

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta chemická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2022

Bc. Lucia Ragačová



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA CHEMICKÁ**

FACULTY OF CHEMISTRY

**ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

**VLIV PŘEDÚPRAVY PŮDY NA STANOVITELNOST JEJÍCH  
VLASTNOSTÍ METODOU TERMOGRAVIMETRIE**

INFLUENCE OF SOIL PRETREATMENT ON THE DETERMINATION OF ITS PROPERTIES USING THERMOGRAVIMETRY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Lucia Ragačová

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.

**BRNO 2022**

## Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1685/2021 Akademický rok: 2021/22  
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany  
životního prostředí  
Studentka: Bc. Lucia Ragačová  
Studijní program: Chemie a technologie ochrany  
životního prostředí  
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany  
životního prostředí  
Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.

### Název diplomové práce:

Vliv předúpravy půdy na stanovitelnost jejích vlastností metodou termogravimetrie

### Zadání diplomové práce:

1. Vypracování rešeršní práce na téma vznik a geneze půdy, stanovitelnosti základních a pokročilých půdních parametrů metodou termogravimetrie, ovlivnění stanovitelnosti předúpravou půdy.
2. Provedení termogravimetrických experimentů s neupravenými a namletými půdami.
3. Vyhodnocení dat: korelace hmotnostních úbytků s obsahem C a N a autokorelační analýza hmotnostních úbytků.
4. Diskuze vlivu mletí na stanovitelnost C a N a autokorelaci hmotnostních úbytků.

### Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2022:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu.  
Toto zadání je součástí diplomové práce.

-----  
Bc. Lucia Ragačová  
studentka

prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.  
vedoucí práce

prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.  
vedoucí ústavu  
-----

V Brně dne 1.2.2022

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.  
děkan

# Abstrakt

Táto diplomová práca sa zameriava na vplyv predúpravy pôdy na stanoviteľnosť jej vlastností metódou termogravimetrie, ktorá nám umožňuje analyzovanie pôdnej vzorky ako celku.

Cieľom je objasniť, ako ovplyvňuje príprava pôdy výsledky TG analýzy pôdy. Príprava pôdy totiž môže zásadným spôsobom ovplyvniť jej kvalitu a tým prerušiť vzájomné vzťahy pôdných komponentov, ktoré vznikli ako dôsledok dlhodobej pedogenézy. V tejto práci preto boli pôvodné pôdy porovnávané s pôdami, ktoré boli pred analýzou nadržané guľovým mlynom, čo predstavovalo veľmi intenzívny zásah do pôdnej štruktúry a teda šlo o pôdu mechanicky narušenú.

Na vyhodnotenie danej problematiky sme použili modifikovanú metódu derivácie hmotnostných úbytkov. Získané dáta boli rozdelené do 10°C tepelných intervalov, medzi ktorými boli zistené hmotnostné úbytky jednotlivých intervalov. Porovnávali sme vplyv mletia pôdy na jej stanoviteľnosť v súvislosti s obsahom celkového uhlíka a dusíka v pôde, prostredníctvom korelácie dát získaných z elementárnej analýzy a TG dát. Následne sme sa v práci zamerali na porovnanie vzájomných vzťahov rovníc mletých a nemletých vzoriek skúmanej pôdy, pričom sme vychádzali z teoretických rovníc danej problematiky. Ako posledný pohľad na sme zvolili autokoreláciu TG dát pre získané mleté a nemleté vzorky.

Výsledky našich meraní ukázali, že aj napriek tomu, že mletie vzoriek predstavuje veľmi intenzívny zásah do pôdnej štruktúry a teda ide o pôdu mechanicky narušenú takáto predpríprava vzoriek má len minimálny vplyv na samotnú stanoviteľnosť pôdných vlastností.

## Kľúčové slová:

Termogravimetria, Mletie, Pôdna organická hmota, Dusík, Uhlík, Autokorelácia

# Abstrakt

This diploma thesis focuses on the influence of soil pretreatment on the determination of its properties by the method of thermogravimetry, which allows the soil sample to be analyzed as a whole.

The aim is to clarify how soil preparation affects the results of TG soil analysis. Soil preparation can have a major impact on its quality and thus disrupt the interrelationships of soil components that have been formed as a result of long-term pedogenesis. In this thesis, therefore, the original soils were compared with the soils, which were grinded using a ball mill before the analysis, which represented a very intensive intervention in the soil structure and was therefore a mechanically disturbed soil.

A modified method of deriving weight loss has been used to evaluate the issue. The data obtained were divided into 10°C thermal intervals, in-between which the loss of weight of the individual intervals were identified. The impact of soil milling on its determinability in relation to the total carbon and nitrogen content in the soil have been compared through the correlation of data obtained from elemental analysis and TG data. Subsequently, we focused on comparing the interrelationships of the equations of ground and unground soil samples, based on the theoretical equations of the issue. As a final look, we chose autocorrelation of TG data for the obtained ground and unground samples.

The results of the examination have shown that even though grinding of samples represents a very intensive intervention into the soil structure and thus the soil is mechanically disturbed, such sample preparation has only a minimal effect on the determinability of soil properties.

## Keywords:

Thermogravimetry, Grinding, Soil Organic Matter, Nitrogen, Carbon, Autocorrelation

RAGAČOVÁ, Lucia. Vliv předúpravy půdy na stanovitelnost jejích vlastností metodou termogravimetrie [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/138473>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí . Vedoucí práce Jiří Kučerík.

## **Pod'akovanie**

Na prvom mieste sa chcem poďakovať vedúcemu práce prof. Ing. Jiřímu Kučeríkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, pripomienky, konzultácie, poskytnuté materiály a hlavne za veľmi ústretové vedenie pri písaní práce. Ďalej by som chcela poďakovať Ing. Eliške Kameníkovej za ústretovú pomoc pri príprave a meraní vzoriek potrebných pre túto diplomovú prácu.

## **Čestné vyhlásenie**

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala. Diplomová práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemické VUT v Brne a môže byť použitá na komerčné účely len so súhlasom vedúceho diplomovej práce a dekana FCH VUT.

V Bratislave dňa 11.05.2022

.....

Bc. Lucia Ragačová

# Obsah

|        |                                        |    |
|--------|----------------------------------------|----|
| 1.     | Úvod .....                             | 9  |
| 2.     | Teoretická časť práce.....             | 10 |
| 2.1    | Pôda.....                              | 10 |
| 2.2    | Globálny vplyv.....                    | 10 |
| 2.2.1  | Kontaminácia pôdy.....                 | 11 |
| 2.2.2  | Degradácia pôdy .....                  | 11 |
| 2.3    | Pôda a pôdotvorné procesy .....        | 13 |
| 2.4    | Chemické zloženie pôdy .....           | 16 |
| 2.5    | Chemické vlastnosti pôdy .....         | 18 |
| 2.5.1  | Pôdna reakcia.....                     | 18 |
| 2.5.2  | Pôdna sorpcia.....                     | 19 |
| 2.6    | Organické zložky pôdy .....            | 20 |
| 2.7    | Fyzikálne vlastnosti pôdy .....        | 21 |
| 2.7.1  | Zrnitosť .....                         | 21 |
| 2.7.2  | Štruktúra .....                        | 21 |
| 2.7.3  | Farba .....                            | 22 |
| 2.7.4  | Obsah vody v pôde .....                | 22 |
| 2.8    | Pôdne druhy a typy .....               | 23 |
| 2.9    | Biologické vlastnosti pôdy.....        | 26 |
| 2.9.1  | Pôdna respirácia.....                  | 27 |
| 2.10   | Biogeochemické cykly .....             | 27 |
| 2.10.1 | Cyklus uhlíka .....                    | 27 |
| 2.10.2 | Cyklus dusíka.....                     | 28 |
| 2.11   | Základné znaky kvality pôdy .....      | 30 |
| 2.11.1 | Stanovenie uhlíka a dusíka v pôde..... | 31 |

|        |                                                      |    |
|--------|------------------------------------------------------|----|
| 2.12   | Termogravimetria .....                               | 32 |
| 2.12.1 | Princíp metódy .....                                 | 32 |
| 2.12.2 | Stanovenie pôdy pomocou termogravimetrie .....       | 32 |
| 3.     | Cieľ práce .....                                     | 37 |
| 4.     | Experimentálna časť .....                            | 38 |
| 4.1    | Odber pôdných zložiek .....                          | 38 |
| 4.2    | Termogravimetrická analýza pôdných vzoriek .....     | 39 |
| 4.2.1  | Predúprava pôdných vzoriek .....                     | 39 |
| 4.2.2  | Parametre merania a jeho priebeh .....               | 39 |
| 5.     | VÝSLEDKY A DISKUSIA .....                            | 41 |
| 5.1    | Vplyv mletia na stanoviteľnosť uhlíka a dusíka ..... | 41 |
| 5.2    | Porovnanie vzájomných vzťahov pomocou rovníc .....   | 44 |
| 5.3    | Autokorelácia TG dát .....                           | 46 |
| 6.     | Záver .....                                          | 51 |
| 7.     | Zoznam použitých zdrojov .....                       | 52 |
| 7.1    | Literárne zdroje .....                               | 52 |
| 7.2    | Internetové zdroje .....                             | 59 |
| 8.     | Zoznam skratiek a značiek .....                      | 60 |

# 1. ÚVOD

Pôdu, podobne ako ostatné prírodné zdroje, má človek od nepamäti k dispozícii pre zabezpečenie kvalitného a harmonického života avšak pôda je oveľa viac než neživý piesok a naplaveniny. Pôda je faktor nášho života, ktorý ovplyvňuje vznik, fungovanie a ako história ukázala aj zánik ľudských civilizácií.

Pôda je pre fungovanie spoločnosti dôležitá z viacerých hľadísk. Približne 78 % priemernej spotreby kalórií na obyvateľa na celom svete pochádza z plodín pestovaných priamo v pôde a ďalších takmer 20 % pochádza zo suchozemských zdrojov potravy, ktoré sa nepriamo spoliehajú na pôdu, funguje ako prirodzený filter na odstránenie kontaminantov z vody, pomáha regulovať teplotu Zeme, ako aj množstvo dôležitých skleníkových plynov. Ako bolo povedané, pôda nie je neživá súčasť nášho života, práve naopak je to živý systém ktorého kvalita je odvodená od súčinnosti medzi fyzikálno-chemickými a biologickými zložkami, najmä mikrobiálnymi spoločenstvami, ktoré sú základom pre funkciu pôdy.

V posledných desaťročiach rastú obavy z udržateľnosti v nadväznosti na globálny rast ľudskej spoločnosti a jej nárokov na kvantitu a kvalitu pôdy. Kvalitu pôdy vieme ovplyvňovať pomocou organických úprav. Tieto postupy majú silný vplyv na zdravie pôdy, ktoré zohľadňuje zdravie rastlín, prostredníctvom zmien fyzikálno-chemických charakteristík a vplyvu na pôdne mikrobiálne spoločenstvá, aby však bolo možné dané postupy aplikovať, je potrebné poznať vlastnosti konkrétnej pôdy, ktoré sú výsledkom rôznych metód.

Cieľom tejto diplomovej práce je zistenie vplyvu predprípravy pôdy na stanovenie C a N v pôde pomocou skúmania hmotnostných úbytkou s obsahom C a N na základe korelácie a autokorelačnej analýzy a ďalej na prípadnú zmenu vzájomných vzťahov medzi pôdnymi komponentami.

## 2. TEORETICKÁ ČASŤ PRÁCE

### 2.1 Pôda

„Pôda je komplexný systém zložený zo súboru vzájomne prepojených fyzikálnych, chemických a biologických faktorov, ktoré fungujú ako celok“ (Minasny a kol., 2008).

Pôda, biologicky aktívne, porézne médium, ktoré sa vyvinulo v najvrchnejšej vrstve zemskej kôry. Pôda je jedným z hlavných substrátov života na Zemi, slúži ako zásobáreň vody a živín, ako médium na filtráciu a rozklad škodlivých odpadov a ako účastník kolobehu uhlíka a iných prvkov cez globálny ekosystém. Vyvinula sa procesmi zvetrávania poháňanými biologickými, klimatickými, geologickými a topografickými vplyvmi.

