funkcia MO diverzity. Zmena diverzity môže nastať pri narušení pôdných štruktúr, čo vedie k úhynu alebo nesprávnej funkcií MO. Niektoré organizmy majú schopnosť adaptácie sa na nové prostredie, čo predstavuje iba malé percento z celkového osídlenia pôdy.

Môže nastať i tzv. prirodzené narušenie vplyvom prírodných javov, počasia alebo prítomnosťou zvierat.

Zvýšenie objemovej hmotnosti, zníženie pórovitosti, obmedzenie dostupnosti pôdnej vody a nedostatočné prevzdušnenie mení štruktúru a obsadenie mikrobiálnej diverzity v pôde. Ekosystémové funkcie a základné funkcie pôdy sú ovplyvnené práve zhutnením pôdy (Xu a kol., 2021).

2 Zhutnenie pôd

Zhutnenie pôdy je definované ako zvýšenie množstva častíc pôdy na jednotku objemu (Mariotti a kol., 2020). Môže sa zamieňať i s odbornjším výrazom ako kompakcia pôdy. Pri zhutnení sú pôdne častice vystavené fyzickej degradácii, pri ktorej dochádza k zníženiu biologickej aktivity pôdy, produktivity pôdy pre poľnohospodárske a lesné

plodiny. Vplyvom tlaku na pôdu sa znižuje pórovitosť a priepustnosť pôdy, zvyšuje sa jej pevnosť a hustota. Z veľkej časti sa ničí štruktúra pôdy a dochádza k mnohým zmenám v pôdnej štruktúre. Vyvinutým tlakom na pôdu sa znižuje priestor medzi pôdnymi časticami.

Zhutnenie pôd je možné zistiť pomocou tzv. penetračných prístrojov. Slúžia na operatívne zistenie stavu pôdy. Penetračný spôsob stanovenia hutnosti pôdy predstavuje empirickú metódu, pri ktorej sa meria hutnosť pôdy vtláčaním špecifického valcového kužela do pôdy. Metóda slúži na meranie penetračného odporu, ktorý vyjadruje mieru zhutnenia pôdy. Penetračný odpor P_p definujeme vzt'ahom (Boďo, 2009):

$$P_p = \frac{F}{S_k} \text{ MPa (N.mm}^{-2}\text{)}$$

Existujú dve formy zhutnenia, povrchové a podpovrchové. Zatiaľ čo zhutnenie povrchu možno čiastočne zmierniť pri bežných operáciách obrábania pôdy, podpovrchové zhutnenie pod normálnu hĺbku obrábania pôdy zostane (Duiker, 2002).

K zhutneniu pôdy dochádza primárne antropogénnou činnosťou ako vedľajší efekt spojený s činnosťou ťažkých mechanizmov v dôsledku operácií na danej lokalite ako sú napr. valcovanie, tlak kolies a pásov, pošliapanie, nekorektné obhospodarovanie pôdy, alebo zavlažovanie.

Zhutnenie pôdy môže byť i prirodzeného typu zapríčinené ťažkými nadloženiami snehu, alebo ľadu. Príčinou zhutnenia môže byť aj samotný výdatný dážď, čo vedie k tvorbe povrchových kôr na pôde (Van den Akker a kol., 2005).

Zhutnenie pôdy dokáže celkovo zvýšiť objemovú hustotu pôdy až o 15% znížiť priepustnosť vzduchu o 94% a znížiť prístup difúziu plynov o 59%. Mikrobiálne organizmy sú vplyvom zhutnenia narušené, kde nedochádza k procesom ktoré vykonávajú. Vykonávajú ich buď v zmenšenej forme, alebo sú bez vykonávacej činnosti (Longepierre a kol., 2021).

Pôdy vystavené zhutneniu sa môžu charakterizovať na 2 druhy:

- Súdržné pôdy - obsahujú veľké množstvo bahna a ílu. Môžu sem patriť i ďalšie druhy ako ílovo-pieskové a ílovo-štrkové. Tieto pôdy sú aj bez príspevku umelej kompakcie ťažko priepustné až nepriepustné v dôsledku vysokej hustoty a veľmi nízkemu obsahu vzduchu.
- Nesúdržné pôdy - po zvýšenom tlaku na pôdu zostávajú priepustné a bez známk zhutnenia. Skladajú sa z rôznych úlomkov, ktoré sa nezhlukujú

a vytvárajú veľké póry, v ktorých sa pohybuje väčší objem vzduchu. Ide prevažne o piesky a štrky (Fang, 1991).

Ak sú hodnoty pre vzduch v póroch nižšie ako 10% je pravdepodobný nedostatok kyslíka. Pri hodnotách vzduchu $< 5\%$ dochádza k vzniku anaerobiózy, pri ktorej pôda prakticky neobsahuje žiaden kyslík, infiltrácia vody do pôdy je pomalšia a spomaľuje sa výmena plynov, čo môže mať za následok nesprávne prevzdušňovanie pôdy.

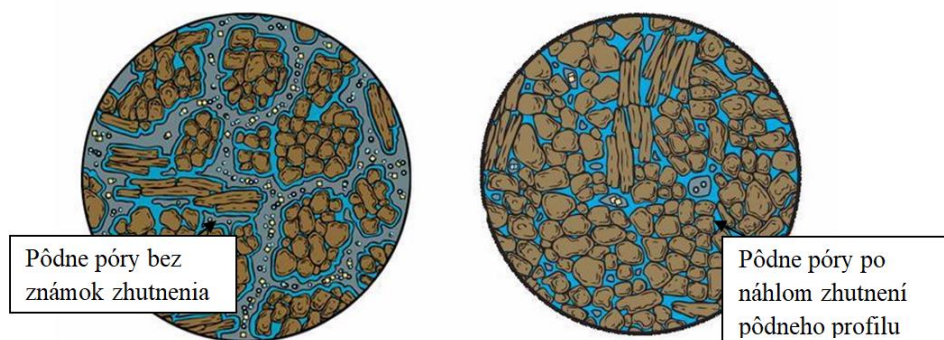


Obr. 4 Rozdiel pôdných štruktúr zhutnenej pôdy a bez zhutnenia. Prevzaté z: (Vaľo, 2018)

2.1 Vplyv zhutnenia na štruktúru pôdy

Prirodzená štruktúra pôdy sa môže meniť opakovaným fyzickým stláčaním. Ľudské nohy a pneumatiky automobilov sú najčastejšími príčinami kompresie, ktorá nakoniec vedie k zhutneniu pôdy.

Mechanizácia pre svoju nadmernú váhu, čo predstavuje niekoľko desiatok ton utláča lesnú pôdu vplyvom kolies, alebo pásov mechanizmu a taktiež aj vyťaženou guľatinou. Prvotným prejazdom mechanizmu cez pôdu vzniká najväčšie zhutnenie podložia a následne opakovaný prejazd mechanizmov toto zhutnenie rozširuje.



Obr. 5 Štruktúra pôdných pórov a ich rozdiel v retencií vody. Upravené podľa: (Mayer, 2021)

Pórovitosť je z ekologického hľadiska veľmi významnou súčasťou pôdy pretože riadi zadržiavanie a pohyb kvapalín a plynov v pôde (Obr. 5). Pórovitosť pôdy v dôsledku zhutnenia ťažkou mechanizáciou môže byť znížená až o 60%. Prevzdušnenie pôdy sa môže v dôsledku negatívnej degradácie pôdy znížiť až o 50% (Rossit a kol., 2021).

Zhutnená pôdna štruktúra zabraňuje rastlinám ich vývoj a rast. Štruktúra pôdy určuje rozloženie koreňov a tým aj schopnosť prijímať vodu a živiny.

V zhutnenej pôde je rast koreňov výrazne obmedzený. Väčšina rastúcich koreňov sa odvráti od zhutnenej pôdy rovnako, ako sa odvráti od prirodzených bariér v pôde, ako sú balvany. Rast stromov v zhutnenej pôde alebo v jej blízkosti bude preto nepriaznivo ovplyvnený. V miernych prípadoch sa postihnuté stromy môžu javiť ako úplne normálne počas niekoľkých rokov a potom len vykazovať skoré jesenné sfarbenie alebo menšie odumieranie vetvičiek v korune. V závažných prípadoch stromy klesajú a nakoniec po niekoľkých rokoch odumierajú. Poškodenie zhutnenia pôdy možno zistiť pozorovaním oblastí okolo stromov, ktoré majú malú alebo žiadnu vegetáciu. Tieto oblasti sa najčastejšie nachádzajú pozdĺž ciest alebo iných oblastí s vysokým využitím. Rastliny, či stromy vystavené zhutneným pôdam, musia vynaložiť viac energie pri hlbšom preniknutí koreňového systému do pôdy. Mierne zhutnenie pôdy môže mať i pozitívny vplyv na vývoj rastlín, čo vyplýva z povahy zakoreňovania v mierne zhutnených pôdach. Zhutnenie pôdy, ktoré zapríčinilo nárast hmotnosti pôdy na $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, znižuje podzemnú a nadzemnú suchú hmotnosť o 18,76%.

Bolo preukázané že, rastliny pestované na pôde, ktorej objemová hmotnosť sa zvýšila vplyvom zhutnenia na $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$ resp. $1,55 \text{ g.cm}^{-3}$, tak sa u nich pozorovala znížená rýchlosť fotosyntézy, transpirácie a stomatická vodivosť.

Spomenuté faktory negatívne vplyvajú na pôdu jej štruktúru, a z toho vyplývajúce vlastnosti a prítomnosť pôdnych MO.

2.2 Vplyv zhutnenia na krajinu

Oblasti vystavené zhutneniu pôdy ovplyvňujú nielen samotnú pôdu a jej štruktúru, ale hlavne okolitú biodiverzitu a jej prostredie. Negatívna zmena môže nastať vo viacerých oblastiach.

Najzávažnejším dôsledkom zhutnenia je zvýšená erózia pôdy, kedy dochádza k odplavovaniu najvrchnejšej a najúrodnejšej časti pôdy humusového horizontu. S humusovým horizontom sa splavuje i časť pesticídov a aplikovaných kalov čo môže viesť k vniknutiu pesticídov a kalu do povrchových vôd a konečnému ohrozeniu vodného

života kontaminácií povrchových vôd. Bez humusového horizontu je úrodnosť pôdy výrazne znížená. Zhutnením dochádza k horšej penetrácii vody do pôdy. Problémom je následné zanášanie kanálov a potokov, ktoré je nutné čistiť pre ich veľké množstvo splavenín.

Anaeróbne podmienky v pôde v dôsledku zhutnenia môžu viesť k zníženiu rozkladu pesticídov, čo má vplyv na zvýšenie vylúhovania pesticídov v podzemných vodách a vodonosných vrstvách (Nawaz, 2013).

Pri obrábaní pôdy sa vplyvom zhutnenia vytvárajú hrudovité osivové lôžka, čo má za následok zlý kontakt osiva so zeminou. Silné dažde môžu vytvoriť na povrchu pôdy kompaktnú povrchovú vrstvu, ktorá zamedzuje vzchádzaniu sadeníc.

Ako sa pôda stáva hustejšou, stáva sa čoraz nepriepustnejšou pre povrchovú vodu a výmenu plynov.

2.3 Vplyv zhutnenia na retenciu vody v pôde

Zhutnenie pôdy výrazne narušuje cyklus vody, čo predstavuje pre krajinu a jej ekosystémy viaceré negatívne dôsledky. Tými sú predovšetkým obdobia s výraznými výkyvmi počasia, kde sa striedajú obdobia s extrémnymi suchami s obdobiami silných dažďov. Voda sa cez zhutnenú pôdu veľmi ťažko a obmedzene infiltruje do pôdy. Zvyšná voda je navyše odvádzaná z lesných a poľnohospodárskych lokalít do nižšie položených riek, potokov a jazier. Takáto voda, ktorá odtiekla chýba v pôde a pri nadmerných suchách organizmy trpia jej nedostatkom. Zhutnené pôdy tak ovplyvňujú celkové klimatické zmeny krajiny.

Zároveň voda pri svojom pohybe vymýva koľaje, kde berie so sebou i najvrchnejšiu a najúrodnejšiu časť pôdy, teda organickú časť. Pôda potom nespĺňa funkciu tzv. pôdneho rezervoára, a tým sa nedokáže poskytnúť dotovanie vody k zdrojom ako sú pramene a podzemné vody.

Obhospodarovanie pôdy je veľmi kľúčovou činnosťou pre samotnú výnosnosť obilnín, ktoré sa na danej pôde pestujú. Poľnohospodári využívajú na zníženie nákladov väčšiu mechanizáciu, ktorá dokáže vykonať orbu alebo inú činnosť za kratší čas a za nižšie náklady. Zhutnenie pôdy sa tým pádom stáva výraznejšie, z dôvodu ťažšej mechanizácie a podporných zariadení. Orba sa vykonáva zväčša po ornici a nie pod orniciou, čo má za následok zhutnené podlažie pod orniciou. Voda sa dostáva do vrchného organického a čiastočne do humusového podlažia, ale ďalej nie je schopná preniknúť v dôsledku zhutnenia. Práve retencia vody je významný faktor v poľnohospodárstve, pretože od nej

závisí úrodnosť plodín. Vodu uloženú v pôdnych póroch potrebujú plodiny pre svoj rast, vývoj a celkové dozretie.

Voda je na poľnohospodársku pôdu privádzaná nielen prirodzenou cestou z atmosféry vo forme dažďa, ale aj umelo zavlažovacími systémami. Styk vody s pôdou je na poľnohospodárskej pôde rýchlejší a intenzívnejší. Zvýšený prenos vody na povrchu zhutnenej pôdy môže znížiť zadržiavanie hnojív v pôdnej matrici a účinnosť využitia hnojív rastlinami (Finch, 2014).

Nedostatok vody v pôde vďaka zhutneniu spôsobuje zvýšenú eróziu, hlavne veternú. Rastliny nemajú dostatočný zdroj živín, a tak nedorastajú do normálnych veľkostí, nedosahujú úrodnosť zdravej plnohodnotnej obilniny a pri najhoršom odumierajú.

2.4 Vplyv zhutnenia na mikrobiálnu diverzitu

Účinky zhutnenia pôdy na pôdne mikroorganizmy a mikrobiologické procesy v pôdach sú komplexné a závisia od mnohých faktorov, ako napríklad mineralizácia uhlíka, obsah vody v pôde, mineralizácia dusíka, redoxný potenciál a rýchlosť difúzie kyslíka (Xu a kol., 2021).

Zhutnenie pôdy vplýva negatívnym spôsobom na biologickú zložku pôdy, procesy a výkon samotnej mikrobiálnej diverzity. V dôsledku zvýšenej hutnosti sa obmedzujú anaeróbne procesy ako je nitrifikácia a mineralizácia. Nedostatok kyslíka vplýva na oxidačnú premenu amoniaku baktériami na dusitany. Tým sa obmedzuje proces nitrifikácie. Nedostatok kyslíka dostupného pre MO spôsobuje obmedzenie procesu mineralizácie organických látok v pôde čo je najhlavnejší proces sprístupňovania dusíka v pôde. Môže nastať aj situácia keď spotreba kyslíka v pôde môže byť rýchlejšia, ako je jeho prísun do pôdy čo je dôsledok významného poklesu množstva makropórov zhutnením. Zároveň nastávajú zmeny v zastúpení MO a klesá schopnosť bazálneho dýchania pôdy. Za týchto podmienok sa zintenzívňuje proces metanogenézy a denitrifikácie, teda nastáva zvýšená produkcia metánu a dusičnanov MO, a dochádza tu k zvýšeniu emisií oxidu dusného. Ornica vystavená procesu zhutnenia je najcitlivejšou vrstvou z pohľadu negatívneho dopadu na mikrobiálnu diverzitu nakoľko je v tejto vrstve významné zastúpenie koreňovej biomasy (Longepierre a kol., 2021).

Po zhutnení lesnej a poľnohospodárskej pôdy nastáva špecifický nárast anaeróbných prokaryotov a saprotrfných húb na rozdiel od nezhutnenej pôdy, kde inak

prevláda zväčša aeróbna biota. Zhutnené pôdy majú negatívny účinok na mikroorganizmy, ktoré sú prispôsobené žiť pri aeróbných podmienkach (Longepierre a kol., 2021).

2.5 Riešenia zadržiavania vody na zhutnenej pôde

Poľnohospodárstvo je jedno z odvetví, ktoré z veľkej časti dopomáha k zhutneniu pôd. Často sa využívajú nesprávne postupy a obrábacie zariadenia.

Hlboká orba je menej preferovaná pri obhospodarovaní pôd napriek tomu, že tento spôsob orby je viac efektívny, pretože orba sa uskutočňuje aj pod samotnou orniceou, ktorá sa pri klasickej orbe nepreorie. Zlepší rýchlosť infiltrovania vody do pôdy, nie je zadržiavaná na povrchu pôdneho profilu, čím sa docieli bezproblémový priebeh retencie vody. Naopak pri orbe po ornici je pôda zhutnená aj pod ňou a zle sa infiltruje do spodných vrstiev. Najvrchnejšia časť pôdy je tak výraznejšie vysušovaná a vplyvom vodnej alebo veternej erózie odplavovaná. To spôsobuje veľké škody pre poľnohospodárstvo a krajinu.

Jedným z opatrení voči zhutneniu pôdy je aj využitie tzv. bezorbové poľnohospodárstvo. Funguje na spôsobe že sa zanechá pôda v pôvodnom stave nenarušia sa pôdne póry a kapilárne sily, ktoré zadržujú vodu v pôde. Pôda týmto procesom udržuje dostatočnú vlhkosť aj v nepriaznivých podmienkach.

Ďalším riešením pre zhutnenú pôdu je jej rozrušenie tzv. rekultivácia pôdy. Táto metóda je jedným z najľahších spôsobov ako rýchlo, efektívne a finančne výhodne zamedziť pokračovaniu zhutneniu pôdy. Pôda sa rozruší rýpadlom do hĺbky 0,8 až 1 m. Rozrušením pôdy docielime celkové uvoľnenie štruktúry pôdy (Obr. 6).

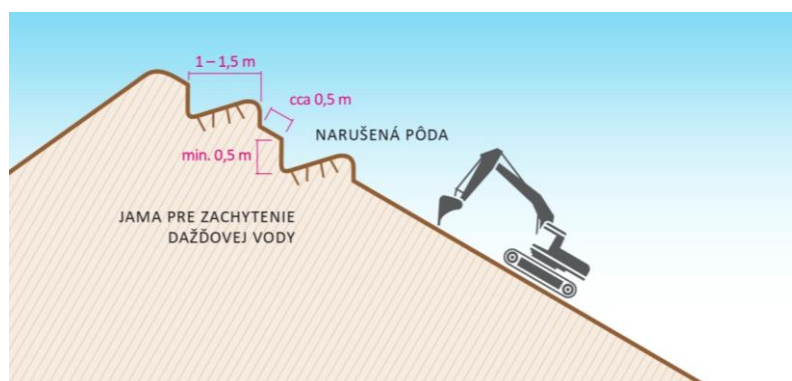


Obr. 6 Rozrušenie zhutnenej pôdy rýpadlom. Prevzaté z: (Vaľo, 2018)

Zhutnené pôdne častice sa od seba odpoja a rozrušia čím dochádza k prísunu vzduchu do pôdy. Pôda sa po určitom čase zregeneruje vytvorí si nové pôdne póry, ktoré budú plniť

retenčnú funkciu. Voda sa opätovne začne akumulovať v pôde, čo vedie k dotovaniu okolitého prostredia a podzemných prameňov.

Alternatívnu možnosť predstavuje aj vytvorenie umelého jazera priamo v lesnej časti čo najbližšie k poškodenému miestu. Rýpadlami sa naruší pôda do hĺbky približne 2 metrov alebo podľa toho koľko chceme zadržať vody na danej lokalite (Staccione a kol., 2021). Vytvorené umelé jazero sa začne plniť vodou, ktorá k nemu prichádza po povrchu zo zhutnených lesných ciest. Podobne sa na zadržiavanie vody zo zhutnenej pôdy dajú vybudovať umelé kaskádovité nádrže (Obr. 7), čo je uplatniteľné hlavne pri poľnohospodárstve. Betónové nádrže sú vybudované a osadené namiesto odvodňovacích kanálov, ktoré sú pri okrajoch poľnohospodárskych plôch. Voda priteká do nádrží, ktoré obsahujú betónové vybranie s určitý požadovaným objem. Keď voda dosiahne úroveň, kedy je nádrž takmer plná, tak cez drážku vo vrchnej stene pretečie do ďalšej. Nádrže by mali byť navrhnuté v kaskádovom uložení aby nedošlo vytekaniu vody z prvých nádrží. Voda sa následne môže používať za pomoci čerpadiel pri letných mesiacoch, kedy bývajú extrémne suchá.



Obr. 7 Príprava kaskádovitých nádrží pre zadržiavanie vody zo zhutnenej pôdy. Prevzaté z: (Vaľo, 2018)

Obrábané parcely by mali obsahovať stromoradia, ktoré zabránia nadmerným poveternostným podmienkam, ale zároveň vedia efektívne zadržiavať vodu koreňovými systémami. Stromoradia navracajú do lokalít biotu a celkový pozitívny efekt krajine. Výsadbou stromov taktiež dokážeme eliminovať zhutnenie pôdy. Pôda je vplyvom koreňového systému stromu rozrušovaná a uvoľňovaná. Nevýhodou je že metóda je veľmi zdĺhavá, pretože koreňový systém a jeho štruktúra sa vyvíja pomalšie.

Pri prácach s pôdou by sa mala dbať zvýšená pozornosť na vlhkosť pôdy. Vlhká a premočená pôda sa degraduje a stráca svoju štruktúru čím sa zhutňuje rýchlejšie.

Pri dodržiavaní vyššie uvedených opatrení sa vie efektívne bojovať proti zhutneniu pôdy (Vaľo, 2018).

3 Ciele bakalárskej práce

Cieľom riešenej bakalárskej práce bolo:

- Vypracovať súčasný stav poznatkov v podobe literárneho prehľadu týkajúceho sa zhutnených lesných a poľnohospodárskych pôd.
- Zisťovali sa hlavné vlastnosti zhutnenej pôdy a to aký objem vody je schopná zadržiavať a v akom veľkom množstve sa v nej nachádza mikrobiálna biomasa
- Práca bola zameraná i na problematiku využívania vodozadržných opatrení v krajine a iných adaptačných opatrení v boji proti zmene klímy.

Experimentálna časť pozostávala z častí, ktoré zahŕňajú:

- Vytipovanie si lokalít v teréne na lesných a poľnohospodárskych pôdach, ktoré boli značne a viditeľne postihnuté antropogénnymi činnosťami vedúcimi zhutneniu pôdy.
- Meranie penetračného odporu na mieste (*in situ* metóda)
- Následné odobranie vzoriek pôdy z aktuálnej postihnutej lokality. Vzorky pôd sa použili na skúmanie obsahu pôdnej vody, fyzikálno-chemických parametrov a mikrobiálnej diverzity.

4 Materiál a metódy

4.1 Prístroje a zariadenia

Ručný penetromer Eijkelkamp - prístroj na *in situ* stanovenie penetračného odporu prostredia voči prieniku

Systém COMBI 5000 - multiparametrický prístroj pre meranie pH (0-14), konduktivity (mS/cm), teploty (°C) a obsahu vody v pôde

Filtračný systém Microfil (Millipore, USA) pre použitie s mebránovými celulóзовými filtrami (priemer 47mm)

Trepačka Multi-Shaker BIOSAN - PSU 20

Autokláv icanCLAVE – plne automatický stolný autokláv

Biologický Termostat BT 120

Sušička Tuttinauer VENTI – Line (Germany) – S/N: 15-01047

Predvážky VWR – max. 200 g, presnosť merania $\pm 0,1$ g

Analytické váhy KERN, ALT I60-4NM – max. 160 g, presnosť merania $\pm 0,0001$ g

PC so softwarom TableCurve 3D

Pomôcky na odber vzoriek pôdy, mikroténové uzatvárateľné vrecká

4.2 Chemikálie

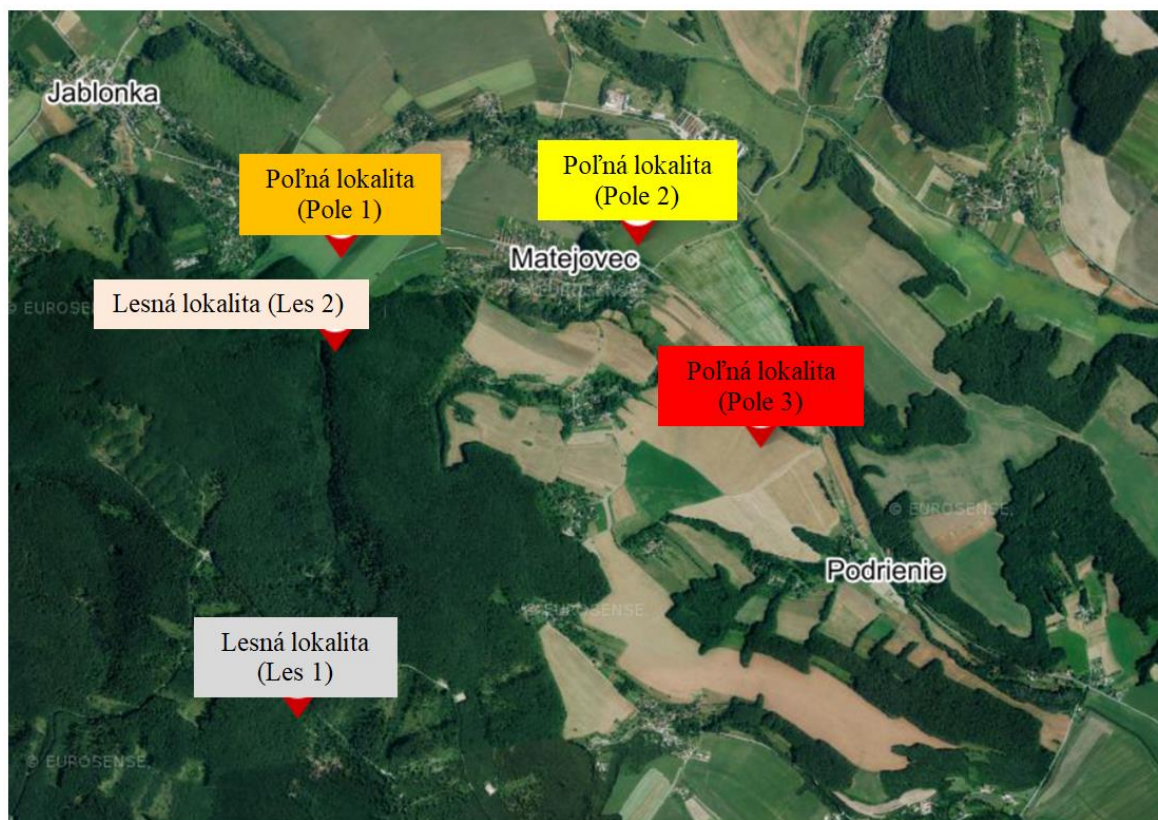
NaCl (Centralchem, Bratislava) – čistota 99,9%

Živná pôda DEV (Merck, Germany) – živný agar pre mikrobiológiu s obsahom mäso peptónového agaru (10 g/l), mäsového extraktu (10 g/l), NaCl (5 g/l) a agaru (18 g/l)

Živná pôda YGC (Merck, Germany) – kvasinkový glukózový extrakt, glukóza 20 g/l, kvasničný autolyzát 5 g/l, chloramphenikol 0,1 g/l, agar 14,9 g/l

4.3 Výber záujmových lokalít

Ako hlavná záujmová oblasť bakalárskej práce sa vybrali lokality v okolí obce Matejovec časť Krajné v Trenčianskom kraji (Obr. 8). Vybrali sa celkovo 2 lesné lokality a 3 poľnohospodárske lokality.