Tvorí ju minerálne a organické zložky, vzduch a voda. Veľmi všeobecne minerálne zložky pozostávajú z častíc ako piesok, bahno a íl, ktoré sa skladajú z rôznych chemických zložiek, zatiaľ čo jej organické zložky pochádzajú zo živých organizmov vrátane rastlín, baktérií, húb, fauny a ich zvyškov (Russel, 2019).

Pôda je veľmi dôležitá súčasť kultúrneho dedičstva, pretože nám odnepamäti určovala vzhľad krajiny a zachováva svedectvo o človeku v minulosti. V poslednom rade slúži ako zdroj biodiverzity. Pôda plní v našom ekosystéme vlastne dve úlohy – ako zložka životného prostredia plní produkčnú funkciu a ako zložka s kapacitne obrovským regulačným, detoxikačným, hygienickým a čistiacim významom plní funkciu environmentálnu. Je vytváraná procesom zvaným pedogenéza, počas ktorého dochádza k premene hornín a organických látok. Naopak pôda zaniká procesom zvaným erózia (Horník a kol., 1986).

### 2.2 Globálny vplyv

Pôda je prvotným prírodným bohatstvom, ktoré nám zaručuje zachovanie sociálno-ekonomických a ekologických systémov na Zemi. Tieto systémy nám neslúžia iba ako zdroj obživy a surovín pre obyvateľov Zeme, ale vždy udávali rozvoj ľudských sídiel a infraštruktúry

Život na Zemi závisí od zdravej pôdy. Pôda je živým organizmom – je domovom pre mnohé druhy rastlín a zvierat, ktorých neviditeľná interakcia zaisťuje náš blahobyt a blahobyt našej planéty. Zároveň môže pomôcť spomaliť zmenu klímy a zvýšiť našu odolnosť voči extrémnym klimatickým javom, akými sú suchá a povodne [1].

Je hlavnou schránkou pre odpadový materiál vrátane ľudského, živočíšneho a priemyselného odpadu. Očakáva sa, že pôda pokiaľ bude dostatočne kvalitná bude filtrovať a spracovávať ľudské a živočíšne odpadové produkty a viazať alebo znehodnocovať priemyselné odpadové

látky, aby sa zabránilo prenosu toxických materiálov späť do potravinového reťazca a zásob pitnej vody. Rozvoj pôdy a rast populácie však naďalej spotrebúvajú a nadmerne zaťažujú pôdne zdroje, takže požiadavky na produktivitu a environmentálne požiadavky čoraz viac kladú dôraz na optimalizáciu výkonnosti pôdy (Essington, 2003).

### **2.2.1 Kontaminácia pôdy**

Znečistenie pôdy znamená výskyt niektorých látok v pôde spôsobený ľudskou činnosťou, ktoré môžu zmeniť kvalitu a funkciu pôdy, viesť k degradácii pôdy a poškodzovať základné pôdne štruktúry (Luo et al., 2015).

S rýchlym rozvojom urbanizácie, priemyslu a poľnohospodárstva sa problém znečistenia pôdy ťažkými kovmi stáva čoraz dôležitejším. Znečistenie ťažkými kovmi v pôde úzko súvisí s kvalitou plodín a bezpečnosťou potravín. Ťažké kovy v pôde môžu byť absorbované plodinami a potom sa cez potravinový reťazec dostanú do ľudského tela a priamo ohrozujú ľudské zdravie (Zhang a kol., 2020). Najčastejšie zdroje kontaminácie sú uhlíkovodíky, pesticidy, rôzne rozpúšťadlá, olovo, kadmium, ortuť a iné ťažké kovy.

### **2.2.2 Degradácia pôdy**

Degradácia pôdy je definovaná ako obrátenie stabilného pôdneho ekosystému do relatívne krehkého a nestabilného stavu v dôsledku nepriaznivých faktorov prostredia a nesprávneho využívania človekom. Degradácia pôdy sa typicky prejavuje stratou pôdnej organickej hmoty, zníženou úrodnosťou, nevyváženými prvkami, zníženou stabilitou agregátov, zhoršením pôdnej štruktúry, acidifikáciou, salinizáciou a mnohými ďalšími menej významnými problémami (Lal, 2015).

Degradácia nie je len zhoršovanie štrukturálnych charakteristík a funkčných procesov suchozemského ekosystému počas evolučného procesu, ale aj zhoršovanie biologických spoločenstiev a ich životného prostredia (Li a kol. 2016).

Degradácia pôdy vedie nielen k zmenám v základných fyzikálnych a chemických vlastnostiach pôd, ale je tiež známe, že zmierňuje a znižuje koncentrácie organického uhlíka (SOC), dusíka (N) a fosforu (P) v pôde (Bashagaluke a kol., 2018).

Pôda je degradovaná, poškodzovaná mnohými spôsobmi a príčinami, ktoré sa líšia druhom, rozsahom a stupňom pôsobenia.

Podľa charakteru rozlišujeme tri základné skupiny:

- fyzikálnu degradáciu,

- chemickú degradáciu,
- biologickú degradáciu (Kanianska, 2012)

**Pôdna erózia** je všeobecne považovaná za najzávažnejšiu formu degradácie pôdy, ktorá predstavuje významnú hrozbu pre svetovú kapacitu výroby potravín a globálnu potravinovú bezpečnosť (Biggelaar a kol.).

Vodná erózia pôdy je jedným z najdôležitejších nebezpečenstiev degradácie pôdy, ktoré ohrozuje trvalo udržateľné poľnohospodárstvo, tento proces je komplexný jav, ktorý sa týka množstva stratenej pôdy (vrátane odtrhnutia a transportu) v určitom časovom období v oblasti, vyjadrené ako hmotnosť na jednotku plochy. Hlavnými faktormi určujúcimi pôdnu eróziu sú reliéf, využitie krajiny a krajinná pokrývka, parametre zrážok, vlastnosti pôdy a postupy obhospodarovania pôdy. Pôdna erózia má vážne, negatívne ekonomické a environmentálne účinky (GIL a kol., 2021).

Najmä extrémna pôdna erózia hrá dôležitú úlohu v geomorfných procesoch. Extrémna erózia pôdy je nepochybne zriedkavým javom, s nízkou pravdepodobnosťou výskytu. Takéto procesy môžu viesť k podstatným zmenám reliéfu vo forme transformácie existujúcich tvarov terénu alebo môžu viesť k tvorbe nových erózných a denudačných tvarov terénu a tiež akumulčných tvarov terénu. Okrem toho je prah extrémnej erózie pôdy mimoriadne zaujímavý z praktických dôvodov, pretože sa môže použiť na zlepšenie plánovania poľnohospodárskej činnosti z hľadiska ochrany pôdy, čím sa podporuje trvalo udržateľné využívanie pôdy (Orłowska, 2022).

**Salinita a sodicita** predstavujú veľké riziká pre hydroekologické fungovanie pôdy a poľnohospodársku výrobu. Salinizácia pôdy, najmä v suchých a polosuchých oblastiach sveta, a problém zamokrenia, ktorému čelia mnohé regióny, predstavujú vážne hrozby pre životné prostredie a udržateľnosť poľnohospodárstva v dôsledku prírodných a antropogénnych faktorov (Arnous a Green, 2015).

Stres zo slanosti ovplyvňuje rast vegetácie priamo znížením príjmu vody rastlinami (osmotický stres) a akumuláciou špecifických iónov v rastlinách (toxický účinok). Sodicita nepriaznivo ovplyvňuje fyzikálne vlastnosti pôdy, čo vedie k tvorbe kôry na povrchu, obmedzuje pohyb vzduchu a vody v pôde a nepriamo ovplyvňuje výnosy rastlín. Slanosť pôdy a sodicita sa preto považujú za hlavné faktory ohrozujúce produktivitu plodín (Rahav a kol., 2017).

Štruktúra pôdy v pôdach ovplyvnených soľou je destabilizovaná a ovplyvňuje fyzikálne vlastnosti pôdy. Tie môžu viesť k pôdnej erózii a rozptylu, ktoré sa považujú za hlavné príčiny degradácie pôdy. Každoročne sa veľké množstvo poľnohospodárskej pôdy opúšťa z dôvodu straty úrodnosti pôdy a v dôsledku degradácie pôdy (Aksoy a kol. 2021).

**Dezertifikácia** je extrémnym prejavom fenoménu degradácie, ktorý je spôsobený ľudskou činnosťou a/alebo klimatickými zmenami (Sun a kol., 2019). Dezertifikácia môže znížiť produkciu rastlín, druhovú diverzitu, pôdnu organickú hmotu, výživu pôdy, pôdnu vlhkosť a funkciu ochrany vody, zvýšiť obsah štrku a urýchliť eróziu pôdy. Skalnatá dezertifikácia je menej známa ako relatívna dezertifikácia a týka sa procesu, ktorý transformuje krasovú oblasť pokrytú vegetáciou a pôdou na skalnatú krajinu (Luo a kol., 2018). Skalnatá dezertifikácia môže tiež viesť k strate pôdy a vody, ako aj častým záplavám a suchám (Lian a kol., 2015).

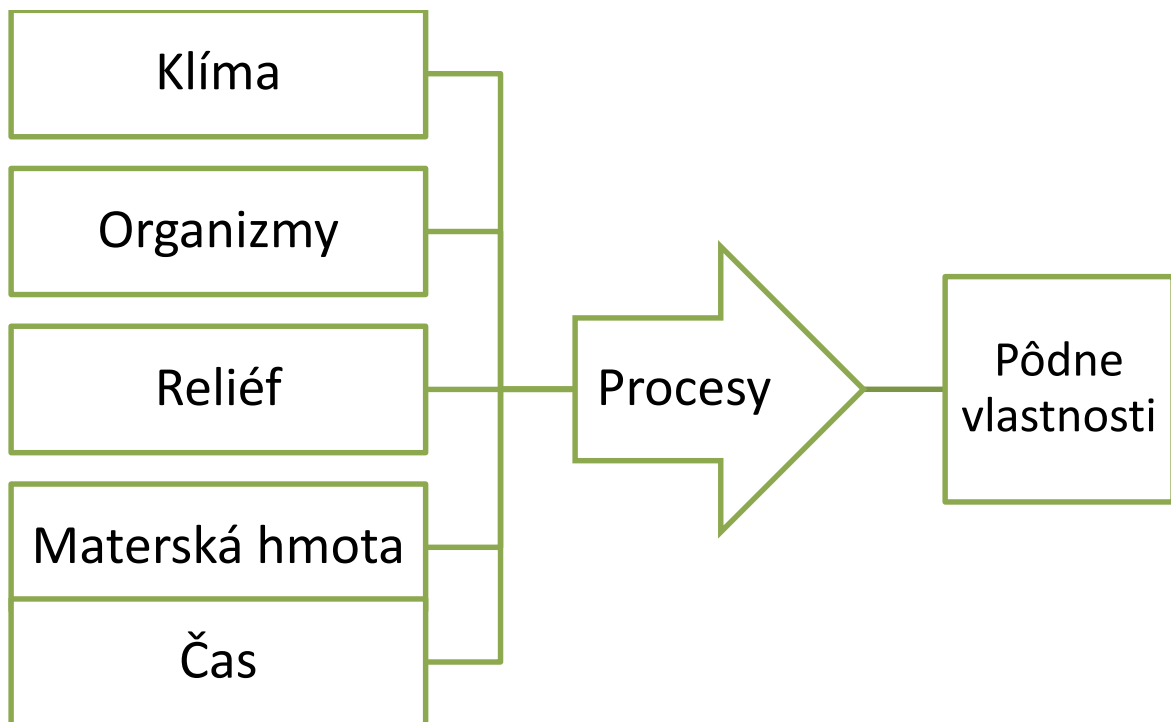
**Zhutnenie pôdy (pedokompakcia)** je rozšírený fenomén fyzikálneho poškodenia predovšetkým poľnohospodárskych pôd v dôsledku ťažkej mechanizácie. Dochádza k degradácii pôdnej štruktúry, ktorá so sebou nesie potenciálne ohrozenie ďalších pôdných funkcií – pôda má zníženú pórovitosť, schopnosť infiltrácie, obmedzený rast rastlín a biologickú aktivitu. Pedokompakciou sú tiež zvyšované riziká vodnej erózie a záplav. (Sáňka, Materna, 2004).