Obr. 8 Lokalizácia vybraných záujmových lokalít. Zdroj: mapy.cz

Lesné lokality boli zvolené na základe ich blízkej polohy ku zdrojom pitnej vody (lokalita 1 a 2). V oboch prípadoch sa v blízkosti monitorovacieho miesta vyskytuje zhutnená lesná cesta. Lesná lokalita 1 a jej výber bol podmienený aktuálnou lesnou ťažbou, ktorá ohrozuje lokálny prírodný prameň. Lesná lokalita 2 je umiestnená pri miestnom rezervoári, ktorý zásobuje časť obce Matejovec.

Pri poľných lokalitách sa brala do úvahy svahovitosť terénu a prítomnosť vodných zdrojov. Pri poľnej lokalite 1 hrozí splavovanie pôdy na cestnú komunikáciu a do miestneho vodného toku. Poľná lokalita 2 sa nachádza v blízkosti vodnej nádrže Matejovec. Jej terén je mierne svahovitý, čím dochádza k odvádzaniu vody z najvrchnejšej vrstvy pôdy do vodnej nádrže. Na 3 poľnej lokalite sa vykonávali iba merania na stanovenie hutnosti pôdy s ručným penetrometrickým prístrojom Eijkelkamp.

4.4 Stanovenie penetračného odporu pôdy

Vybrané lokality sa plošne posudzovali z pohľadu penetračného odporu pôdy. Na základe tohto merania sa vyberali konkrétne miesta pre odber vzoriek pôd. Na meranie penetračného odporu pôdy sa použil ručný penetrometer Eijkelkamp.

Prenosný prístroj je potrebné pred použitím správne zložiť. Pozostáva z niekoľkých súčasti ako sú manometer, rukoväť, voliteľné sondové tyče (hriadele) s vyznačenými ryskami pre meranie aktuálnej hĺbky a voliteľného koncového hrotu. Koncový hrot je možné meniť podľa predpokladanej hutnosti pôdy.

Pri meraní penetrometrom je potrebné na prístroj vyvinúť rovnomerný tlak, tak aby sa hrot rovnomerne zatlačal do pôdy rýchlosťou cca 2 cm/s. Po dosiahnutí požadovanej hĺbky sa odčíta hodnota na manometri. Po každom meraní je potrebné meráciu ručičku vynulovať nastavovacou skrutkou. Celkovo by sa merané hodnoty mali pohybovať v rozsahu od 200 až 700 N. V prípade zaznamenania hodnôt mimo tohto rozsahu je nutné zvoliť iný priemer hrotu.

Podľa zvoleného hrotu je potrebné prepočítať zaznamenané údaje z manometra na reálnu hodnotu odporu pôdy:

$$\text{odpor kužela (N/cm}^2\text{)} = \frac{\text{manometrické stanovenie}}{\text{plocha kužela}}$$

Pre každé penetrometrické meranie sa zaznamenala aj presná GPS poloha.

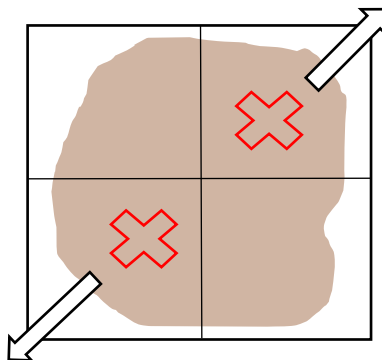
4.5 Odber vzoriek pôd

Na základe predbežných meraní pomocou penetrometra sa na vybraných lokalitách zvolili miesta pre hĺbkový odber vzoriek zhutnenej a nezhutnenej (kontrolnej) pôdy, ktorý sa uskutočňoval za semisterilných podmienok. Odber vzoriek pôdy sa realizoval v rôznych hĺbkach (10, 20 a 30 cm) a na hĺbenie sa použilo bežné výkopové náčinie (motička, krompáč). Po dosiahnutí požadovanej hĺbky sa odoberali vzorky pôdnou lopatkou a vkladali do vopred označených polyetylénových uzatvárateľných vreciek v celkovom množstve cca 500 g vzorky pôd. Tieto vzorky pôdy sa neskôr použili na laboratórne stanovenie obsahu pôdnej vody, fyzikálno-chemických parametrov (pH, vodivosť) a mikrobiologický rozbor.

4.6 Spracovanie vzoriek pôdy

Pre spracovanie odobraných pôd sa použila technika tzv. kvartovania, ktorá sa využíva na získavanie homogénnej reprezentatívnej vzorky pôdy.

Vzorky pôdy (cca 200 g) sa preosievali cez sito (veľkosť otvorov sita 2 mm). Jemná frakcia pôdy prepadala na filtračný papier, ktorý bol rozdelený na 4 rovnaké časti. Pôda sa rovnomerne rozprestrela na papier a následne sa odobrala z dvoch protiľahlých strán (Obr. 9).



Obr. 9 Schématické znázornenie procesu kvartovania

Časť pôdy, ktorá zostala na filtračnom papieri sa následne znovu rovnomerne rozprestrela na celú plochu a proces sa opakoval do vtedy, kým sa nedosiahlo požadované množstvo, v našom prípade cca 10 g zhomogenizovanej pôdy.

Získaná frakcia zhomogenizovanej pôdy sa vložila do 100 ml sterilnej zásobnej fľaše a pridalo sa 50 ml sterilného fyziologického roztoku (0,9% roztok NaCl). Takto pripravený zásobný pôdny roztok sa premiešaval na laboratórnej trepačke po dobu 10 min pri 120 ot/min. Po uplynutí tejto doby sa roztok použil na prípravu ďalších zriedených vzoriek pôdy a očkovanie.

Zostávajúca pôda, ktorá sa odstraňovala v procese kvartovania sa odložila do kónických uzatvárateľných plastových skúmaviek (cca 25 g) pre neskoršie stanovenie pH a vodivosti. Rovnaký postup sa zopakoval pre všetky vzorky odobraných pôd.

4.7 Príprava živných pôd pre mikrobiologický rozbor vzoriek

Pre mikrobiologický rozbor vzoriek pôdy sa vopred pripravili 2 druhy živných pôd:

- **DEV médium** na stanovenie celkového počtu MO, ktoré sa všeobecne pripravilo navážením 10,75 g média do 500 ml odmernej banky a následným rozpustením v 250 ml destilovanej vody.

- **YGC médium** na stanovenie celkového počtu kvasiniek a vláknitých húb, ktoré bolo všeobecne pripravené navážením 10 g média do 500 ml odmernej banky a následným rozpustením v 250 ml destilovanej vody.

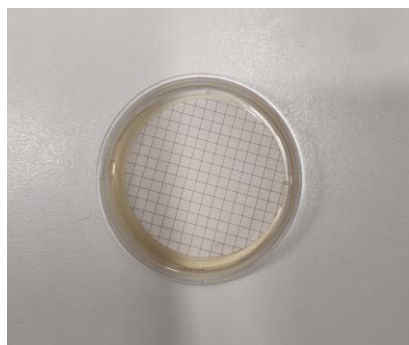
Takto pripravené banky so živnými pôdami sa uzatvorili zátkou a umiestnili sa do horúceho vodného kúpeľa, aby došlo k úplnému rozpusteniu média (15–20 min). Následne sme banky vložili do autoklávu, kde sa sterilizovali pri teplote 121°C po dobu 30 min. Vysterilizované média sme v očkovacom boxe za horúca rozlievali do sterilných petriho misiek v počte 140 ks DEV a 100 ks YGC. Po rozliatí sme nechali živné pôdy v petriho miskách stuhnúť.

Pre kontrolu mikrobiologickej čistoty živných pôd sa podobu 48 hod. voľne ponechali pri teplote 37°C (DEV) a 22°C (YGC). Pre ďalšie experimenty sa vybrali len čisté nekontaminované petriho misky so živnými pôdami.

4.8 Príprava a očkovanie vzoriek pôdných roztokov

Pre každú vzorku pôdy (celkovo 23 vzoriek) resp. zásobný pôdny roztok bolo potrebné pripraviť 5 rôznych riedení (10^{-1} - 10^{-5}), na čo sa použilo 5 ks 100 ml zásobných fliaš s 90 ml destilovanej vody. Tie sa sterilizovali v automatizovanom autokláve pri teplote 121°C po dobu 30 min. Po ich vysterilizovaní a ochladení sa automatickou pipetou so sterilnými špičkami inokulovala prvá fľaša 10 ml zásobného pôdneho roztoku príslušnej vzorky pôdy (riedenie 10^{-1}). Po uzatvorení a premiešaní sa tento nariedený pôdny roztok použil analogicky pre prípravu 10^{-2} riedenia. Rovnako sme pokračovali aj pri ostatných riedeniach technikou tzv. desiatkového riedenia. Takto nariedené pôdne vzorky boli pripravené na filtráciu a očkovanie.

Na oddelenie mikroorganizmov z vodného roztoku sa použil filtrovací systém Microfil s membránovými nitrocelulóзовými filrami (veľkosť pórov 0,45 μm). Celý systém bol sterilizovaný autoklávovaním a pred samotnou filtráciou sa ešte dodatočne sterilizovala jeho frita plameňom. Na fritu sa pinzetou umiestnil sterilný nitrocelulóзовý filter a nasadil sa sterilný plastový lievnik, do ktorého sa odpipetovalo 10 ml príslušného riedenia vybranej vzorky pôdy. Následne sa spustil kompresor, ktorý vytvoril podtlak a vzorka sa cez membránový filter prefiltrovala. Filtračný papier sa pinzetou vložil na povrch príslušného kultivačného média v petriho miske (Obr. 10).



Obr. 10 Naočkované agarové médium

Pri práci s ďalším riedením resp. inou vzorkou pôdneho roztoku sa fritra Microfil systému sa opätovne sterilizovala plameňom, aby nedošlo ku kontaminácií pri ďalších vzorkách.

Takto pripravené petriho misky sa kultivovali pri vybraných podmienkach (37°C resp. 22°C) po dobu 48 až 72 hod. Po tomto čase sa realizovalo ich vizuálne vyhodnocovanie a počítanie vyrastených kolónií.

4.9 Stanovenie obsahu pôdnej vody vo vzorkách

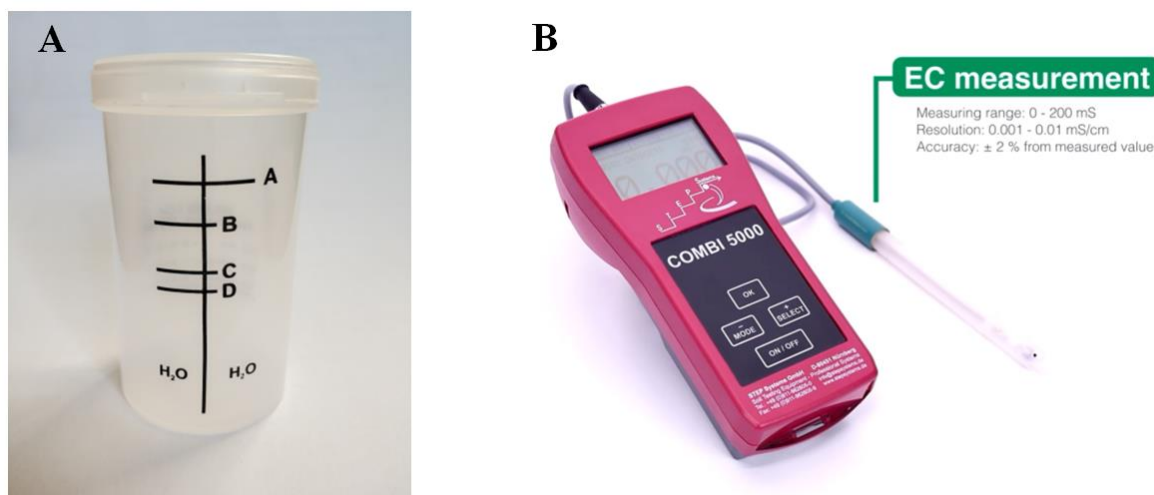
Na stanovenie obsahu pôdnej vody sa použila frakcia pôdy, ktorá sa nespracovávala kvartovaním. Táto pôda sa vysypala na vopred odvážené alumíniové misky a stanovila sa hmotnosť naplnených misiek. Takto pripravené misky s vlhkou pôdou sa vložili do sušiarne, kde sa sušili do konštantnej hmotnosti pri teplote 105°C po dobu min. 3 hod. Obsah pôdnej vody sa stanovil podľa vzorca:

$$\text{Obsah pôdnej vody (\%)} = \frac{\text{vlhká hmotnosť} - \text{suchá hmotnosť}}{\text{suchá hmotnosť}} * 100$$

4.10 Stanovenie fyzikálno-chemických parametrov pôdy

Meranie pH a vodivosti vzoriek sa vykonávalo s použitím kalibrovaného multiparametrického prístroja COMBI 5000 (Obr. 11 B). Na stanovenie týchto parametrov bolo potrebné pripraviť pôdny roztok. Na tento účel je spoločne s prístrojom dodávaná plastová uzatvárateľná nádoba (Obr. 11 A). Do nádoby sa najprv pridala destilovaná voda po vyznačnú rysku B a následne sa pridávala vzorka pôdy až kým hladina dosiahla rysku A (pomer voda : pôda 5:1). Nádobka sa uzatvorila, roztok sa premiešal a umiestnil na laboratórnu trepačku po dobu 10 min.