Proces zhutnenia má dve hľadiská:

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

## 2.3 Pôda a pôdotvorné procesy

Pôda je výsledkom premien minerálnych zložiek pri vzájomnom pôsobení klimatických, biologických a krajinných faktorov, ktoré pôsobením času rezultujú vo vytvorení pôdy, hovoríme im faktory.

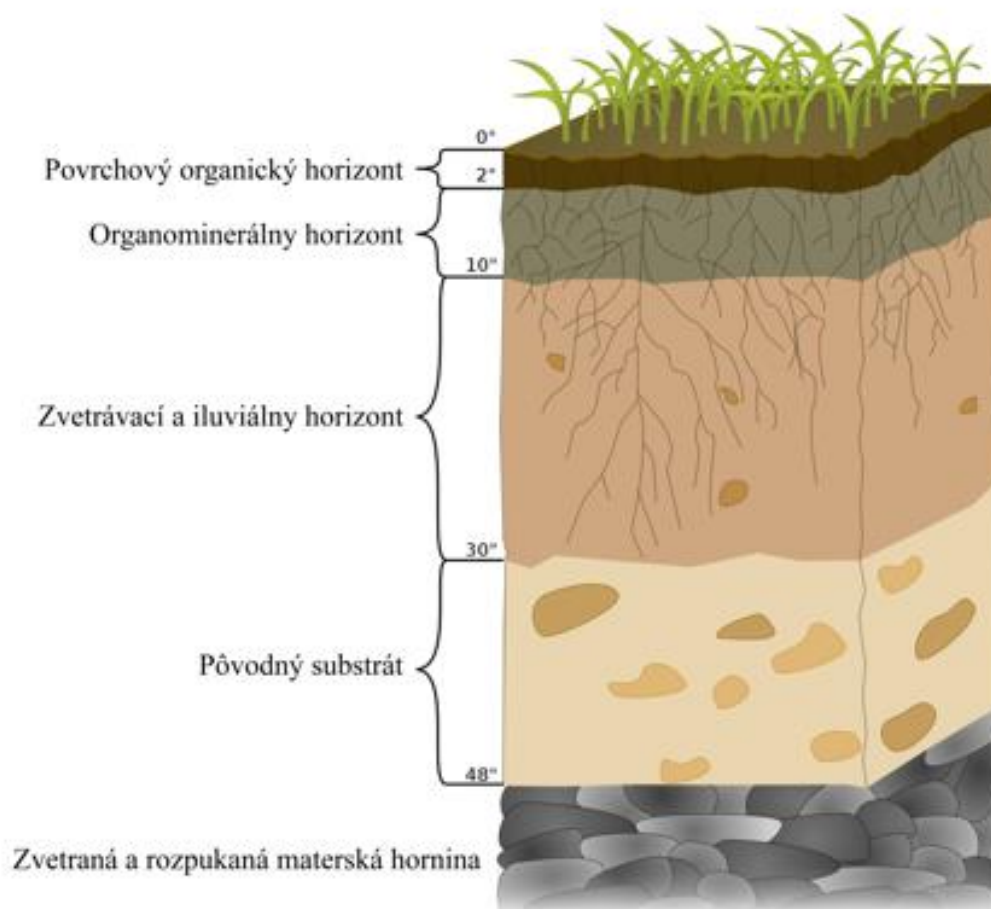


Obrázok 1.: Pôdotvorné faktory a pôdotvorné procesy (Jenny, 1994).

Pod pôdotvornými procesmi rozumieme súbor procesov a nimi podmienené typy zmien a reakcií, ktoré sa môžu vyskytnúť pri premene materských hornín na pôdu. Ide o kombináciu fyzikálnych, biologických a antropogénnych procesov na pôvodný substrát. Zvetrávaním hornín sa produkujú pôdotvorné substráty, ktoré obsahujú sekundárne zložky, tieto zložky majú rozdielnu rozpustnosť. Vo vode sa pohybujú vertikálne v profile, alebo laterálne. Výsledkom je vznik pôdneho profilu, ktorý sa vyznačuje prítomnosťou určitých vertikálne členených pôdných horizontov (vrstiev). Pôdotvorné faktory a procesy sa navzájom ovplyvňujú a vytvárajú tak celkový charakter pôdneho profilu, ktorý sa označuje ako pedón. Každý pôdny horizont sa popisuje a klasifikuje podľa farby, hrúbky, zrnitosti, štruktúry, konzistencie, prekorenenia, hodnoty pH, pórovitosti, obsahu novotvarov a povahy hraníc.

Na povrchu pôd dochádza predovšetkým k hromadeniu organických látok. Vzniká najvrchnejší horizont A horizont, ktorý v neporušených pôdach obsahuje opadanku z ktorej sa tvorí humus. Poskytuje potrebné živiny pre rast rastlín, býva tmavší ako ostatné horizonty a obsahuje najviac organických látok. Je v ňom sústredená biologická aktivita.

B horizont sa nachádza pod A horizontom, je menej bohatý na humus obsahuje viac ílu v dôsledku translokácie z povrchu. C horizont je vlastne materským substrátom (Čurlík a kol., 2012).



Obrázok 2.: Pôdny profil s vyznačením hlavných horizontov [6]

Vlastnosti pôd (hrúbka, farba, štruktúra a chemické vlastnosti), ktoré rezultujú z pôdotvorných procesov sa používajú pri ich kvalifikačnom zatriedení na interpretáciu vhodnosti a posúdenie ich kvality (Amundson, 2021).

Na vznik pôdy má vplyv päť hlavných faktorov. Medzi tieto faktory radíme:

**Klíma** ovplyvňuje vznik pôd množstvom a charakterom zrážok a teplotou. V chladnej klíme sú chemické i biologické procesy pomalšie, spomaľuje sa aj dekompozícia. Teplota tiež ovplyvňuje mieru evaporácie pôdy a transpirácie rastlín. Vo vlhkej klíme, čo je v podstate často sprevádzané nadmerným prísunom vody do pôdy, často dochádza k vyplavovaniu rozpustných látok z vrchných vrstiev pôdy – také pôdy môžu byť chudobné živinami.

**Základná hornina** poskytuje hlavnú minerálnu zložku pôdy, môže sa jednať o vyvretú horninu (žula, čadič), sedimentárnu horninu (vápenec, pieskovec, bridlica), metamorfovanú horninu (rula, mramor), ale aj vrstvy materiálov (substrátov) vzniknuté činnosťou ľadovca, vody či vetru morény, piesky, štrky, duny, vulkanický popol, spraš). Materská hornina určuje

základný chemizmus pôd - podľa podložia môžeme spoznať, ktoré prvky budú v dostatku a ktoré v nedostatku.

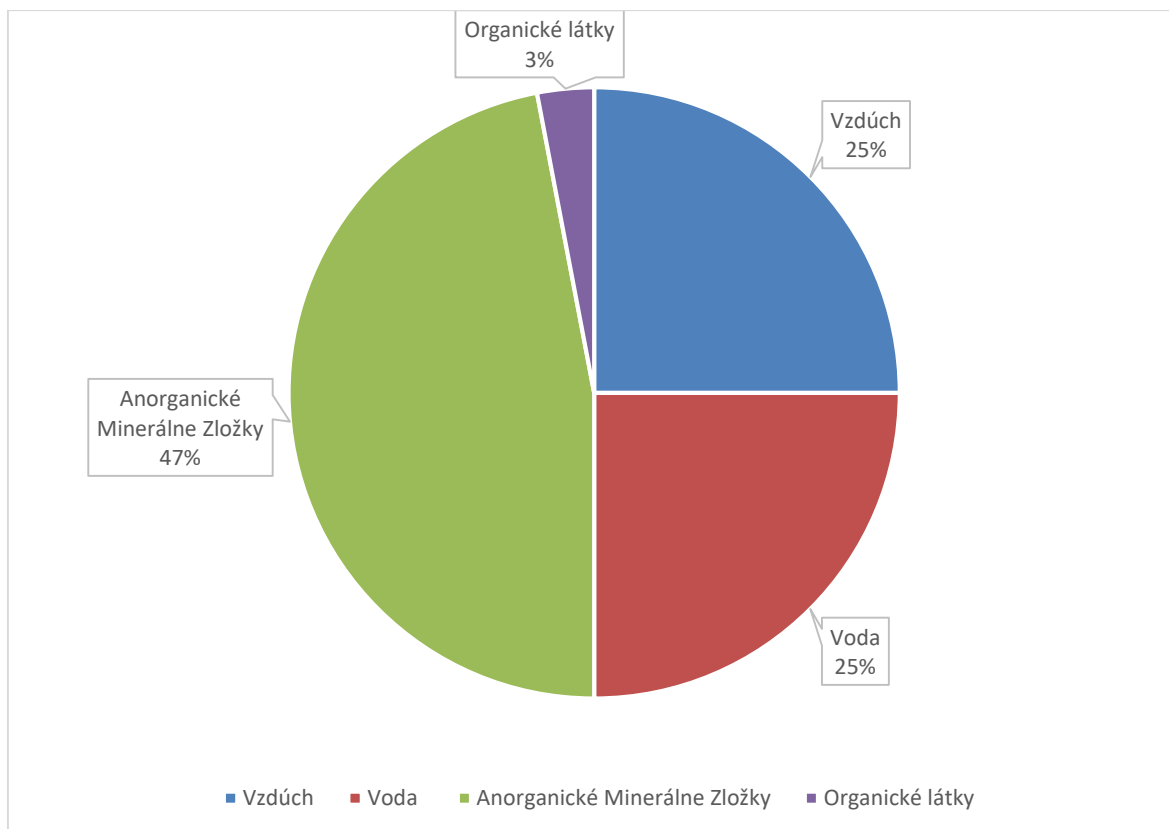
**Reliéf** Pôda sa môže rozvinúť len tam, kde povrchové materiály zostávajú na svojom mieste a nie sú často presúvané preč hromadným plytvaním. Pôdy sa nemôžu rozvíjať tam, kde je rýchlosť tvorby pôdy nižšia ako rýchlosť erózie, takže strmé svahy majú tendenciu mať len málo pôdy alebo žiadnu pôdu [2].

**Čas** doba, počas ktorej bola pôda vystavená poveternostným vplyvom z klímy, a čas, počas ktorého bola vegetácia schopná prispievať mŕtvym organickým materiálom, sú dôležitými vplyvmi na pôdu. Veľmi mladé pôdy sú často plytké a majú málo organickej hmoty. Staré pôdy sú zvyčajne hlboké a môžu byť úrodné alebo neúrodné v závislosti od materského materiálu a dlhodobých klimatických podmienok [2].

**Organizmy** pri tvorbe pôdy je dôležitá vegetácia, zvieratá, hmyz, dážďovky, baktérie a huby. Rastliny majú vo všeobecnosti väčší vplyv na tvorbu pôdy ako iné živé organizmy. Poskytujú tieň a kryt, čím znižujú odtok vody a nebezpečenstvo erózie. Prostredníctvom koreňov kypria pôdny materiál a pridávajú organickú hmotu, čím ovplyvňujú pôdnu štruktúru a fyzický stav. Pôdy, ktoré sa vyvinuli pod krovím, napríklad pôdy Arnold a Gaviota, sú teda postihnuté suchom, majú nízky obsah organickej hmoty a majú svetlú povrchovú vrstvu. Naproti tomu pôdy, ktoré sa vyvinuli pod trávami a húštičkami, napríklad pôdy Diablo, Linne a Nacimiento, sú jemne štruktúrované, majú vysoký obsah organickej hmoty a majú tmavú povrchovú vrstvu [3].

## 2.4 Chemické zloženie pôdy

Ani najdokonalejšia klasifikácia pôd neodráža všetky zvláštnosti morfológického vývoja pôd. Pôdy zvyčajne pozostávajú zo zmesi organických a minerálnych zložiek. Organické látky pôvodom z rastlinných a živočíšnych tel sa hromadia a postupne sa rozkladajú pôsobením organizmov, za vzniku humusu. Povrchové časti pôd zvyčajne obsahujú vyšší podiel organických látok. Spodné horizonty obsahujú 1-2% organických látok v súvislosti s čím sú podstatne svetlejšie ako povrchové. Väčšina pôdneho materiálu je tvorená zmesou organominerálnych a minerálnych zložiek.