Hodnoty pH sa merajú elektródovou sondou, ktorú je potrebné pred samotným meraním opláchnuť destilovanou vodou. Potom sa elektróda vloží do pripraveného roztoku. Zapis údajov sa realizuje po ustabilizovaní hodnoty daného parametra zobrazeného na displeji prístroja (cca 10 s). Postup sa opakoval pri každej vzorke. Pri meraní vodivosti sa použila vodivostná elektróda. Postup merania bol totožný s postupom pri meraní pH.



Obr. 11 Multiparametrický prístroj COMBI 5000 (B) a kadička na zarábanie roztokov (A)

5 Výsledky a diskusia

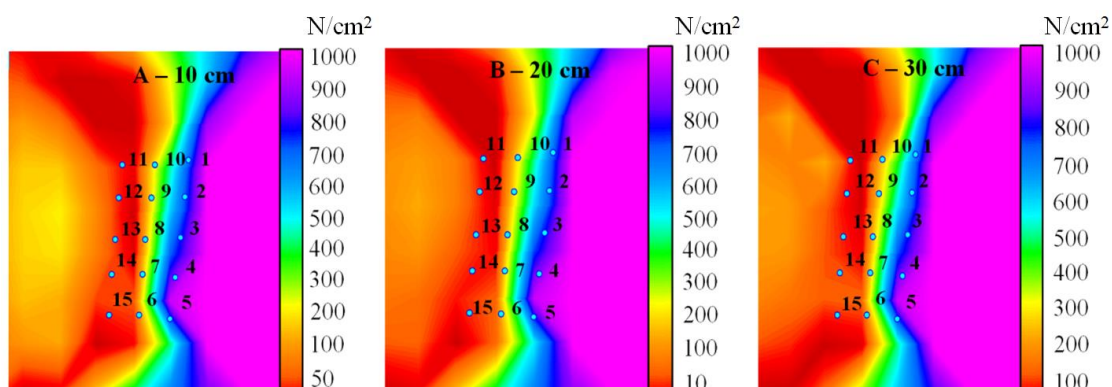
5.1 Stanovenie penetračného odporu pôdy vo vybraných lesných lokalitách

Lesná lokalita 1 (48.7007978N, 17.6214725E) sa vyznačuje výrazným a aktuálnym lesným hospodárením (Obr. 12). Zhutnená cesta nemá výrazný sklon. Nad cestou sa rozprestiera mierny lesný svah so sklonom 10° . Pod cestou sa nachádza prameň s pitnou vodou.



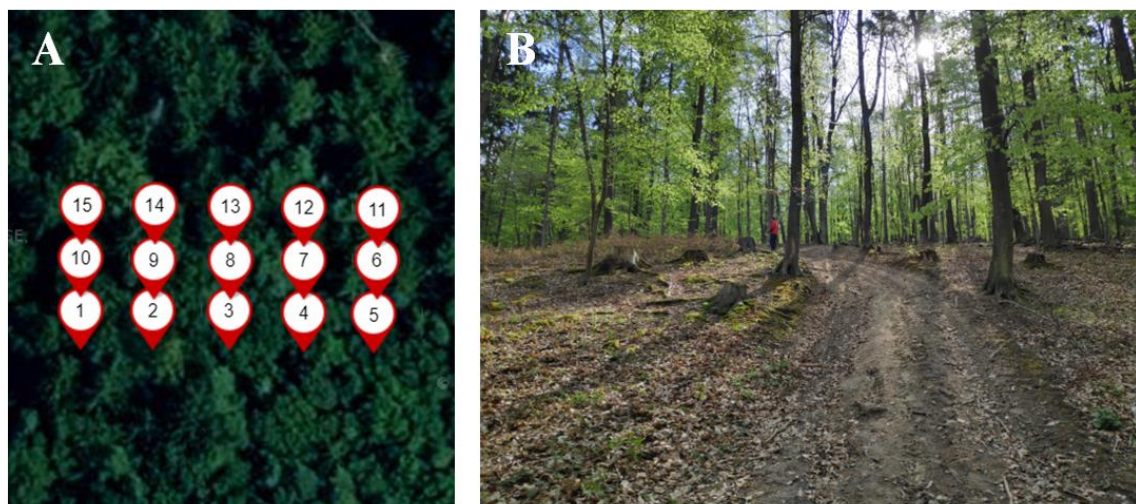
Obr. 12 Ortofotosnímok lokality lesnej lokality 1 s vyznačenými meracími miestami (A); fotografia záujmovej lokality (B). (Zdroj: mapy.cz)

Merania penetračného odporu pôdy na lesnej lokalite 1 sú na Obr. 13. Výrazne zvýšený odpor sa prejavil na lesnej ceste, kde všetky merania boli nad limitné hodnoty ($> 1000 \text{ N/cm}^2$). Primárnym dôsledkom je prejazd mechanizácie pri lesnej ťažbe. Všetky merania mimo zhutnenej cesty boli v norme (od 10 do 200 N/cm^2). Na základe týchto meraní sa na odber vzoriek pôdy vybrali miesta 3 a 8.



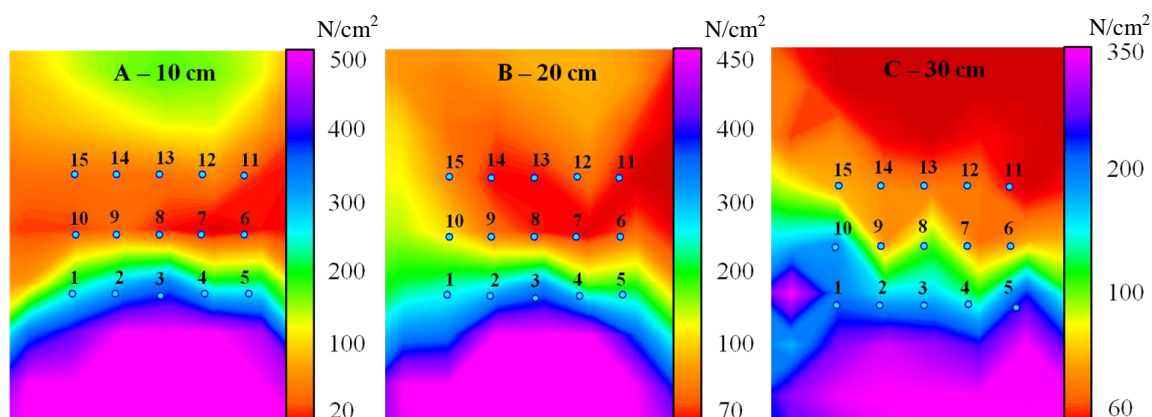
Obr. 13 Grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach na lesnej lokalite 1.

Lesná lokalita 2 (48,7150425 N; 17,6229583 E) sa nachádza v blízkosti miestneho rezervoára s pitnou vodou. Zhutnená cesta je umiestnená priamo na svahu s veľkým sklonom 24° a pomerne malým prehustením stromov, ktoré boli vyťažené intenzívnym výrubom (Obr. 14).



Obr. 14 Ortofotosnímkok lokality lesnej lokality 2 s vyznačenými meracími miestami (A); fotografia záujmovej lokality (B). (Zdroj: mapy.cz)

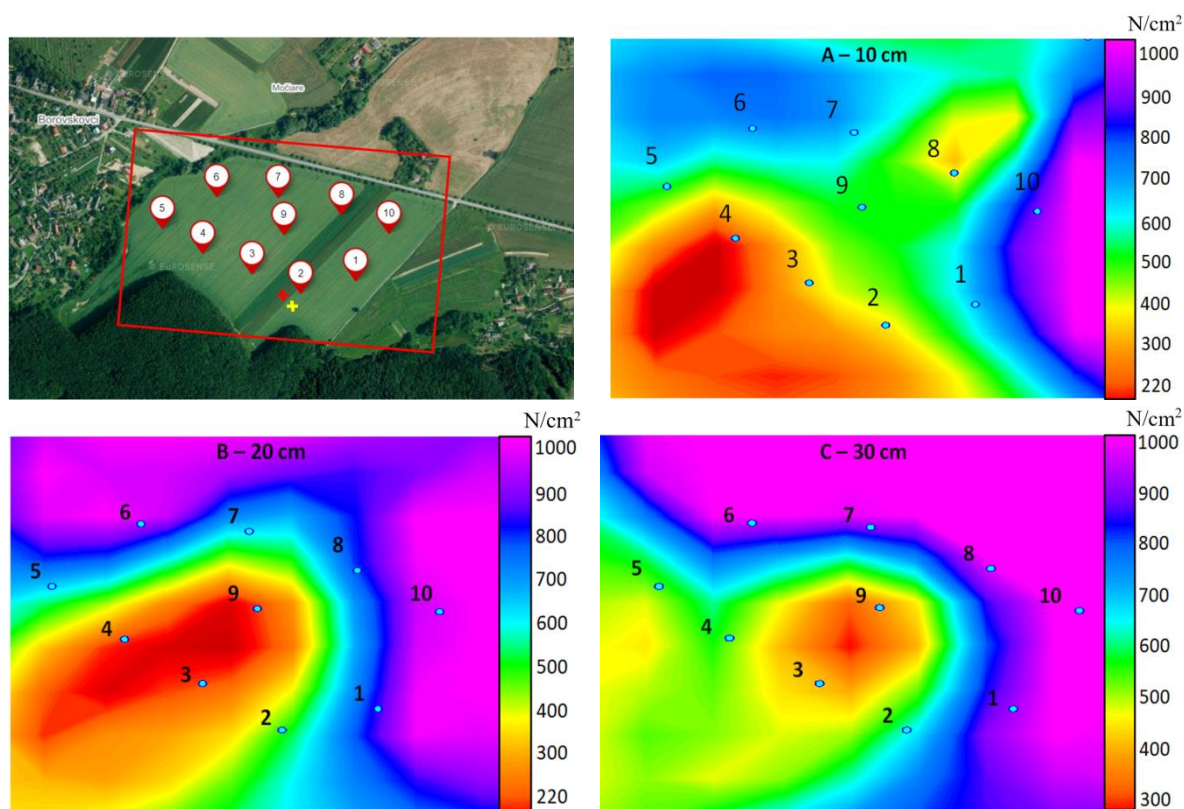
Hodnoty penetračného odporu pôdy boli na lesnej ceste výrazne menšie ako v prípade lokality Les 1 (1000 vs 500 N/cm²) (Obr. 13 a Obr. 15), čo môže byť zapríčinené sklonom samotnej cesty. Veľký sklon terénu cca 24° pravdepodobne zapríčiňuje rýchly odtok povrchovej vody, ktorá sa splavuje do potoka pod cestou.



Obr. 15 Grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach na lesnej lokalite 2.

5.2 Stanovenie penetračného odporu pôdy vo vybraných poľných lokalitách

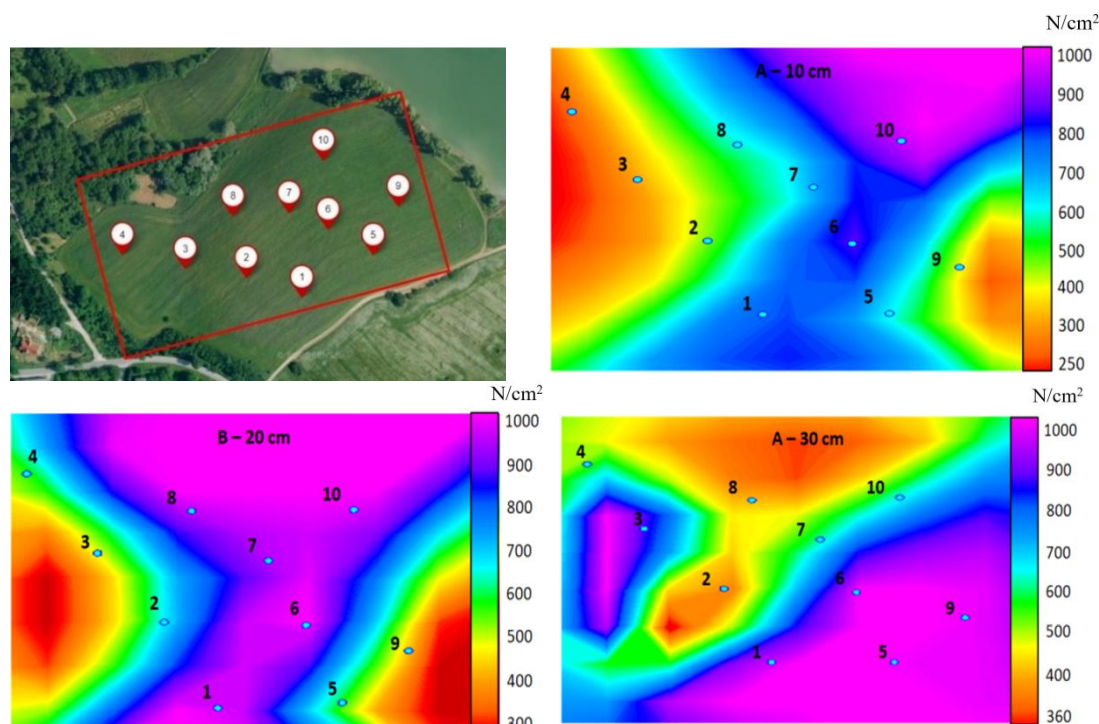
Poľná lokalita 1 (48,7182900 N; 17,6236422 E) susedí vo svojej najvyššej časti s lesom a celkovo sa zvažuje smerom k hlavnej ceste a lokálnemu vodnému toku. Svah je orientovaný na severnú stranu. Na tejto poľnej lokalite sa nachádza časť, ktorá je obhospodarovaná iným majiteľom (spôsobom). V čase odberov vzoriek bola jej hutnosť odlišná v porovnaní s okolitou poľnou pôdou, a preto sa zvolil odber na tomto mieste (Obr. 16).



Obr. 16 Ortofotosnímok poľnej lokality 1 s vyznačenými meracími a odberovými miestami (vľavo hore); a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach. (Zdroj: mapy.cz)

Merania penetračného odporu pôdy (Obr. 16) naznačujú výrazné zhutnenie v okolí hlavnej cesty, pravdepodobne ako dôsledok intenzívnejšieho pohybu agrotechniky. V záznamoch sa dá pozorovať mierna zmena charakteru zhutnenia, a to najmä v oblasti povrchového horizontu pôdy obhospodarovanej iným prístupom.

Poľná lokalita 2 (48,7187500 N; 17,6409694 E) je situovaná v mierne kopcovitom svahu orientovanom na severnú stranu. Pri tejto lokalite sa nachádza vodná nádrž Matejovec, kde je zvýšené riziko povrchového odtoku vody z poľa a vyplavovanie najvrchnejšej vrstvy pôdy pri silných a intenzívnych dažďoch. Táto vrstva býva bohatá na hnojivá. Na Obr. 17 je záznam penetračných odporov zaznamenaných na danej lokalite.

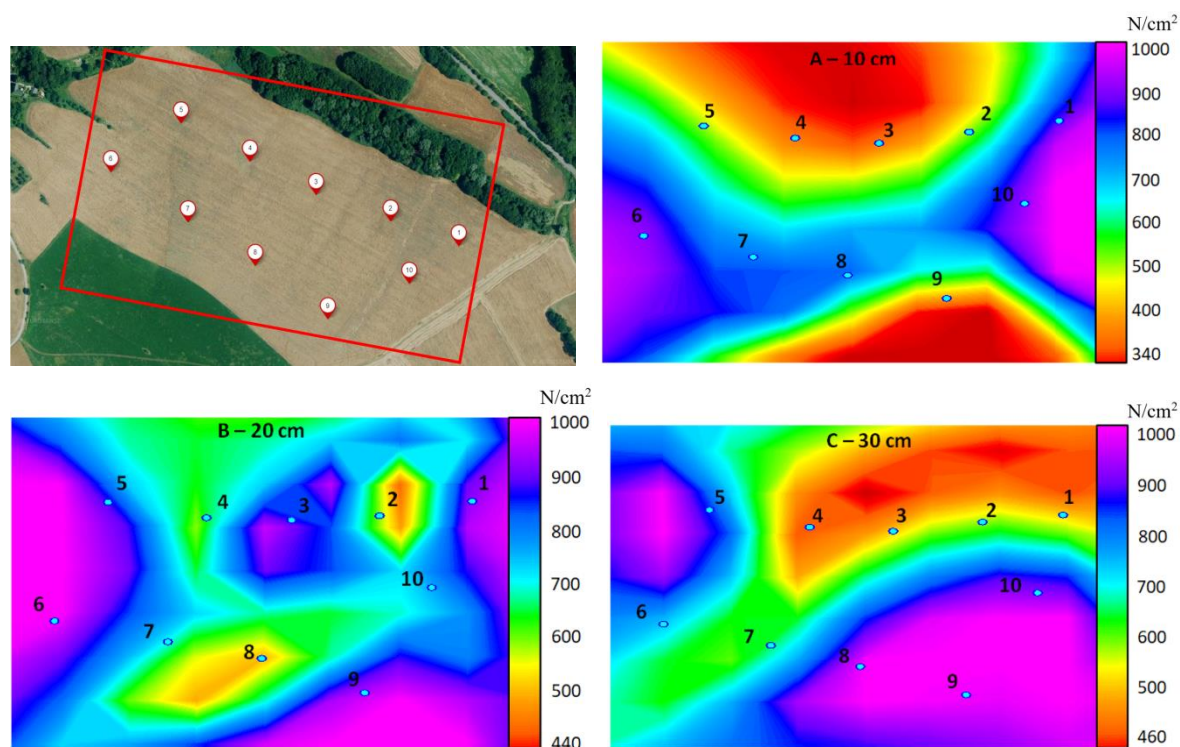


Obr. 17 Ortofotosnímok poľnej lokality 2 s vyznačenými meracími miestami (vľavo hore); a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach. (Zdroj: mapy.cz)

Na základe meraní sa identifikovala výrazne zhutnená oblasť na poli 2 (Obr. 17) v hĺbkach medzi 10 a 20 cm (body 1, 6, 7, 8 a 10), ktorá môže predstavovať miesto odkiaľ sa často splavuje pôdny materiál do miestnej nádrže. Zároveň výrazne zhutnenie pri hĺbke 20 cm je rizikové pre pestované plodiny, ktorých koreňová sústava sa nachádza práve v tejto oblasti.

Poľná lokalita 3 (48,7116217 N; 17,6454969 E) sa nachádza na svahu s najväčším sklonom spomedzi všetkých sledovaných poľných lokalít (Obr. 18). Najväčšia zhutnenosť pôdy sa penetračnými meraniami stanovila na bočných stranách mapy resp. východnom a západnom okraji poľa (monitorovacie body 5, 6 a 9, 10). Toto zvýšenie je pravdepodobne vzniklo rovnako ako v lokalite Pole 1 (Obr. 16), a to výraznejším pohybom a otáčaním sa poľnohospodárskych strojov. Naopak nízke zhutnenia pri spodnej časti poľa

(monitorovacie body 1 - 5) môže spôsobovať odplavená vrstva povrchovej pôdy z poľa, ktorá sa hromadí v blízkosti hustého stromoradia.



Obr. 18 Ortofotosnímok poľnej lokality 3 s vyznačenými meracími miestami (vľavo hore); a grafické záznamy zaznamenaných penetračných odporov pôdy v rôznych hĺbkach. (Zdroj: mapy.cz)

5.3 Stanovenie mikrobiologickej diverzity vo vzorkách pôd

Hodnotenie rastu kolónií MO, ktoré boli kultivované na povrchu nitrocelulózového filtra, umiestneného na vybraných živných pôdach, sa uskutočnilo po uplynutí 48 resp. 72 hod. Výsledky intenzity celkového nárastu MO z odobraných vzoriek lesných a poľných pôd sú vyhodnotené v Tab. 3.

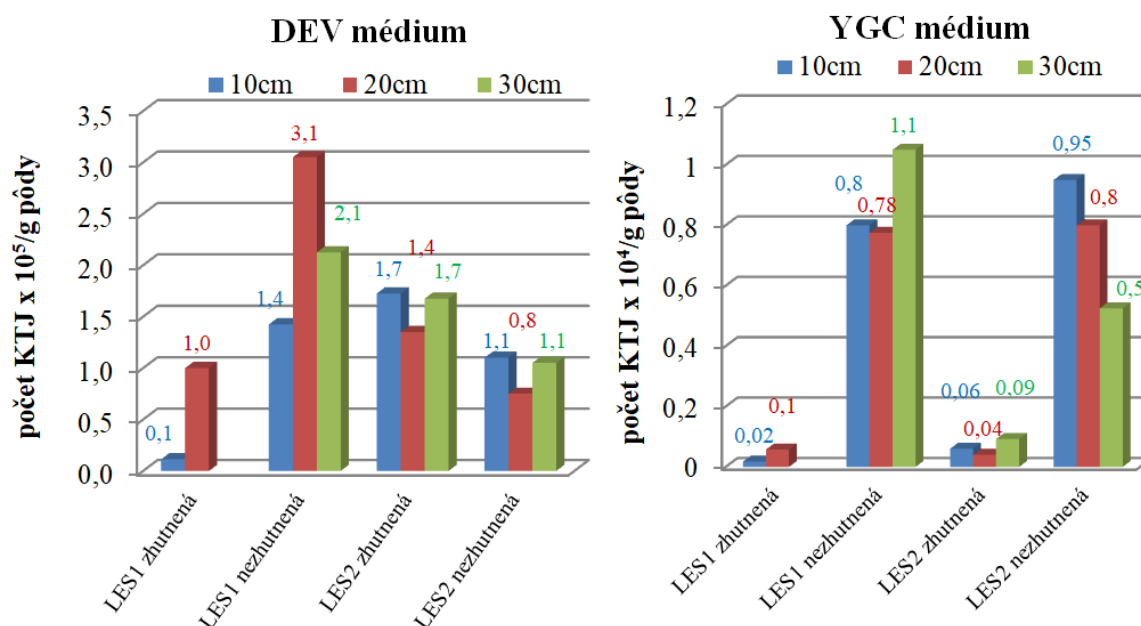
Pre celkové stanovenie počtu kolóniotvorných jednotiek (KTJ) boli vybrané len živné pôdy, na ktorých sa zaznamenal nárast v počte cca 35 kolónií na celej ploche nitrocelulózového filtra. Následne sa prepočtom podľa známeho zriedenia pôdneho roztoku, ktorý sa použil na zaočkovanie živných pôd, vypočítal celkový počet kolóniotvorných jednotiek na pôvodnú hmotnosť pôdy (KTJ/g pôdy). V Tab. 3 sú potom farebne vyznačené príslušné riedenia pre jednotlivé vzorky pôdy, ktoré boli použité pre následné stanovenie počtu MO resp. KTJ/g pôdy.

Tab. 3 Vyhodnotenie intenzity nárastu kolónií MO zo vzoriek lesných a poľných pôd.

		Les 1								Les 2							
		DEV médium				YGC médium				DEV médium				YGC médium			
Riedenie	Hĺbka [cm]	Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia	
10^{-2}	10					+	+	++	++					+	+	++	++
10^{-3}		+	+	++	++	-	-	+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}		+	+	++	++					+	+	+	+				
10^{-5}		-	+	+	+					+	+	+	+				
10^{-2}	20					+	+	++	++					+	+	++	++
10^{-3}		++	++	++	++	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}		+	+	++	++					+	+	+	+				
10^{-5}		+	-	++	++					+	-	+	+				
10^{-2}	30							++	++					+	+	++	++
10^{-3}				++	++			+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}				++	++					+	+	+	+				
10^{-5}				+	+					+	+	+	+				
		Pole 1								Pole 2							
		DEV médium				YGC médium				DEV médium				YGC médium			
Riedenie	Hĺbka [cm]	Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia		Zhutnená		Bez zhutnenia	
10^{-2}	10					+	+	+	+					++	++	++	++
10^{-3}		++	++	++	++	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}		++	++	++	++					++	++	++	++				
10^{-5}		++	++	++	++					++	++	++	++				
10^{-2}	20					+	++	+	+					+	+	++	++
10^{-3}		++	++	++	++	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}		++	++	++	++					++	++	++	++				
10^{-5}		+	+	+	+					+	+	++	+				
10^{-2}	30					+	+	+	+					++	+	++	++
10^{-3}		++	++	++	++	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+	+	+
10^{-4}		++	++	++	++					++	++	++	++				
10^{-5}		+	+	++	++					++	++	++	+				

+++ prerastené ++ počet KTJ > 35 + počet KTJ < 35 - žiadny rast

Na (Obr. 19) je graficky znázornený celkový počet MO, ktorý sa stanovil pre vzorky zhutnených a nezhutnených pôd z rôznych hĺbok odobraných na vybraných lesných lokalitách.

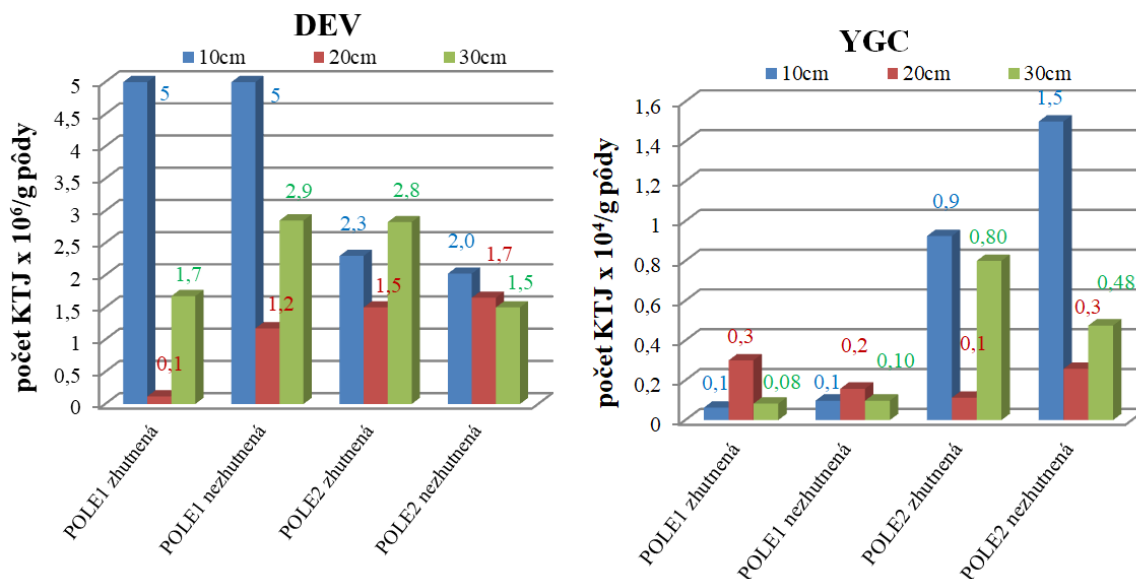


Obr. 19 Celkové počty MO stanovených vo vzorkách pôdy z lesných pôd vyrastených na DEV a YGC médiu.