Obrázok 3.: Látkové zloženie idealizovanej pôdy

Pôda je otvorený systém tvorený základnými stavebnými prvkami, a to neživou a živou zložkou. Medzi najdôležitejšie stavebné zložky patria neživé časti zahŕňajúce anorganické látky:

- pevná fáza – tvorená minerálnymi látkami, napríklad ílom, pieskom, prachom a organickými látkami,
- kvapalná fáza – kde patrí pôdny roztok, čiže voda s rozpustnými látkami,
- plynná fáza – pôdny vzduch (Kanianska, 2012).

V pevnej zložke neživej časti pôdy sa nachádza okrem minerálneho podielu, ktorý tvorí podstatnú časť pôdnej hmoty, aj organický podiel látok. Chemické zloženie minerálnych látok, najmä biogénne prvky, sú pre rastliny veľmi dôležité v zastúpení makroživín (N, C, O, H a P, Ca, K, Mg v menšom množstve) a mikroživín (Fe, S, Mo, a v malom množstve Zn, Cl, Cu, Mn). Živá zložka pôdy pozostáva zo súboru organizmov žijúcich v pôde – pôdny edafón. Pôdny edafón je zastúpený organizmami rastlinného (fytoedafón) a živočíšneho (zooedafón) pôvodu. Baktérie, pôdne huby, sinice, riasy, aktinomicety a vyššie rastliny sú súčasťou fytoedafónu. Mäkkýše, obrúčkavce, ploskulice, vírniky, prvoky tvoria zooedafón napr. stavovce, dážďovky, článkonožce (Tomaškin, 2010).

Kvapalná fáza pôdy je najaktívnejšia a najviac mobilná časť pôdy. V nej sa uskutočňujú chemické procesy a rastliny z nej bezprostredne prijímajú živiny. Pôdny roztok sa podieľa na pôdotvornom procese. Tiež je jeho úlohou zabezpečiť transport látok do živých buniek koreňového systému rastlín. Známy je aj vertikálny pohyb pôdneho roztoku v pôdnom profile. Vďaka nemu pôda stráca živiny ich vyplavením do spodných vrstiev, čo môže viesť k znečisteniu podpovrchových vôd. Zdravé pôdy by mali mať obsah soli v pôdnom roztoku okolo 0,05 %. Koncentrácia vyššia ako 0,2 % nepriaznivo vplyva na poľné plodiny a nad 0,3 % už škodí záhradníckym plodinám. Jednotlivé prvky a ióny prenikajú do pôdneho roztoku v závislosti od pôdneho typu a ďalších podmienok aplikáciou minerálnych a organických hnojív, mineralizáciou organických látok, zvetrávaním minerálov, výmenou zo sopečného komplexu a z imisií (Antal, 2013).

Plynná fáza do ktorej patrí pôdny vzduch, ktorý obsahuje oxid uhličitý, kyslík, čpavok, atď. Čpavok vzniká v dôsledku mineralizácie organických látok. Podiel kyslíka je v pôde nižší. Pôdny vzduch spolu s pôdnym roztokom vyplňajú voľné póry, ktoré sú jej súčasťou. Dostatok vzduchu dopomáha pôde k zvýšeniu biologickej činnosti. Výsledkom je uvoľňovanie živín mineralizáciou organických látok (Antal, 2013).

## **2.5 Chemické vlastnosti pôdy**

Chemické vlastnosti pôdy možno posudzovať prostredníctvom charakteru pomerne zložitých reakcií, ktoré neustále prebiehajú medzi jednotlivými fázami, najmä tých reakcií, ktoré prebiehajú medzi pôdnym roztokom a koloidnou časťou pôdy a tých, ktoré prebiehajú medzi pôdou a koreňovou sústavou rastlín. Medzi základné chemické vlastnosti patrí:

- pôdna reakcia,
- sorpčná schopnosť pôdy a charakter sorpčného komplexu,
- chemické zloženie minerálneho podielu pôdy,
- organický podiel pôdy (obsah humusu a jeho kvalitatívne zloženie).

### **2.5.1 Pôdna reakcia**

Jednou z veľmi dôležitých vlastností pôdy je jej pH hodnota. pH pôdy ovplyvňuje rozpustnosť látok v pôde, a teda aj ich využiteľnosť živými organizmami, prístupnosť živín, adsorpciu a desorpciu kationtov, biochemické reakcie, štruktúru pôdy a tým aj fyzikálne vlastnosti. Rôzne chemické a biochemické pôdne procesy sú ovplyvnené pôdnou reakciou, sú to predovšetkým rozkladné procesy.

Pôdna reakcia odzrkadľuje vlastnosti najaktívnejších jemno-disperzných frakcií pôd, najmä ich pomer nasýtenia báziickými kationmi k vodíku. Pôdna reakcia vyjadruje či pôda, pôdny roztok alebo jej výluh sa chová ako kyselina, zásada, alebo ako neutrálna látka. Kvantitatívnu stránku reakcie pôdy, ale aj akéhokoľvek iného prostredia vyjadrujeme hodnotou pH (Masaryk, 1980). Hodnota pH pôd je pravdepodobne najdôležitejšou chemickou charakteristikou pôd. Je to jedna z hlavných premien, ktorú je potrebné poznať ak chceme pochopiť chemické procesy v pôdach, ako sú pohyb iónov, rozpúšťanie a zrážanie látok a kinetiku týchto procesov. Pôdna reakcia, či už kyslá, alkalická alebo neutrálna je odrazom celého radu reakcií v pôdach. Určujú ju voľné protónové ióny v pôdnom roztoku, sorbované prípadne disociovateľné protóny (Čurlík a kol., 2003).

Na pôdnu reakciu majú rozhodujúci vplyv vnútorné a vonkajšie činitele, medzi vnútorné činitele patrí najmä chemizmus a textúra horniny. K vonkajším činiteľom patrí najmä množstvo atmosférických zrážok, ktoré sú schopné prenikať do pôdy a vyluhovať látky ktoré vplývajú na pufrovitosť pôdy. Biologický charakter dopadu rastlinných zvyškov, ktoré sú zdrojom iónov vodíka. Antropické okysľovanie pôd je značne spôsobené kyslým dažďom, ktorého hlavnou zložkou je oxid siričitý (Barančíková a kol., 2009).

Zmena acido-báziických vlastností pôd je dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje obsah prvkov, ale aj veľa ďalších dôležitých procesov v pôde.

## 2.5.2 Pôdna sorpcia

Sorpčné javy a výmena iónov sú dôležité procesy, ktoré prebiehajú v pôdach, najmä na rozhraniach pevných a kvapalných fáz. Sorpcia a následná výmena sú dôležitými procesmi, ktoré prebiehajú medzi koloidnými zložkami pôd a pôdnymi roztokmi (Čurlík a kol., 2012).

Príčinou sorpcie sú príťažlivé sily chemickej alebo fyzikálnej povahy (Hanes, 1999).

Rozoznávame 5 mechanizmov sorpcie v pôde:

**Mechanická sorpcia** spočíva v mechanickom zadržiavaní jemných častíc v pôdnych póroch. Táto forma sorpcie závisí od mechanického a agregátového zloženia jednotlivých pôd. Vyššia mechanická sorpcia sa vyskytuje v ťažších hlinitých a ílovitých pôdach, v porovnaní s ľahkými, piesočnatými pôdami (Barančíková et al., 2009).

**Fyzikálna sorpcia** je podmienená voľnou povrchovou energiou, ktorá vzniká na rozhraní pevných častíc pôdy a pôdneho roztoku. Prejavuje sa zväčšovaním (pozitívna sorpcia), alebo zmenšovaním (negatívne sorpcia), koncentrácie molekúl na povrchu pevnej fázy a ich poklesom alebo vzostupom v pôdnom roztoku (Barančíková et al., 2009).

**Fyzikálno-chemická sorpcia** (výmenná) ide o výmenu iónov medzi pôdnym koloidným komplexom a pôdnym roztokom, ktorá sa uskutočňuje v ekvivalentných pomeroch (Pokorný, Šarapatka, 2003).

**Chemická sorpcia** ide o nevratné viazanie predovšetkým aniónov, schopných tvoriť málo rozpustné alebo nerozpustné zlúčeniny (Chmielewská, Lesný, 1994).

**Biologická sorpcia** spočíva v prijímaní biogénnych prvkov koreňmi rastlín a mikroorganizmami, vyznačujúcou sa vlastným charakterom selektivity (Lischke, Frank, 1988).

Sorpčný komplex je dôležitý činiteľ, podieľajúci sa na všetkých chemických a fyzikálno-chemických procesoch v pôde a usmerňujúci aj priebeh biologických procesov v nej. Pozostáva z minerálnej a organickej časti v koloidnom stave.

Na kationovej výmennej sorpcii sa podieľajú :

- **Konštantný náboj**, ktorý vzniká izomorfnými substitúciami v kryštálovej mriežke ílových minerálov.
- **Variabilný náboj**, ktorý vzniká disociáciou  $H^+$  iónov silanových skupín na povrchu alumosilikátov, alebo taktiež na hranách a rohoch fenolhydroxylových a karboxylových skupín v organickej hmote (Hanes, 1999).

## 2.6 Organické zložky pôdy

SOM je heterogénny kompozitný materiál pozostávajúci z čerstvého biologického materiálu, produktov biologickej aktivity v pôde a za určitých okolností aj organická hmota geologického alebo pyrogenného pôvodu. Kvalita SOM je definovaná ako súbor vlastností, ktoré majú charakterizovať kontinuum materiálov zahŕňajúcich SOM. Organický uhlík prítomný v pôde môže byť ľahko mineralizovaný mikrobiálnou komunitou. Charakteristika kvality SOM je veľmi dôležitá, pretože má vplyv na stálosť SOM, ktorá môžu priamo ovplyvniť kľúčové problémy súvisiace s klimatickými zmenami, ako je sekvestrácia uhlíka alebo zraniteľnosť súčasných zásob (Fernández a kol., 2010)

Pretrvávajúce organické hmoty v pôde je do značnej miery spôsobené komplexnými interakciami medzi organickou hmotou a jej prostredím, ako je vzájomná závislosť chemických zlúčenín, reaktívnych minerálnych povrchov, klímy, dostupnosti vody, kyslosti pôdy, redoxného stavu pôdy a prítomnosti potenciálnych degradátorov.

Pôdna organická hmota tvorí značnú časť príspevku ku globálnemu cyklu C a jeho determinantnému vplyvu na množstvo pôdných vlastností, poznatkov o kompozícii a dynamike.

Ukladanie organického uhlíka v pôde (SOC) je dôležitou vlastnosťou ekosystému. Zistilo sa, že jeho sekvestrácia je riadená niekoľkými mechanizmami

- a) Mohlo by ísť o inherentnú chemickú odolnosť alebo vzájomné interakcie medzi molekulami pôdnej organickej hmoty (SOM)
- b) interakcie s pedogénnymi oxidmi alebo ílovými minerálmi tvoriacimi organo-ílové komplexy
- c) väzba na íl bielkovinovými látkami
- d) fyzikálna nedostupnosť SOC v pôdnych agregátoch

a ďalšie mechanizmy v závislosti od podmienok prostredia a pôdotvorných faktorov (Kučerík, 2018).

## **2.7 Fyzikálne vlastnosti pôdy**

Fyzikálne vlastnosti majú veľký význam nielen pre úrodnosť pôd, ale i pre mimoprodukčné funkcie pôd, ako je akumulácia zrážok, regulácia vodného režimu a fyzikálne prostredie pre rast rastlín. Parametre týchto vlastností sú určené pasívne i aktívne pôsobiacimi prirodzenými faktormi, ako zrnitosťné zloženie, štruktúra podmienená genézou pôd, objemové zmeny pôdy vplyvom teploty a vlhkosti, činnosť pôdnych organizmov.

### **2.7.1 Zrnitosť**

Pôdu tvoria zrná rôznej veľkosti, ktoré majú minerálny alebo organický pôvod. Podľa prevahy ílu, prachu a piesku sa rozlišujú ílovité, prachovité, hlinité a piesočnaté pôdy. Pôdy s prevahou štrku sú štrkovité, s výskytom kameňov kamenisté a s prevahou organických látok organické.