Výrazný vplyv zhutnenia pôdy na diverzitu celkového zastúpenia MO bol zaznamenaný pri lesnej lokalite 1. Pri zhutnej pôde z tejto lokality sa pozoroval výrazný pokles počtu MO v celom pôdnom horizonte. V hĺbke 10 cm sa zaznamenal pokles o 92% a pri 20 cm o 62% celkového počtu MO resp. KTJ oproti nezhutnenej kontrolnej pôde. Podobný trend sa pozoroval aj v prípade kvasinkových MO a vláknitých húb, kde sa zaznamenal pokles o 98% resp. 93% pri hĺbkach 10 cm resp. 20 cm.

V prípade lesnej lokality 2 sa pozoroval podobný trend len pre kvasinkové MO a vláknité huby. Podobne ako v predošlom prípade nastal veľmi výrazný pokles ich celkového počtu v celom pôdnom horizonte (od 82 do 95%). Dá sa predpokladať, že tento druh MO je viac citlivý na pedokompakciu, pretože zhutnenie lesnej cesty pri lokalite Les2 bolo omnoho nižšie ako pri lokalite Les1 a v prípade DEV média sa nepozoroval vyššie uvedený trend (Obr. 19).

Na Obr. 20 je graficky znázornený celkový počet MO, ktorý sa stanovil pri vzorkách pôdy z poľných lokalít.



Obr. 20 Celkové počty MO stanovených vo vzorkách pôdy z poľných pôd vyrastených na DEV a YGC médiu.

Oproti lesným lokalitám sa pri poľných pôdach zaznamenal vyšší počet MO vyrastených na DEV médiu. V prípade lesných pôd sme sa pohybovali na úrovni 10^5 KTJ/g, u poľných pôd sa jednalo o celý rad vyššie počty 10^6 KTJ/g KTJ. Tento nárast sa dá pravdepodobne vysvetliť ako dôsledok aplikácie rôznych hnojív na poľné pôdy, ktoré zároveň môžu slúžiť ako veľmi dobrý zdroj živín pre rast pôdnych MO.

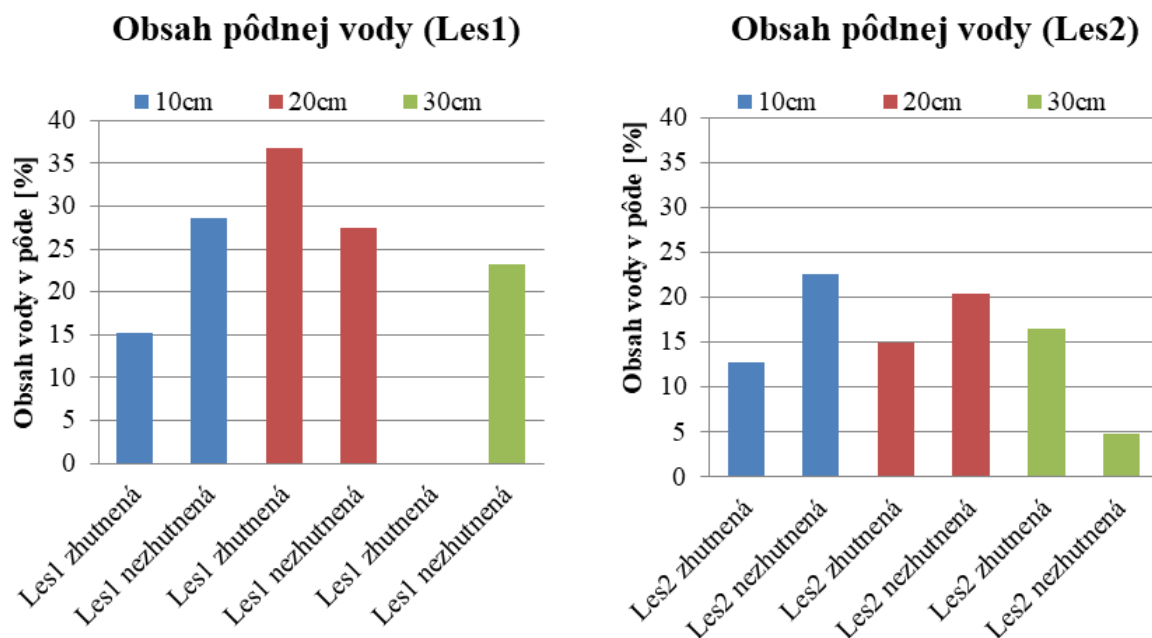
Pre povrchové vzorky zhutnenej a nezhuťnenej poľnej pôdy odobranej z 10 cm sa v prípade nárastu MO na DEV médiu v lokalite Pole 1 nepozoroval žiadny signifikantný rozdiel (5×10^6 a 5×10^6 KTJ/g). Podobne je to v prípade lokality Pole 2 ($2,3 \times 10^6$ a 2×10^6 KTJ/g).

Väčšie rozdiely sa pozorovali pri vzorkách z 20 cm, kde sa zaznamenal celkovo pokles oproti povrchovej vrste pôdy, a to najmä v lokalite Pole1. To súvisí pravdepodobne s odlišnou distribúciou vody a rozpustených živín v rámci zhutnených a nezhuťnených pôd. Následne nastalo výrazné zvýšenie v hĺbke 30 cm. Nakoľko sa jedná o typickú hĺbku preorávania pôdy poľnohospodárskymi strojmi, a pri našich meraniach penetrometrom sa nám kvôli veľmi silnému odporu pôdy pod túto úroveň ani nepodarilo preniknúť, tak sa dá predpokladať, že tu vzniká určitá nepriepustná vrstva, kde nastáva kumulovanie hnojív (živín), čo opäť podporuje rast MO.

V prípade lokality Pole2 sme pozorovali veľmi podobný trend aj pre kvasinkovité MO a vláknité organizmy narastené na YGC médiu. Pre Pole1 sa na tomto médiu zaznamenal veľmi nízky nárast MO. Pôda sa v tejto lokalite preukázala ako nevyhovujúca pre rast kvasinkových MO a vlákniťých húb. Pre tento trend sa nám však nepodarilo identifikovať možnú príčinu.

5.4 Hodnotenie retencie vody

Na Obr. 21 sú graficky znázornené výsledky zo stanovenia obsahu pôdnej vody vo vzorkách zhutnených a nezhutnených lesných pôd. Preukázalo sa, že pri nami posudzovaných lesných lokalitách zohráva pravdepodobne veľmi významnú úlohu okrem celkového zhutnenia pôdy aj povaha a sklon okolitého terénu.



Obr. 21 Obsah pôdnej vody vo vzorkách pôdy odobraných na lesných lokalitách 1 a 2.

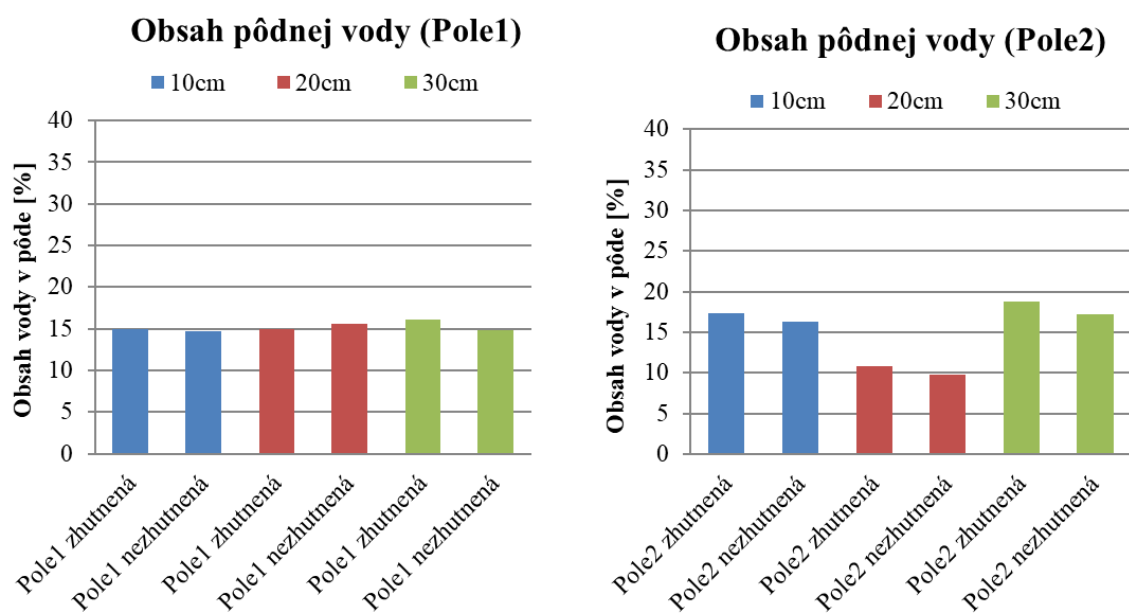
V lokalite Les1 má zhutnená lesná cesta len minimálny sklon. Po dažďových zrážkach je tu vysoký predpoklad akumulovania vody na povrchu cesty, a tým má voda dostatok času, aj napriek horším infiltračným podmienkam, na prenikanie do spodných vrstiev pôdy.

Vo väčšej hĺbke (20 cm) sa jej obsah v zhutnenej pôde výrazne zvýšil (z 15% na 37%). Tu sa dá predpokladať efekt silnejšieho naviazania vody na zhutnenú pôdu napríklad v dôsledku prevládajúcich kapilárnych síl, pričom táto voda horšie uniká z tejto pôdy. Zároveň je tu vysoká pravdepodobnosť, že takáto voda nie je odčerpaná vegetáciou

pričom zostáva nevyužitá a zachytená v pôde. Vzorku z hĺbky 30 cm sa nám nepodarilo odobrať.

Obsah vody v nezhutnenej kontrolnej pôde z rovnakej lokality má tendenciu mierne klesať s rastúcou hĺbkou (35 – 27%). Zároveň táto pôda udržiava rovnomernejšiu distribúciu v rámci pôdneho stĺpca.

Podobné vyššie popísané trendy je možné pozorovať aj pri lesnej lokalite 2 (Obr. 21). Tu je však akumulácia vody vo väčších hĺbkach (20 cm) v rámci zhutnenej pôdy výrazne nižšia (klesá z 37% pri Les1 na 15% pri Les2), pravdepodobne ako dôsledok rýchleho odtoku vody po povrchu zhutnenej cesty s výrazným sklonom, pričom voda nemá dostatok času na infiltrovanie.



Obr. 22 Obsah pôdnej vody vo vzorkách pôdy odobraných na poľných lokalitách 1 a 2.

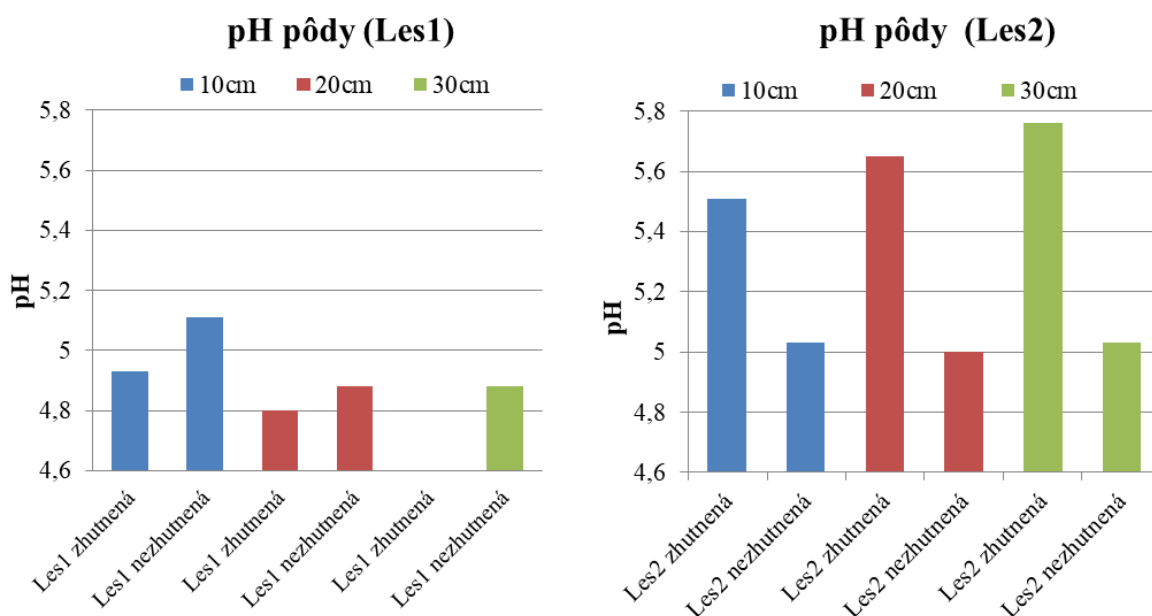
Odlišné trendy zadržiavania vody v pôde sa zaznamenali pri poľných lokalitách. Pri poľnej lokalite 1 (Obr. 22) sa v rámci celého pôdneho profilu nepozorovali žiadne významné rozdiely v obsahu zadržiavanej pôdnej vody. Množstvo vody sa udržiavalo v rámci týchto pôdných vzoriek na rovnakej úrovni (15 %).