### **2.7.2 Štruktúra**

Štruktúru pôdnej hmoty vytvárajú pôdne agregáty a konglomeráty, ktoré vznikajú stmelením elementárnych pôdnych častíc. Štruktúrne elementy sa klasifikujú podľa tvaru (napr. guľaté, hranaté, polyedrické), veľkosti (napr. drobnohrudkovité, hrudovité), konzistencie (napr. nestále, vodostále) a stupňa stmelenia (elementárne častice, agregáty, konglomeráty). Štruktúra minerálnych pôd sa líši od humolitových a najmä histických pôd. Konglomeráty organominerálnych a organických pôd sú menej spevnené ako agregáty minerálnych pôd (Bedrna, 2016, s.22). Pre jej kvalitu je rozhodujúca vôd odolnosť, veľkosť a tvar pôdnych častíc.

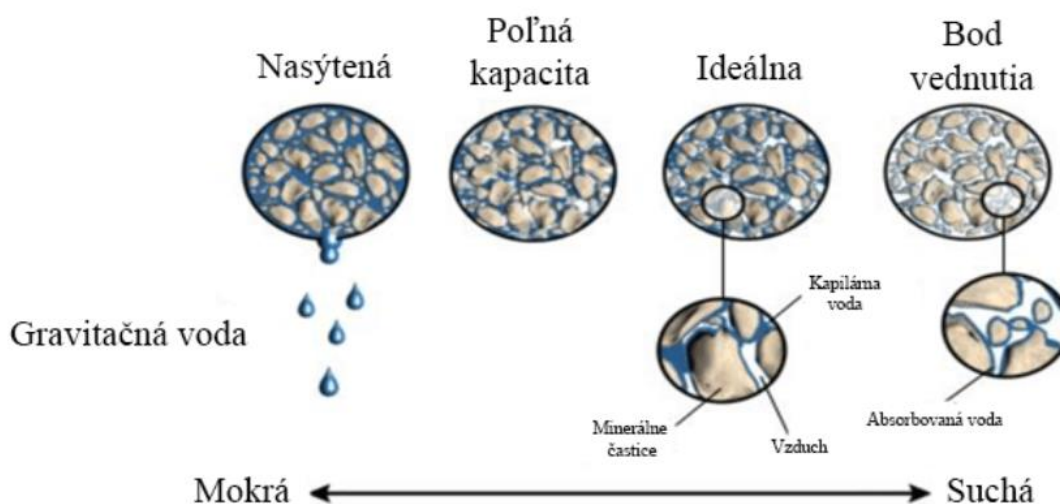
### 2.7.3 Farba

Farba nám slúži na identifikáciu pôdných horizontov (vrstiev) a na zoskupenie pôd podľa systému klasifikácie pôdy nazývaného taxonómia pôdy. Vývoj farby a distribúcia farby v pôdnom profile sú súčasťou zvetrávania hornín, ktoré ich tvoria. Horniny obsahujúce železo zafarbiajú pôdu do žltej alebo červenej farby, organická hmota sa rozkladá na čierny humus a mangán tvorí čierne ložiská nerastov. Farba je tiež ovplyvnená prostredím: aeróbne prostredie vytvára rozsiahle pohľady jednotnej alebo jemne sa meniacej farby a anaeróbne (bez kyslíka), vlhké prostredie narúša tok farieb zložitými, často zaujímavými vzormi a akcentmi. S hĺbkou pod povrchom pôdy sa farby zvyčajne stávajú svetlejšie, žltšie alebo červenšie [4].

### 2.7.4 Obsah vody v pôde

Obsah vody v pôde závisí od množstva zrážok, výšky hladiny podzemných vôd a retencie. Zadržiavanie vody závisí hlavne od veľkosti častíc pôdy. Čím jemnejšie sú častice pôdy, tým väčšia je šanca, že sa molekuly vody zachytia na časticách pôdy, ako napríklad v íle, na rozdiel od piesočnatej pôdy, ktorá má veľké a hrubé častice, ktoré nie sú súdržné. Obsah vody v pôde vieme určiť pomocou priepustnosti pôdy a môžeme ho kvantifikovať na gravimetrickom (g vody/g pôdy) aj objemovom (ml vody/ml pôdy) princípe.

O obsahu pôdy vo vode od najvlhkejšieho stavu po jej najsuchší stav pojednáva obrázok č. 4.



Obrázok 4.: Obsah vody v pôde [7]

Sýtosť je obsah vody v pôde, keď sú všetky póry naplnené vodou. Obsah vody v pôde pri nasýtení sa rovná percentu pórovitosti. Poľná kapacita je obsah vody v pôde po nasýtení pôdy

a ponechaní voľne odtekať po dobu asi 24 až 48 hodín. K voľnému odtoku dochádza v dôsledku gravitačnej sily, ktorá ťahá vodu. Keď voda prestane odtekať, vieme, že zvyšná voda je zadržovaná v pôde silou väčšou ako gravitačná sila. Trvalý bod vädnutia je obsah vody v pôde, keď rastliny vyčerpajú všetku vodu, ktorú môžu. V bode trvalého vädnutia rastlina vädne a nezotaví sa. Nedostupná voda je obsah vody v pôde, ktorý je silne viazaný na častice pôdy a agregáty a nemôže byť extrahovaný rastlinami [5].

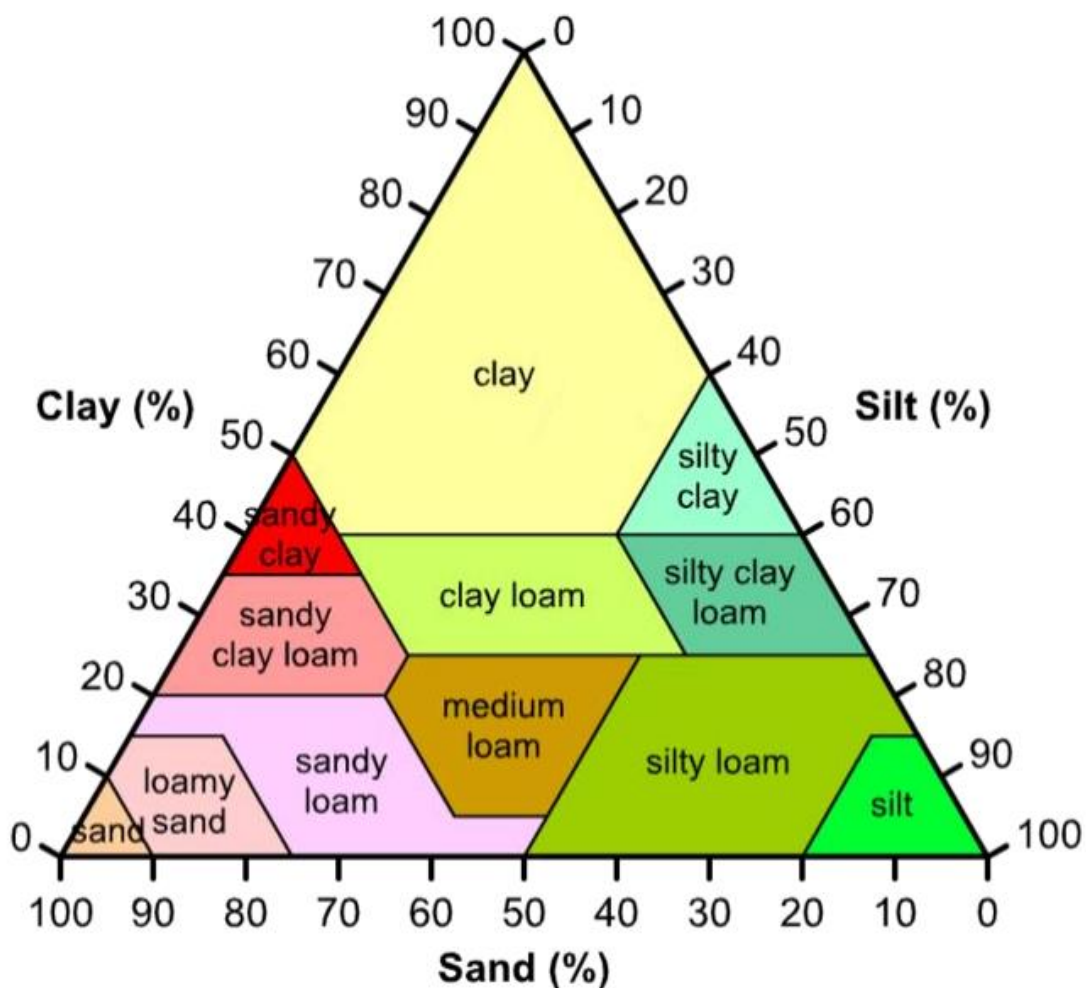
## 2.8 Pôdne druhy a typy

Materská hornina sa pod vplyvom procesov zvetrávania mení na zvetraliny určitej zrnitosti. Minerálne zrníčka pôdy nazývame textúrne elementy. Súbor textúrnych elementov určitej veľkosti tvorí zrnitostnú kategóriu. Percentuálne zastúpenie jednotlivých zrnitostných skupín udáva zrnitosť, čiže textúru pôdy. Určuje sa laboratórne. Je to základná fyzikálna vlastnosť pôdy a podľa nej rozlišujeme pôdne druhy. Pôdy delíme podľa obsahu ílových častíc a skeletu. Na základe poznania zrnitosti pôdy môžeme posúdiť jej fyzikálne vlastnosti, napr. prevzdušnosť, súdržnosť, pórovitosť, schopnosť zadržiavať vodu, ďalej fyzikálno-chemické, najmä schopnosť viazať živiny a chrániť ich pred vyplavením a biologické, napr. slabá alebo silná činnosť pôdných organizmov. Zrnitosť veľmi výrazne ovplyvňuje i priebeh pôdotvorných procesov (Michaeli, 2015, s. 72).

Tabuľka 1: Klasifikácia pôdných druhov (Michaeli, 2015)

| Obsah hrubého ílu v % v jemnozemi | Názov pôdneho druhu | Názov skupiny pôdneho druhu |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 - 10                            | piesočná            | ľahké                       |
| 10 - 20                           | hlinito-piesočná    |                             |
| 20 - 30                           | piesočnato-hlinitá  | stredne ťažké               |
| 30 - 45                           | hlinitá             |                             |
| 45 - 60                           | ílovito-hlinitá     | ťažké                       |
| 60 - 75                           | ílovitá             |                             |
| nad 75                            | íl                  |                             |

Na základe obsahu jemnozeme, skeletu a organického materiálu rozoznávame textúrne triedy jemnozrnných, psefitických, humolitových a histických pôd. Trieda jemnozrnných pôd je podľa percentuálnej hodnoty hmotnostného obsahu minerálnych frakcií jemnozeme, t. j. ílu (častice < 0,002 mm), prachu (0,002 až 0,05 mm) a piesku (0,05 až 2 mm) rozčlenená na zrnitostne ľahkú (piesočnatú), strednú (hlinitú) a ťažkú (ílovitú) skupinu pôd, pričom pôdne druhy tvoriace vymenované skupiny pôd (napr. piesočnatá, piesočnato-hlinitá, piesočnato-ílovitá pôda) sú klasifikované na základe textúrneho trojuholníka.



Obrázok 5.: Klasifikácia na základe textúrneho trojuholníka [8]

Psefitické (skeletovité) pôdy sa podľa prevládajúcej minerálnej frakcie skeletu členia na štrkovitú, kamenitú a balvanitú skupinu pôd. Pôdne druhy psefitických skupín pôd určuje prevládajúca frakcia jemnozeme alebo viac ako 30 % obj. obsah organického materiálu v doplnkovej frakcii (ľahká, stredná, ťažká alebo organická pôda). Histické pôdy s obsahom organických látok väčším ako 50 % obj. a humolitové pôdy s obsahom organických látok od 30 do 50 % obj. sa podľa stupňa a charakteru rozkladu organického materiálu členia na fibrickú (prevažuje nerozložený alebo len čiastočne rozložený organický materiál), mezickú (prevažuje stredne rozložený organický materiál) a saprickú (prevažuje rozložený organický materiál) skupinu pôd. Pôdne druhy histických a humolitových pôd určuje prevládajúca minerálna frakcia (ľahká, stredná, ťažká, štrkovitá, kamenitá a balvanitá pôda) (Bedra a kol., 2016).

**Piesočné pôdy** – ľahké pôdy obsahujú veľké množstvo zrní piesku, rýchlo vysychajú, pretože majú medzi zrnkami piesku veľa vzduchu, ľahko sa zohrievajú, ľahko prepúšťajú vodu, sú málo úrodné, pretože voda z nich odplavuje živiny, rastú na nich borovicové a agátové lesy.

**Hlinité pôdy** – stredne ťažké pôdy: obsahujú veľké množstvo prachových častíc, sú naše najlepšie poľnohospodárske pôdy, vyskytujú sa najmä na sopečných horninách.

**Ílovité pôdy** – ťažké pôdy, za sucha tvrdnú a praskajú, nasiaknuté vodou sú mazľavé, ťažko sa obrábajú, sú menej úrodné, vyskytujú sa v podhorských častiach nížin a v kotlinách.

Pôdne typy sa určujú pomocou súboru diagnostických horizontov a ich dôležitých vlastností, ktoré boli získané dlhodobým procesom vývoja v prírodných podmienkach a ich kultiváciou (Bielek a Šurina, 2000).

**Fluvizem** – vzniká hlavne na územiach často zaplavovaných, tiež v okolí vodných tokov. Prirodzenou vegetáciou sú lužné lesy. Využíva sa ako orná pôda.

**Černica** – nachádza sa ďalej od vodných tokov. Má najhrubší humusový horizont, aj preto patrí medzi najúrodnejšie pôdy. Pôvodne na nej rástli lužné alebo dubové lesy, dnes sú tieto pôdy odlesnené a využívajú sa ako polia na poľnohospodárske účely.

**Černozem** – vyvinula sa v oblastiach bývalých stepí a lesostepí na suchých a teplých sprašových pahorkoch. Dlhodobý vývoj prebieha v teplých a suchých klimatických podmienkach. Je to veľmi úrodná pôda vyskytujúca sa v nížinatých oblastiach.

**Hnedozem** – vzniká prevažne na sprašiach, hlavne vo vyšších polohách. Prostredie je mierne chladnejšie a vlhšie ako pri černozemi.

**Luvizem** - vzniká na rozhraní nížin a nízkych pohorí v podhorských oblastiach. Vyvinula sa na miestach o niečo chladnejších a vlhších ako hnedozem. Je to menej úrodnejšia orná pôda, pestujú sa v nej napríklad sady, dubové lesy.

**Kambizem** – sa nachádza vo vyšších nadmorských výškach, vlhších a chladnejších oblastiach ako predchádzajúce typy pôd. Vzniká na nekarbonátovom podloží.

**Rendzina** – podmienky jej vzniku sú rovnaké ako pri kambizemi ale vzniká len z karbonátových hornín (vápenec, dolomit, vápnite zlepenec). Je viac kamenitá ako kambizem, no ak sú niektoré menej kamenité využívajú sa ako orná pôda.

**Podzol** – vzniká vo vyšších nadmorských výškach s chladnou a vlhkou klímou pod ihličnatými lesmi. Humusový horizont má plytký a opadané ihličie ju robí kyslou. Ide o kyslú pôdu.

**Ranker** – nachádza sa nad hranicou lesa v chladných a vlhkých vysokohorských podmienkach (pásmo kosodreviny a alpínskych lúk). Táto pôda je málo úrodná a skalnatá.

**Litozem** – pokrýva najvyššie časti pohorí. Je to surová, nevyvinutá, plytká pôda zvyčajne bez porastu v nižších polohách na nej rastú alpínske lúky [9].

## 2.9 Biologické vlastnosti pôdy

Pôda je sférou aktívnej činnosti živých mikroorganizmov. Koncentrujú sa v nej všetky formy života, súborne sa označujú ako edafón a člení sa na fytoedafón (rastlinné organizmy, baktérie, huby, riasy, sinice) a zooedafón. V pôde a na nej žije celý rad organizmov, ktoré tam prežívajú celý alebo časť života. Podľa ich veľkosti ich členíme na:

- mikroedafón (< 0,2 mm), napr. baktérie, aktinomycéty, vírusy, baktériofágy, mikroskopické huby, sinice, riasy, prvoky,
- mezoedafón (0,2 – 2 mm), napr. koreňové vlásky rastlín, hýfy niektorých bazídiových húb, chvostokoky, roztoče, hlístovce a drobnejší hmyz,
- makroedafón (2 – 20 mm), napr. larvy chrobákov a múch, mnohonôžok, stonôžok, pavúkov a mäkkýšov,
- megaedafón (> 20 mm), napr. dážďovky, slizniaky, hraboše, krtky a pod.

Množstvo mikroorganizmov, ich rodová a druhová skladba, variabilita a diverzita spoločenstva ako aj jeho aktivita sú v rôznych pôdach rôzne. Vo všeobecnosti však možno konštatovať, že:

- počet mikroorganizmov klesá s hĺbkou, pričom najviac mikroorganizmov nachádzame v povrchovom horizonte, čo úzko súvisí s množstvom dostupných živín,
- väčšina pôdných mikroorganizmov patrí do skupiny mezofilných druhov, menej psychrofilných druhov a najmenej termofilných druhov (napr. kompost),
- baktérie sú najčastejšie viazané na pevné častice, napr. prach alebo zvyšky pôvodnej horniny,
- značná časť mikroorganizmov sa kumuluje v oblasti koreňovej sústavy, t. j. v rizosfére,
- mycélium pôdných druhov húb dosahuje značnú dĺžku, čo najmä v nepriaznivých podmienkach umožňuje transport živín aj z väčšej vzdialenosti,
- v obrábaných pôdach sa nachádza menej druhov húb, čo pravdepodobne súvisí z orbou, ktorá spôsobuje roztrhnutie hubového mycélia (Šimkovičová, 2013. s. 231).

Väčšina mikroorganizmov žijúcich v pôde má schopnosť rozkladať minerálne a organické zložky a uvoľňovať tak potrebné živiny pre rastliny. Metabolizmus mikroorganizmov môže byť brzdený nízkou teplotou a suchom. V oxidačných podmienkach žijú aeróbne mikroorganizmy, ktoré získavajú kyslík z produktov rozkladu (Jansen a kol, 1986).

Mikroorganizmy žijúce v pôde môžeme rozdeliť na autotrofné, ktoré získavajú uhlík z CO<sub>2</sub> a energiu z fotosyntézy. Heterotrofné, ktoré získavajú uhlík z organických molekúl. Živé

mikroorganizmy plnia v pôde významné funkcie ako je kolobeh látok (bio-hydrologický cyklus), akumulčné, transportné a pedoturbačné (flora-fauna-turbácia) (Wilkie a kol., 2014).

### **2.9.1 Pôdna respirácia**

Priamym ukazovateľom biodegradácie je respirácia pôdy, ktorá spolu s obsahom mikrobiálneho uhlíka vypovedá o využiteľnosti organického substrátu mikroorganizmami. Na uvoľňovaní oxidu uhlíka sa podieľajú všetky živé organizmy v pôde. Časť  $\text{CO}_2$  sa akumuluje aj v pôdnom humuse, ale viac ako polovica uniká z pôdy do prízemnej atmosféry. Uvoľňovanie  $\text{CO}_2$  z pôdy, okrem toho, vyjadruje aj úroveň mineralizácie a množstvo organickej hmoty v pôde. Pri štúdiu pôdnej respirácie sa najčastejšie stanovuje bazálna respirácia BR, ktorá hodnotí len skutočné dýchanie pri prirodzenom obsahu organických látok v pôde. Zriedkavejšie sa stanovuje potenciálna respirácia PR, ktorá sa stanovuje po pridaní rýchlo sa rozkladajúcej glukózy, argilínu, lucernovej múčky a pod.

Bazálna aspirácia poukazuje na schopnosť mikroorganizmov využívať dostupný substrát, predovšetkým organickú hmotu. Potenciálna respirácia je indikátorom mikrobiologickej aktivity vyprovokovanej dávkou ľahko rozložiteľnej organickej hmoty. Jej stanovenie má veľký význam v pôdach ovplyvnených rôznymi negatívnymi faktormi (napr. acidifikácia, zvýšené množstvo ťažkých kovov, negatívna antropizácia a pod. (Šimkovičová, 2013. s. 236).

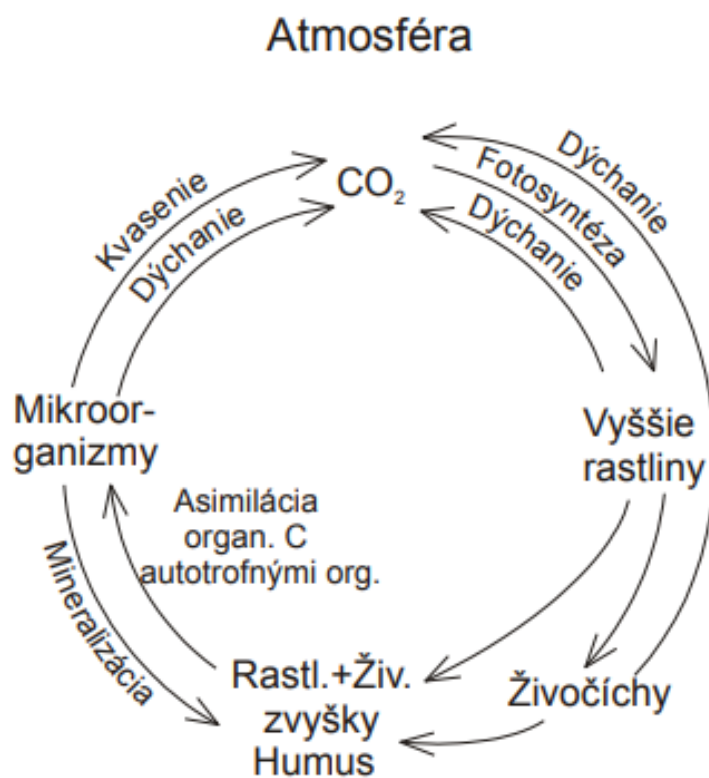
## **2.10 Biogeochemické cykly**

### **2.10.1 Cyklus uhlíka**

Uhlík je najrozšírenejší prvok živej hmoty. Z ekosystému sa uvoľňuje vo forme  $\text{CO}_2$  a to tak rýchlo ako sa do neho dostáva. Rozhodujúci význam má pomer  $\text{CO}_2$  v atmosfére k  $\text{CO}_2$  rozpustenému vo vode. Výmena medzi týmito prostrediami sa deje difúziou a do vôd sa dostáva aj zrážkami. Časť uhlíka sa ukladá vo forme humusu, nafty, rašeliny, uhlia, schránok živočíchov či ukladanie uhličitanov v zemskej kôre. V posledných rokoch sa množstvo  $\text{CO}_2$  v atmosfére zvyšuje priemyselnou činnosťou človeka.

Fotosyntézou vytvorená organická hmota (zelená biomasa) sa stáva potravou pre živočíchy. Tie si nevedia samy vytvoriť organickú hmotu a sú odkázané na jej prísun prostredníctvom zelených rastlín. Tak ako vyššie rastliny aj živočíchy dýchaním uvoľňujú  $\text{CO}_2$  do atmosféry. Po odumretí sa zelené rastliny a živočíchy dostávajú do pôdy, kde podliehajú rozkladu (mineralizácii) činnosťou mikroorganizmov. Mikroorganizmy využívajú túto organickú hmotu, ktorá je pre ne zdrojom živín a energie a rozkladajú ju až na minerálne zložky. Jednotlivé prvky

sa pritom menia z redukovaného stavu na stav oxidovaný. Autotrofné organizmy tieto látky opäť využívajú, asimilujú ich a menia z oxidovaného stavu na stav redukovaný, čím kolobeh pokračuje. Uhlík zabudovaný v telách mikroorganizmov sa vo forme  $\text{CO}_2$  dostáva do atmosféry, a to dýchaním mikroorganizmov, kvasnými procesmi a rozkladnými procesmi. Uvoľnením C cez  $\text{CO}_2$  mikroorganizmami sa kolobeh uhlíka uzatvára (Šimkovičová, 2013., s. 153).