Podobný jav sa pozoroval aj pri poľnej lokalite 2 (Obr. 22), kde síce mierne varírovali tieto obsahy pôdnej vody, ale nebol pozorovaný rozdiel pre zhutnené a nezhutnené vzorky pôdy.

Dá sa predpokladať, že v prípade poľných lokalít zohráva významnú úlohu aj faktor otvoreného priestoru, nakoľko sa tu nenachádza tieniaca vegetácia a nastáva tu tak intenzívny odpar vody pôsobením slnečného žiarenia.

5.5 Hodnotenie fyzikálno-chemických vlastností pôd

Na sledovaných lesných lokalitách 1 a 2 sa vyskytuje zmiešané zastúpenie listnatých aj ihličnatých stromov. Celkovo sa merané hodnoty pH vo vzorkách z týchto lokalít pohybovali v kyslej oblasti (od 4,8 do 5,7), čo je charakteristická vlastnosť pre lesné pôdy. Kyslosť pravdepodobne zapríčiňuje intenzívny rozklad organickej hmoty (ihličia) a vyšší obsah humínových a fulvínových kyselín. Nezhutnené pôdy na oboch lokalitách (Obr. 23) vykazujú veľmi podobné hodnoty pH (okolo 5), ktoré sa s rastúcou hĺbkou ani výrazne nemenia.



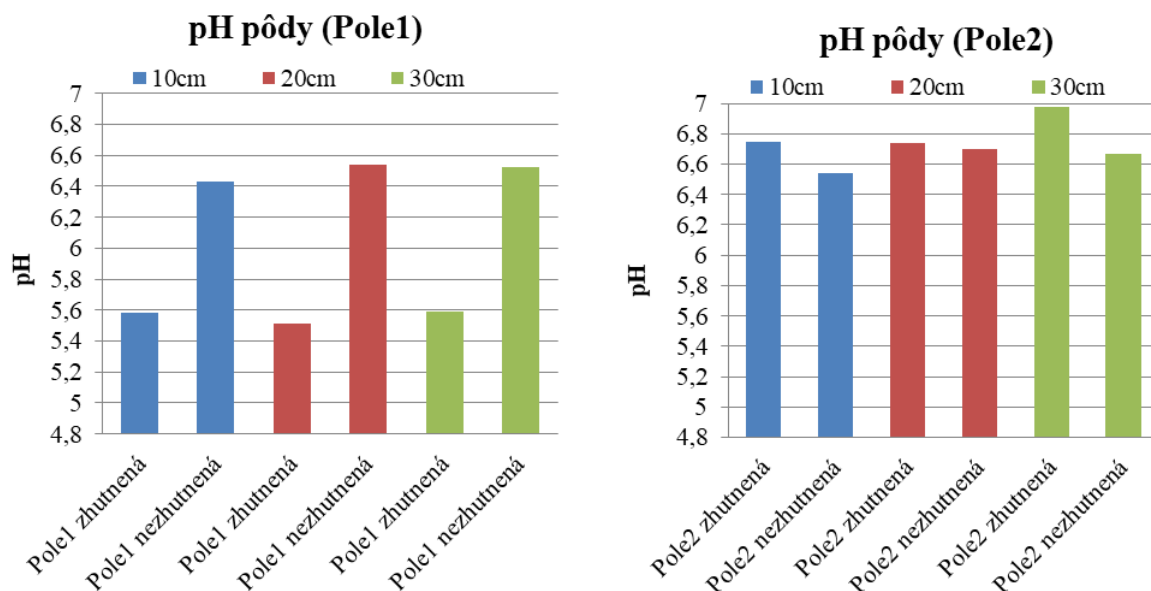
Obr. 23 Grafické znázornenie nameraných hodnôt pH pôdy v lesných lokalitách 1 a 2.

Na lesnej lokalite 1 (Les1) sa v prípade vzoriek pôdy odobraných zo zhutnej lesnej cesty zaznamenali celkovo nižšie hodnoty pH ako pri kontrolných vzorkách získaných z rovnakej odberovej hĺbky (Obr. 23). Ako už bolo skôr spomínané, na tejto lokalite sa dá predpokladať vyššia pravdepodobnosť akumulácie vody. To môže viesť aj k rozpúšťaniu ťažšie rozpustných látok, ktoré stoja za týmto miernym poklesom.

Taktiež sa dá na takejto výrazne zhutnenej lokalite predpokladať horší prestup kyslíka do celého pôdneho horizontu do jednotlivých vrstiev, v dôsledku čoho sa môžu v pôde zintenzívniť anaeróbne procesy, ktorých produkty môžu taktiež stáť za poklesom pH oproti kontrolným vzorkám.

Pri lesnej lokalite 2 (Les2) bol zaznamenaný opačný trend v hodnote pH pri zhutnených a nezhutnených vzorkách pôd (Obr. 23). Navyše aj celkový rozdiel v hodnotách pH zhutnených a nezhutnených vzoriek bol v rámci celého profilu výraznejší,

dosahoval rozdiel na úrovni 0,5-0,75. Tu pravdepodobne zohráva úlohu sklon terénu v dôsledku čoho nastáva výrazný odtok vody bez akumulácie na povrchu čím sa môžu intenzívnejšie vymývať kyslé zložky z pôdy. Celkovo nižšia zaznamenaná vlhkosť pôdy na tejto lokalite naznačuje vyššiu pravdepodobnosť priebehu aeróbných procesov.



Obr. 24 Grafické znázornenie nameraných hodnôt pH pôdy v poľných lokalitách 1 a 2.

Na poľných lokalitách 1 a 2 sa zaznamenali celkovo vyššie hodnoty pH než sa pozorovali pri lesných lokalitách (od 5,5 do 7). Hlavným predpokladom takýchto celkovo vyšších hodnôt je aplikácia rôznych pôdnych aditív (hnojivá, vápnenie) v dôsledku bežnej poľnohospodárskej praxe, ktoré budú mať rozhodujúci vplyv na hodnotu pH.

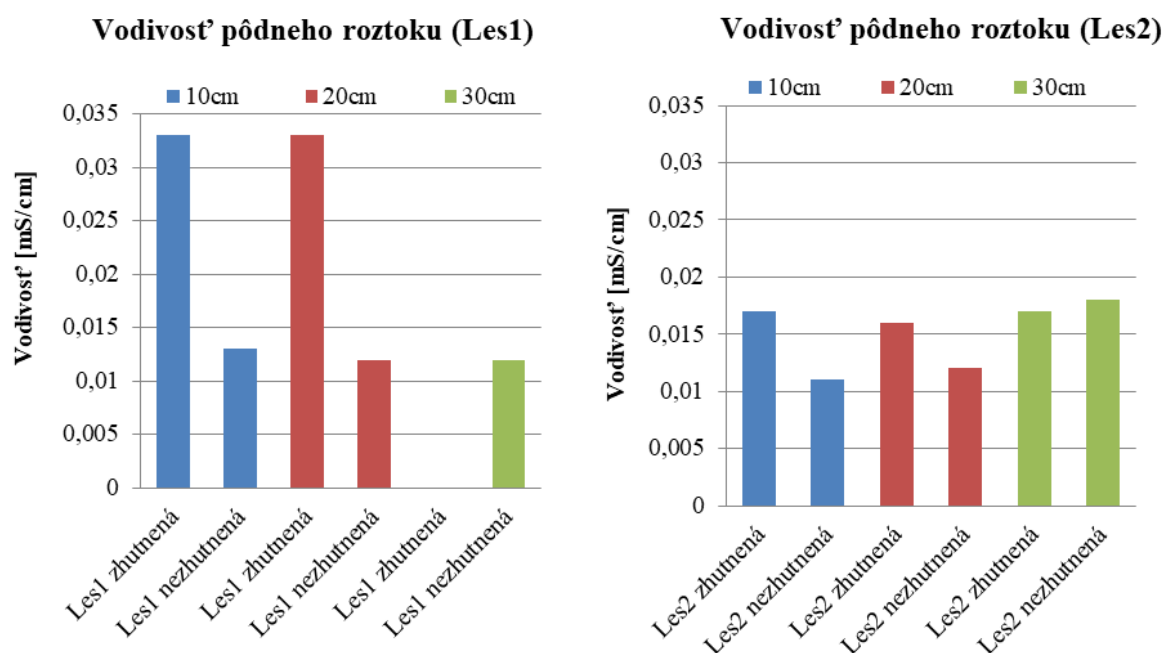
Na záznamoch hodnôt z poľnej lokalite 1 (Pole1) sa zaznamenal výrazný rozdiel medzi vzorkami zhutnenej a nezhutnej pôdy (Obr. 24). Tento rozdiel sa v rámci profilu pôdy pohyboval až o 1 stupeň pH. Ako už bolo predtým spomenuté vzorky nezhutnenej pôdy boli odoberané z miesta, ktoré bola zjavne odlišne obhospodarované a zároveň sa neskôr zistilo, že bolo pravdepodobne aj iným spôsobom pripravené, nakoľko sa tu pestovala iná plodina (jačmeň) ako sa pestovala na zvyšku celého poľa.

Rozdiel v hodnote pH medzi jednotlivými zhutnenými vzorkami pôdy je v rámci tejto lokality Pole1 minimálny. Podobný vývoj majú aj záznamy pH pre nezhutnené vzorky.

Pri poľnej lokalite 2 (Pole2) sa pozorovali celkovo najvyššie hodnoty pH spomedzi všetkých posudzovaných oblastí (Obr. 24). Pri takto zvýšených hodnotách pH sa dá predpokladať, že tu bol aplikovaný neutralizačný prípravok (často krát sa používajú rôzne vápenné kondicionéry).

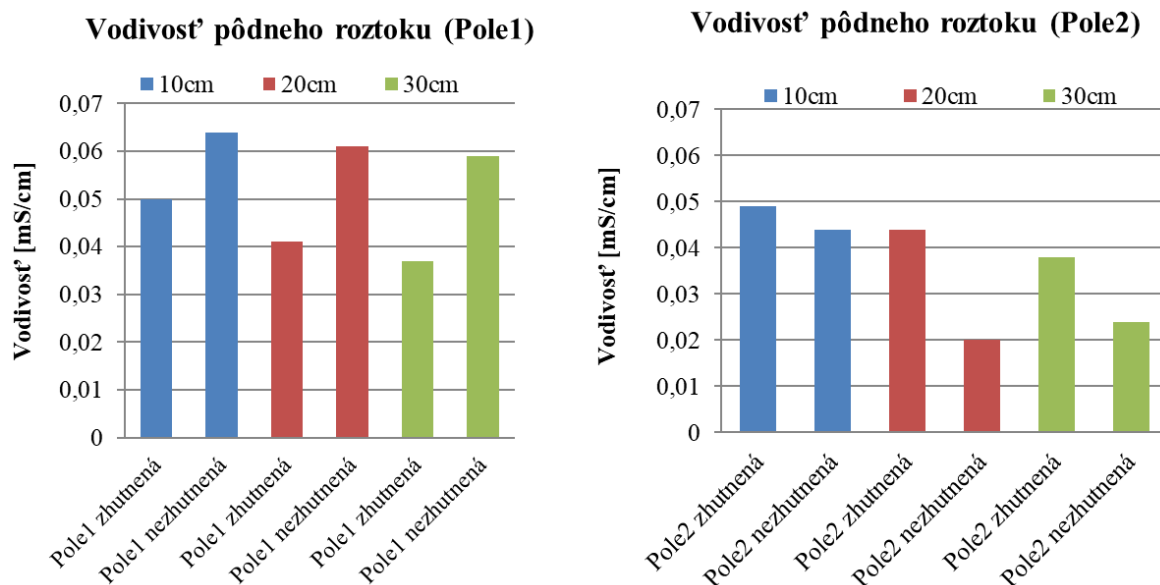
Rozdiely v hodnotách pH medzi zhutnenými a nezhutnenými vzorkami na tejto lokalite sú výrazne nižšie ako boli zaznamenané na lokalite Pole1. Zároveň sa dá usúdiť, že na tejto lokalite má zhutnenie len minimálny vplyv na hodnotu pH, nakoľko je toto pole obhospodarovane rovnakým spôsobom.

Zaujímavý jav sa spätne pozoroval pri lokalite Pole a Pole2, nakoľko majú veľmi podobné hodnoty zaznamenaného pH. Na týchto lokalitách sa neskôr pozorovalo, že sú tu vysadené rovnaké plodiny (jačmeň), a preto sa dá usúdiť, že sa tu používalo veľmi podobné obhospodarovanie z pohľadu aplikovania hnojív a aditív, ktoré vplývajú na hodnotu pH.



Obr. 25 Grafické znázornenie nameraných hodnôt vodivosti v lesných lokalitách 1 a 2.

Na lesných lokalitách 1 a 2 sa hodnoty vodivosti značne líšili (od 0,011 až 0,033 mS/cm) (Obr. 25). Pri lesnej lokalite 1 nastal výrazný rozdiel medzi zhutnenými a nezhutnenými pôdami na základe podobných efektov, ktoré boli popísané pre parameter pH (akumulácia vody na povrchu a vymývanie ťažšie rozpustných látok z pôdy). Po odpare takejto vody zostáva na povrchu odparok, ktorý taktiež zvyšuje hodnoty vodivosti zaznamenané na povrchovom horizonte takejto pôdy. Pri lesnej lokalite 2 sa nezaznamenali výraznejšie zmeny v nameraných hodnotách čo je pravdepodobne dané rozličnou distribúciou vody, než sa predpokladá pri lesnej lokalite 1 (sklon terénu a menšia hutnosť pôdy).