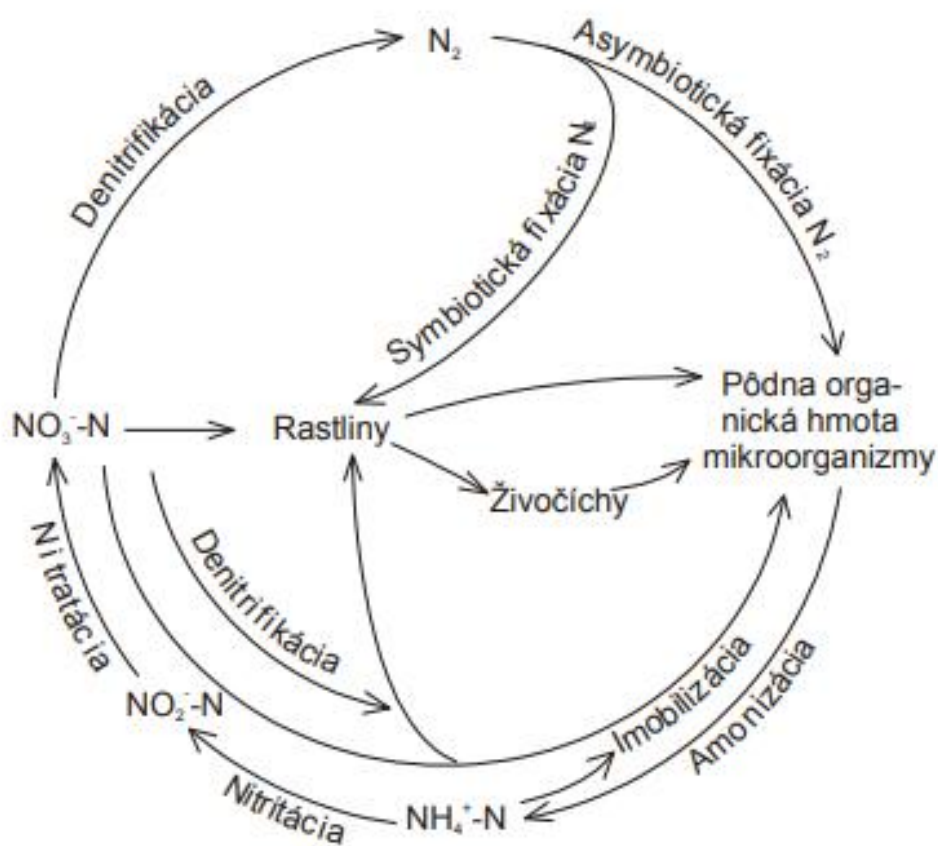
Obrázok 6.: Kolobeh uhlíka (Šimonovičová a kol. 2002, 2008)

### 2.10.2 Cyklus dusíka

Dusík predstavuje dôležitú súčasť bielkovín, aminokyselín, nukleotidov, enzýmov, nukleových kyselín a tiež mnohých iných organických a anorganických zlúčenín. Je nevyhnutnou zložkou protoplazmy rastlín, živočíchov a mikroorganizmov. V pôde má významnú úlohu pri udržiavaní a zvyšovaní pôdnej úrodnosti. Často sa tiež označuje za úrodnotvorný faktor. V procese kolobehu dusíka v prírode sa len časť z atmosférického dusíka dostáva do pôdy spolu s atmosférickými zrážkami a fixáciou mikroorganizmami. Organizmy sú schopné prijímať ho len vo forme dusičnanov, dusitanov, amoniaku alebo v organických zlúčeninách (močovina, proteíny). Rôzne pôdne baktérie sú schopné zmeniť molekulu  $\text{N}_2$  vďaka enzýmu nitrogenáza. Nitráty a nitrity sa v pôde nachádzajú výlučne v pôdnom roztoku. Amoniak vzhľadom na svoju fyzikálno-chemickú podstatu je ako kation schopný

sorbovať sa do sorpčného komplexu pôdy. Dusík v pôdnom vzduchu predstavuje zmes plynov ( $N_2$  a oxidy dusíka) pochádzajúcich z ovzdušia, alebo je produktom prevažne biologických mechanizmov premien dusíka v pôde. Minerálny dusík v roztoku (tzv. vodorozpustný dusík) je tvorený najmä rozpustenými nitrátovými, nitritovými a amoniakálnymi soľami.

Všetky formy dusíka v kolobehu podliehajú biochemickým, chemickým a fyzikálnochemickým premenám. Jednotlivé formy sa líšia rýchlosťou týchto premien a ich dostupnosťou pre organizmy. Premeny dusíka prebiehajú súčasne, aj keď ich jednotlivé stupne sa často stávajú protichodnými. V kolobehu dusíka sa menia jeho formy činnosťou mikroorganizmov a tento cyklus je zo všetkých najdôležitejší.



Obrázok 7.: Kolobeh dusíka (Šimonovičová a kol. 2002, 163).

V kolobehu dusíka pozorujeme dva základné protichodné procesy - mineralizáciu organických dusíkatých látok a syntézu zložitých organických zlúčenín, tzv. imobilizačno - mineralizačné procesy. Za najdôležitejší faktor, ktorý ovplyvňuje imobilizáciu dusíka považujeme pomer C:N v rozkladanom materiáli. Mikroorganizmy rozkladom organického materiálu získavajú látky, ktoré potrebujú pre syntézu vlastných zložitých organických látok v bunke (Šimkovičová, 2013. s. 162).

## 2.11 Základné znaky kvality pôdy

Kvalitu pôdy vo významnej miere ovplyvňujú fyzikálne, chemické, biologické a biochemické vlastnosti, ktoré sú citlivé na zmeny prostredia a pôdneho manažmentu. Vo významnej miere o kvalite pôdy rozhoduje jej organická hmota, nakoľko spája pôdne častice, stabilizuje pôdu, čím znižuje riziko erózie, zvyšuje retenčnú vodnú a kationovú výmennú kapacitu a v neposlednom rade zmierňuje negatívne pôsobenie pesticídov, ťažkých kovov a iných polutantov. V konečnom dôsledku tak bezprostredne ovplyvňuje produkciu biomasy (Bujnovský, Juráni, 1999).

Pôdne zdravie, biodiverzita a resiliencia pôdy sú v extrémnych životných prostrediach kriticky limitované a veľmi citlivo reagujú na antropogénne vplyvy. Len zdravá pôda je schopná zadržiavať živiny, znižovať množstvo kontaminantov a iných rozpustných látok v pôde cez sorpciu a viazať ich na ílové častice a organický materiál. vlastnosti pôd a procesy v nich prebiehajúce a slúžiť ako základný vstup potrebný k odhadu pôdných vlastností alebo funkcií, ktoré je ťažko merať priamo (Javoreková a kol., 2008).

Pri výbere parametrov kvality pôdy významnú úlohu zohráva ich variabilita v čase, ktorá súvisí so stabilitou parametrov (Bashagaluke, 2018). Rozlišujú stabilné parametre pôdy (napr. hĺbka pôdy, zrnitosť pôdy), relatívne stabilné (obsah solí, obsah organickej hmoty v pôde, kontaminácia pôdy ťažkými kovmi), relatívne dynamické (pH pôdy, obsah živín) a dynamické (vlhkosť a teplota pôdy, mikrobiálna aktivita a pod.). Stabilné a relatívne stabilné parametre pôdy dominantne ovplyvňujú kvalitu pôdy, zatiaľ čo relatívne dynamické a dynamické vlastnosti pôdy viac súvisia s jej krátkodobými, resp. dlhotrvajúcimi zmenami v závislosti od ich včasnej a účinnej eliminácie.

Doran a Parkin vo svojej knihe *Defining and Assessing Soil Quality* uvádzajú nasledovné indikátory kvality pôdy:

- fyzikálne parametre – zrnitosť pôdy, hĺbka pôdy, stabilita agregátov, objemová hmotnosť, infiltrácia, retenčná vodná kapacita, retenčné charakteristiky, obsah vody, teplota vody;
- chemické parametre – celkový uhlík a dusík, pH, elektrická vodivosť, minerálny N ( $\text{N-NO}_3$ ,  $\text{N-NH}_4$ ), obsah fosforu a draslíka;
- biologické parametre – uhlík a dusík biomasy mikroorganizmov, potenciálne mineralizovateľný N, respirácia pôdy, pomer uhlíka biomasy mikroorganizmov k celkovému organickému uhlíku, pomer respirácie k biomase mikroorganizmov.

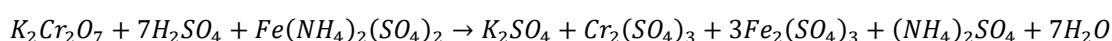
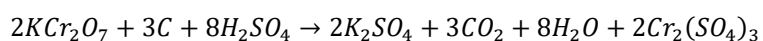
Ako indikátory kvality pôdy sa veľmi často a efektívne používajú mikrobiologické charakteristiky, pretože veľký povrch, reaktivita, rozšírenie, generačná doba a diverzita pôdnej mikroflóry umožňujú v podstate okamžitú reakciu na akýkoľvek podnet (Kubát a kol., 2002). Mikrobiálne parametre sa javia ako užitočné v monitorovaní znečistenia pôdy ťažkými kovmi, no stanovenie iba jedného atribútu nemá pre pôdu a jej zmeny v prostredí žiadnu výpovednú hodnotu. Preto je potrebné zohľadňovať viacero významných mikrobiálnych aktivít, ako napr. respiráciu pôdy, mineralizáciu uhlíka a dusíka, fixáciu biologického N<sub>2</sub>, aktivitu pôdných enzýmov alebo pôdnu mikrobiálnu biomasu (Fazekašová, 2012).

Organický podiel zohráva veľmi významnú úlohu pri hodnotení produkčných ako aj mimoprodukčných funkcií pôdy. Základným kvalitatívnym parametrom organického podielu pôdy je pomer humínových kyselín a fulvokyselín (CHK/CFK). Prevládanie humínových kyselín nad fulvokyselinami je charakteristické pre vyzrejšiu, viac humifikovanú pôdnu organickú hmotu (Sotáková, 1982).

Základným chemickým parametrom pri sledovaní štruktúry HK je elementárna analýza, ktorá odráža charakteristiky pôdnej humifikácie. Vyššie zastúpenie uhlíka a nižšie zastúpenie vodíka je charakteristické pre HK s vyšším humifikačným stupňom. Ďalším dôležitým parametrom pri posudzovaní kvality HK je obsah karboxylových funkčných skupín. Vyššie hodnoty COOH charakterizujú vyzrejšiu pôdnu organickú hmotu s vyšším stupňom humifikácie a nízke hodnoty tohto parametra nízky humifikačný stupeň HK (Rossel a kol., 1989).

### 2.11.1 Stanovenie uhlíka a dusíka v pôde

**Stanovenie uhlíka:** oxidovateľný organicky viazaný uhlík v pôde sa oxiduje kyselinou chrómovou v prostredí nadbytku kyseliny sírovej za zvýšenej teploty. Nespotrebovaná kyselina chrómová sa stanoví titračne roztokom Mohrovej soli s vizuálnou indikáciou konca titrácie (Zbírál a kol., 1997).



**Stanovenie dusíka Kjeldahlovou metódou:** je analytická metóda stanovenia obsahu dusíka viazaného v organických zlúčeninách, založená na oxidačnej degradácii vzorky jej zahrievaním s koncentrovanou kyselinou sírovou pri teplote 350-400°C za prítomnosti katalyzátorov. Dusíkaté látky sa prevedú na síran amonný, z ktorého sa v alkalickom prostredí uvoľní amoniak, predestiluje sa s vodnou parou a stanoví sa titráciou roztokom NaOH na indikátor.

**Stanovenie uhlíka a dusíka spektroskopicky:** ide o stanovenie infračervenou spektroskopiou v blízkej infračervenej oblasti spektra (1000-2500nm). Pomocou ktorej sa dá stanoviť obsah oxidovateľného uhlíka ( $C_{OX}$ ) a tiež celkový obsah uhlíka a dusíka ( $C_{TOT}$ ,  $N_{TOT}$ ). Ide o interakciu infračerveného žiarenia so vzorkou (pevná vzorka), kedy dochádza k pohlteniu fotónov vzorkou, namerané hodnoty sú vyhodnotené pomocou kalibračnej krivky. Kalibračný model vyjadruje mieru korelácie medzi meraním NIR metódou a laboratórnou referenčnou metódou (LRM) (Zbiral, 2015).