Obr. 26 Grafické znázornenie nameraných hodnôt vodivosti v poľných lokalitách 1 a 2.

Na poľných lokalitách sa zaznamenali výrazne vyššie hodnoty vodivosti ako v prípade lesných lokalít (až 2-násobne vyššie) (Obr. 26). Tu sa dá predpokladať vplyv aplikovaných hnojív na poľnohospodárske pôdy, ktoré sú dobre rozpustné vo vode a vo svojej podstate sa jedná o soli rôznych zlúčenín.

Na grafických záznamoch lokality 1 (Pole1) bol zaznamenaný väčší rozdiel medzi vzorkami zhutnenej a nezhutnenej pôdy. V oboch prípadoch mali hodnoty klesajúci trend. S veľkou pravdepodobnosťou zohráva najväčšiu úlohu pri tomto rozdieli aplikovanie odlišných hnojív než samotný parameter hutnosti pôdy.

Pri poľnej lokalite 2 nezhutnená pôda vykazovala nižšiu vodivosť ako zhutnená pôda čo pravdepodobne súvisí s odlišnou distribúciou vody vo vodnom stĺpci na danej lokalite. Bližšie sa nám tento vplyv nepodarilo vysvetliť.

6 Záver

V rámci bakalárskej práce sme sa zaoberali problematikou negatívnych dôsledkov zhutnenia pôdy na poľnohospodárske a lesné pôdy. Teoretická časť práce sa venuje charakterizácii pôdy, a to z pohľadu jej štruktúry a funkcií, ktoré plní v ekosystéme a ŽP. Štúdiom odbornej literatúry bol vypracovaný prehľad o aktuálnom stave negatívnych vplyvov zhutnenia na retenciu vody v pôde, mikrobiálnu diverzitu a fyzikálno-chemické parametre pôdy.

V rámci experimentálnej časti sa na vybraných lesných a poľnohospodárskych lokalitách s intenzívnou antropogénnou činnosťou sledovali penetračné charakteristiky pôdy. Vyššie hodnoty zhutnenia pôdy boli zaznamenané pri lesných lokalitách. V rámci poľných lokalít sa identifikovali problémové miesta v rôznych hĺbkach a rôznych častiach vybraných polí. V prípade poľnej lokality 1 a 3 sa dá usúdiť zvýšené zhutnenie vplyvom mechanizmov, kde pri lokalite 2 môže byť pôvod zhutnenia podmienený práve prirodzeným tvarom terénu.

Odobrané vzorky pôd sa podrobili viacerým laboratórnym analýzám, ktoré vo väčšine prípadov potvrdili výrazné rozdiely medzi zhutnenými a nezhutnenými vzorkami pôdy. V prípade lesných pôd boli všeobecne zaznamenané výraznejšie rozdiely než sa pozorovali pri poľnohospodárskych pôdach čo je pravdepodobne spojené s pravidelným zásahom agrotechniky.

Jednoznačný vplyv zhutnenia pôdy na schopnosť retencie vody sa pozoroval práve pri lesných pôdach, kde sa zaznamenal až dvojnásobný rozdiel v obsahu vody medzi zhutnenými a nezhutnenými lokalitami. V prípade poľnohospodárskych pôd sa tento jav nepodarilo jednoznačne preukázať.

Výrazné zmeny sa pri lesných pôdach zaznamenali i v prípade mikrobiálnej diverzity, a to poklesom od 62% do 98% pri zhutnenej pôde. Pričom na základe získaných údajov sa dá predpokladať že kvasinkové organizmy vykazujú vyššiu citlivosť na zvýšenú pedokompakciu pôdy.

Sledované fyzikálno-chemické parametre výrazne záviseli od predpokladanej distribúcie vody v danej lokalite, ktorá bola ovplyvnená nie len zhutnením ale aj povahou okolitého terénu. Podobne ako pri retencii vody aj tu boli najväčšie rozdiely medzi fyzikálno-chemickým charakterom zhutnenej a nezhutnenej pôdy pozorovanej pri lesných pôdach. Trend vývoja parametrov pri zhutnených a nezhutnených pôdach sa odlišoval pri každej lokalite čím sa dá predpokladať, že sledované parametre sú závislé i od iných

lokálnych a terénnych vlastností ako sú napr. sklon terénu, slnečné žiarenie, pôdne aditíva. Na detailnejšie štúdium vplyvu zhutnenia na celkovú kvalitu pôdy by bolo potrebné realizovať detailnejší monitoring v dlhšom časovom horizonte za rôznych meteorologických podmienok. To by mohlo byť cieľom ďalšej záverečnej práce.

Zoznam použitej literatúry

AZIZSOLTANI, E. - HONARJOO N. - AYOUBI Sh. 2019. How soil pore distribution could help in soil quality studies as an appropriate indicator. In *Eurasian Soil Science*. ISSN 1556-195X, 2019, vol. 52, no. 6, s. 654–660.

Bod' o T. and Bajl J. 2009. Využitie nových trendov merania pedokompakcie. Usage of new trends of soil compaction measurement. [online]. Slovensko: Nitra. s. 1-6. Dostupné z: <http://www.slpk.sk/eldo/2009/zborniky/023-09/bodo-bajla.pdf>

CREAMER, R. a kol. 2018. The Soils of Ireland. Soil Formation. Ireland: Johnstown Castle Environment Research Centre, 2018. 11–37 s. ISBN: 978-3-319-71189-8.

ČURLÍK, J. and JURKOVIČ, Ľ. 2012. Pedochémia. Slovensko. s. 18-19. ISBN 978-80-223-3210-1.

DAZZI, C. - LO PAPA, G. 2021. A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. In *International Soil and Water Conservation Research*. ISSN 2095-6339, 2021, vol. 10, no. 1, s. 99-108.

DODOK R. and KUSÝ D. 2017. Monitoring vodného režimu poľnohospodárskych pôd v oblasti vodného diela Gabčíkovo. Slovensko: Bratislava, 2017. ISBN: 978-80-8163-023-1

DUIKER, S. W. 2002. Diagnosing Soil Compaction Using a Penetrometer (Soil Compaction Tester) [online]. U.S.: Pennsylvania State University. s. 1-2. Dostupné z: <https://extension.psu.edu/diagnosing-soil-compaction-using-a-penetrometer-soil-compaction-tester>

DIPANTI Ch. a kol. 2018. Microorganisms for Sustainability. Advances in Soil Microbiology. Microbial Diversity and Soil Health in Tropical Agroecosystems. Singapore, 2018. 19–35 s. ISBN: 978-981-10-7379-3

ERKTAN A. - OR D. - SCHEU S. 2020. The physical structure of soil: Determinant and consequence of trophic interactions. In *Soil Biology and Biochemistry*. ISSN: 0038-0717, 2020, vol. 148, pp. 107876, s. 3-6.

FANG, Hsai-Yang, 1991. Foundation Engineering Handbook. Compacted Fill. Colorado: Consulting Engineer Aurora, 1991. 249–316 s. ISBN 978-0-4129-8891-2.

FINCH, H.J.S. – SAMUEL, A.M. – LANE, G.P.F. 2014. Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland. Soils and soil management. United Kingdom: Royal Agricultural University, 2014. 37–62 s. ISBN: 978-1-78242-371-3.

HATTEN, J. and LILES, G., 2019. A “healthy” balance – The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. *Developments in Soil Science*. United States, 2019. 373–396 s. ISBN: 978-0-444-63998-1.

HATFIELD, J. L. - SAUER T. J. - CRUSE R. M. 2017. Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus. United States: Iowa State University, 2017. 1–46 s. ISBN: 978-0-12-812421-5.

HANES, J. a kol. 1995. Pedológia (Praktikum) (skriptá). Nitra: VŠP, 153 s.

HAO, J. a kol. 2020. The Effects of Soil Depth on the Structure of Microbial Communities in Agricultural Soils in Iowa. In *Applied and Environmental Microbiology*. ISSN: 1098-5336, 2020, vol.87, no. 4.

JACKSON, R. S. 2020. Wine Science. Site selection and climate. United States, 2020. 331–374 s. ISBN: 978-0-12-816118-0

KALEV, S. D. – TOOR, G. S. 2018. The Composition of soils and sediments. TÖRÖK, Béla and Timothy DRANSFIELD, ed., *Green Chemistry*. Amsterdam: Elsevier, s. 339-357. ISBN 978-0-12-809270-5.

LIANG, Ch. - SCHIMEL, J. P. - JASTROW, J. D. 2017. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. In *Nature Microbiology*. ISSN: 2058-5276, 2017, vol. 2, no. 8, s. 485-559.

LONGEPIERRE, M. a kol. 2021. Limited resilience of the soil microbiome to mechanical compaction within four growing seasons of agricultural management. [online]. Switzerland: Zurich. 1-13 s. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s43705-021-00046-8>

MAREDDY, A. R. 2017. Environmental Impact Assessment. Impacts on soils and land environment. Kidlington: Oxford, 2017. 249–296 s. ISBN 978-01-281-1238-0.

MARIOTTI, B. a kol. 2020. Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morphological and physiological attributes. In *Forest Ecology and Management*. ISSN: 0378-1127, 2020, č. 462, s. 2-9.

MAYER Henry, 2021. Soil compaction, is it good or bad. [online]. Florida: University of Florida. [cit. 5. mája 2022]. Dostupné z: <http://blogs.ifas.ufl.edu/miamidadeco/2021/04/09/soil-compaction-is-it-good-or-bad/>

Mičian, 1977. Zonálne, intrazonálne a azonálne pôdy. [online]. Slovensko. [cit. 05. mája 2022]. Dostupné z: <http://pedogeografiak.blogspot.com/2008/02/zonlne-intrazonlne-azonlne-pdy.html>

NAWAZ, M. F. – BOURRIÉ, G. – TROLARD, F. 2013. Soil compaction impact and modelling. A review. In *Agronomy for Sustainable Development*. ISSN: 1773-0155, 2013, vol. 33, s. 291-309.

OSMAN, K. T. 2013. Soils. Factors and Processes of Soil Formation. Bangladesh: University of Chittagong, 2013. 17-30 s. ISBN 978-94-007-5662-5.

PEARSON Prentice Hall, 2005. Soil Horizons. [cit. 30. mája 2022]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/exploresoil/soil-properties/soil-horizons>

RAI, R. K. – SINGH V. P. – UPADHYAY A. 2017. Planning and Evaluation of Irrigation Projects. Soil Analysis. 505-523 s. ISBN: 978-0-12-811748-4.

RAWLS W.J. a kol. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. In *Geoderma*. ISSN: 0016-7061, 2003, vol.116, no. 1-2, s. 61-76.

ROSSIT, D., PAIS, C., WEINTRAUB, A., BROZ, D., FRUTOS, M., & TOHMÉ, F. 2021. Stochastic forestry harvest planning under soil compaction conditions. In *Journal of Environmental Management*. ISSN: 0301-4797, 2021, vol. 296, pp. 113157, s. 1-2.

SHARMA Vivek, 2018. Irrigation management: Basics of soil water. U.S: University of Wyoming. [cit. 30. mája 2022]. Dostupné z: <https://wyoextension.org/publications/html/B1330/>

STACCIONE, A. a kol. 2021. Natural water retention ponds for water management in agriculture. A potential scenario in Northern Italy. In *Journal of Environmental Management*. ISSN: 0301-4797, 2021, vol. 292, pp. 112849, s. 292.

VALO, Štefan, 2018. Zhutnená pôda a prerušené kapiláry. [online]. Slovensko. [cit. 04. apríla 2021]. Dostupné z: <https://www.povodne.sk/sk/priciny-povodni/zhutnena-poda-a-prerusene-kapilary>

VAN DEN AKKER, J.J.H., and Soane B. 2005. Encyclopedia of Soils in the Environment. COMPACTION. Netherlands: Alterra Wageningen UR. 285–293 s. ISBN: 978-0-1234-8530-4.

VIDAL L. a kol. 2016. Soil quality, properties, and functions in Life Cycle Assessment: an evaluation of models. In *Journal of Cleaner Production*. ISSN: 0959-6526, 2016, vol. 140, s. 502-515.

VLČEK, J. 2011. Potenciály a parametre kvality poľnohospodárskych pôd Slovenska. ISSN 2453-8787, 2011, vol. 63, no. 2, s. 133-154.

VÚPOP, 2019. Zastúpenie pôdných druhov [online]. Slovensko. [cit. 05. mája 2021]. Dostupné z: http://www.podnemapy.sk/portal/reg_pod_infoservis/pd/pd.aspx

XU, Y. a kol. 2021. Soil bacterial diversity related to soil compaction and aggregates sizes in potato cropping systems. In *Applied Soil Ecology*. ISSN: 0929-1393, 2021, vol. 168, pp. 104147, s. 1-3.

YANG, Y. a kol. 2021. Negative effects of multiple global change factors on soil microbial diversity. In *Soil Biology and Biochemistry*. ISSN: 0038-0717, 2021, vol. 156, pp. 108229, s. 1-2.

ZVERKOVÁ, M. 2011. Interpretácia údajov získaných pri detailnom výskume pôd v urbánnom priestore. In *Folia geographica*. ISSN: 1336-6149, 2011, vol. 11