## **2.12 Termogravimetria**

### **2.12.1 Princíp metódy**

Termogravimetria (TG) patrí medzi základné metódy termickej analýzy, pri ktorej je v definovanej atmosfére sledovaná vybraná vlastnosť vzorky v závislosti na čase alebo teplote, zatiaľ čo teplota je riadeným spôsobom menená. Touto metódou môžeme sledovať zmeny prebiehajúce pri zahrievaní alebo ochladzovaní vzorky. Sledované vlastnosti zahŕňujú dehydratáciu, oxidáciu, tepelnú disociáciu, kryštalizáciu, topenie, fázové premeny a iné. Výsledkom merania je TG krivka, ktorá poskytuje informácie o zložení vzorky a jej termálnej alebo termo-oxidačnej stabilite. Prístroj sa nazýva termogravimeter a skladá sa z elektrickej pece, ktorá ohrieva alebo ochladzuje vzorky podľa zvoleného programu, analytických váh, nosiča vzorky (panvička) v kontrolovanej atmosfére, zariadenia na meranie a riadenie teploty a registračného zariadenia-počítač. TG analýzu ovplyvňuje rada faktorov ako je napríklad príprava vzorky, hmotnosť vzorky, tvar a veľkosť nosiča, atmosféra, teplotný režim alebo prietoková rýchlosť nosného plynu. Pomocou TG vieme stanoviť:

- Zloženie viac zložkových materiálov
- Kinetiku rozkladu materiálov
- Vlhkosť, obsah prchavých látok
- Odhadovanú životnosť materiálu
- Termálnu stabilitu

### **2.12.2 Stanovenie pôdy pomocou termogravimetrie**

Techniky tepelnej analýzy sa už dlho používajú na štúdium pôd. Teoretickým základom termickej analýzy a jej aplikácie na analýzu minerálov, exotermických reakcií spojených s tepelnou oxidáciou pôdnej organickej hmoty sa venuje len málo pozornosti. Návrh, že pôdne termogramy predstavujú charakteristické vlastnosti a možno ich použiť na charakterizáciu

kvality pôdnej organickej hmoty existuje už desaťročia, avšak len nedávno bol počet testovaných pôd a frakcií dostatočne veľký na testovanie tohto návrhu a potenciálneho prepojenia medzi tepelnou a biologickou pôdnou stabilitou organickej hmoty. Vzhľadom na rastúce požiadavky na rýchle a kvantitatívne hodnotenie kvality organickej hmoty v pôde, techniky tepelnej analýzy sú jedinečným prostriedkom na charakterizáciu celého kontinua, ktoré zahŕňa pôdnú organickú hmotu.

Nedávny pokrok v analytickej metodológii a počítačovom modelovaní výrazne zvýšil poznatky o zložení pôdy, procesoch a jej funkciách. Zložitosť pôdných procesov však brzdí vývoj globálne použiteľných prediktívnych modelov, čo obmedzuje praktické hodnotenie pôd pri rôznych spôsoboch využívania pôdy. V tomto nám môže pomôcť TG, pretože narozdiel od iných metód nie je určená pre analýzu konkrétneho prvku skúmanej vzorky, ale pomocou TG vieme analyzovať celé vzorky pôdy vrátane viazanej vody a bez potreby extrakcie alebo frakcionácie jednotlivých zložiek pôdy.

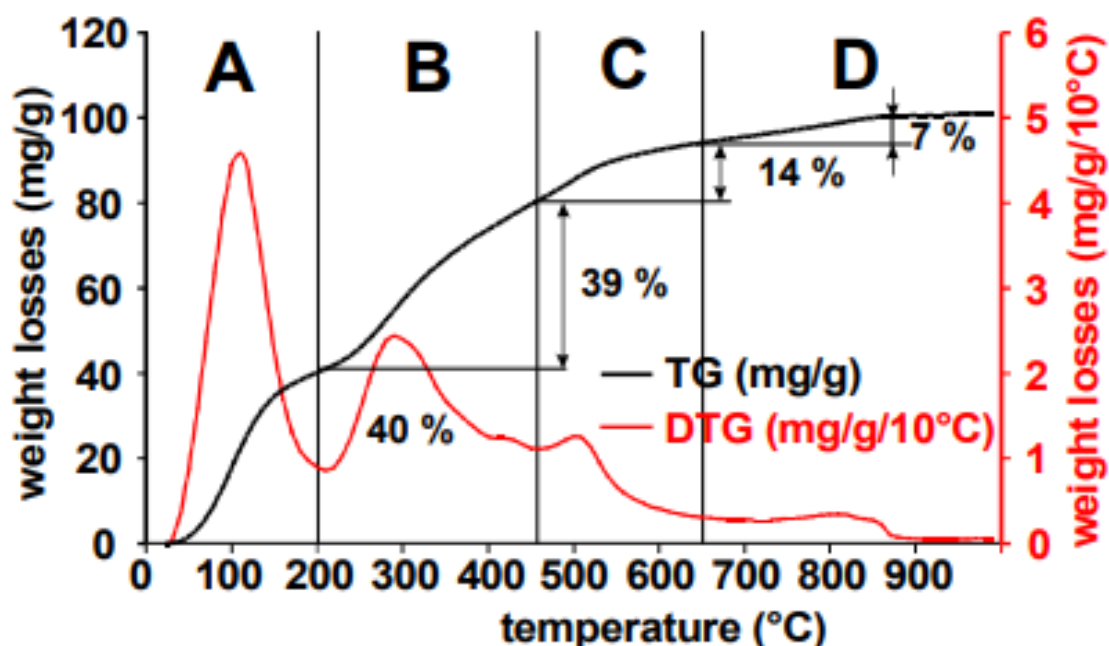
TG nám slúži na vzájomné porovnanie tepelných strát hmoty a hľadanie vzťahov medzi zložkami pôdy, o ktorých sa predpokladalo, že sú dôsledkom generických regulačných procesov vznikajúcich pri jej vzniku (Siewert, Kučerík, 2015).

Podľa Siewerta je dôležitým faktorom pri využívaní TG obsah vody a organickej hmoty v skúmanej vzorke. Množstvo vlhkosti v pôde výrazne ovplyvňuje množstvo organických látok a je jedným z najdôležitejších ovplyvňujúcich faktorov procesov tvorby pôdy. Z vyššie uvedeného sa predpokladá:

- a) na zdravie a kvalitu pôdy má vplyv nie len jej chemické zloženie ale aj jej vlastnosť organických látok zadržiavať vodu, pričom existuje korelácia medzi funkčnými charakteristikami pôdy a vody v nej dostupnej.
- b) za kľúč k pochopeniu charakteristík pôdnej organickej hmoty sa považujú variácie v interakciách organizmov podľa ich závislosti na úrovni vlhkosti (Siewert, 2001).

TG záznam obvykle obsahuje štyri základne celky, ktorým zodpovedajú hmotnostné úbytky:

- a) teplotný rozsah A (25 – 190°C): uvoľňovanie viazanej a voľnej vody
- b) teplotný rozsah B (200 – 450°C): rozklad tepelne labilnej organickej hmoty
- c) teplotný rozsah C (460 – 650 °C): degradácia organo-ílových komplexov
- d) teplotný rozsah D (650 – 1000°C): rozklad uhličitánov



Obrázok 8: Graf s TG (červená) a DTG (čierna) krivkami dát z priemeru 54 pôdnych vzoriek z rôznych klimatických podmienok (Siewert, 2001).

Pri analýze pôdy pomocou TG sa odporúča tepelné straty hmoty (TML) zhrnúť v intervaloch po 10°C od laboratórnej teploty po 1000°C na zoskupenie údajov TG pre ďalšie účely analýzy. Zavedenie TML minimalizuje rozdiely závislé od pôdy, zjednocuje počet parametrov používaných na výpočty a tiež znižuje šum TG merania. Namerané TML boli zobrazené ako proxy alebo indikátory, ktoré by sa dali použiť na stanovenie pôdneho organického uhlíka (SOC), celkového dusíka (TN), obsahu ílových minerálov a dýchanie. Výhodou TG je schopnosť separovať SOM na frakcie TG s rôznou termooxidačnou stabilitou čo súvisí s obsahom biogénnych prvkov a ílových minerálov. Tieto vzťahy boli pozorované na základe merania viac ako 300 pôd z celého sveta a overené nezávislou pôdou vzorovej sady, a preto ich možno považovať za univerzálne pôdne vlastnosti (Kučerik a kol., 2018).

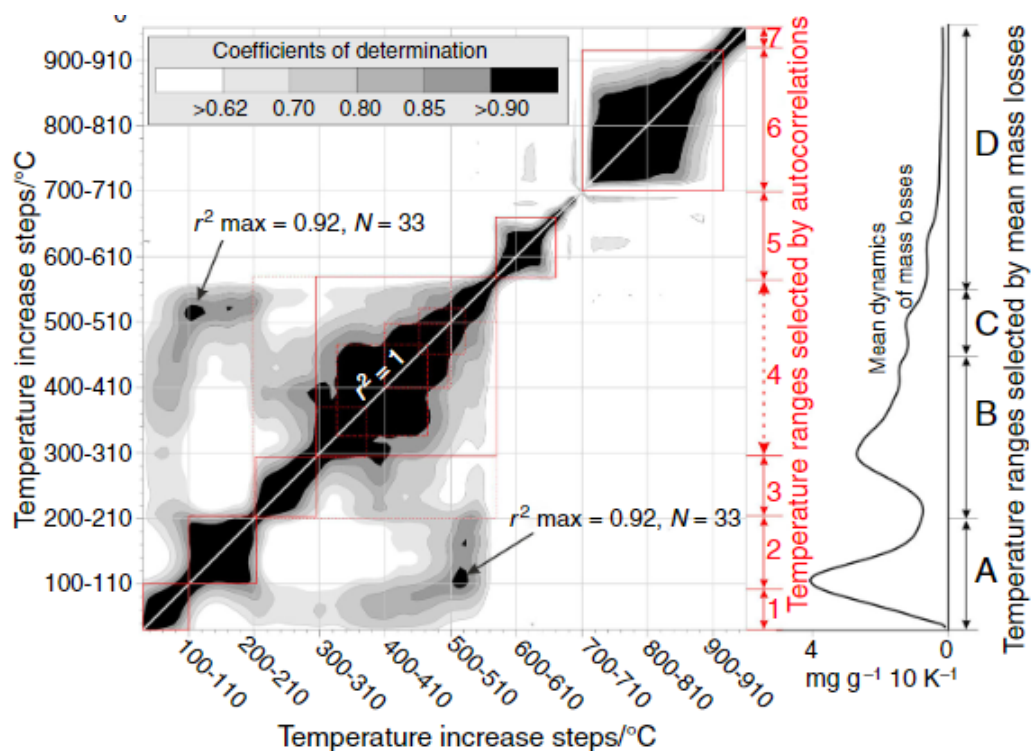
Dôležitou možnosťou analýzy TG dát je tzv. autokorelácia, ktorá vychádza z teoretických úvah o vzťahoch medzi organickou pôdnou zložkou, biogeochemickými cyklami C a N a viazanou vodou. Autokorelácie zahrnujú lineárne zhodnotenie koeficientov pre všetky TML a LTML od laboratórnej teploty do konečnej teploty TG merania (Svatoň, 2018).

V tabuľke 2 sú uvedené autokorelačné vzťahy medzi tepelnou stratou hmoty (TML) a veľkou tepelnou stratou hmoty (LTML).

Tabuľka 2: Autokorelačné vzťahy TML a LTML

| č.<br>rovnice | LTML    | ROVNICA                                                          | R    |
|---------------|---------|------------------------------------------------------------------|------|
| 1             | 200-300 | $13.2 \times \text{TML330} - 0.09$                               | 0,94 |
| 2             | 200-300 | $18.6 \times \text{TML410} - 0.18$                               | 0,76 |
| 3             | 200-300 | $8.1 \times \text{TML290} - 0.01$                                | 0,96 |
| 4             | 300-550 | $10.5 \times \text{TML350} + 19.5 \times \text{TML530} + 0.5$    | 0,91 |
| 5             | 300-550 | $17.1 \times \text{TML410} + 13.6 \times \text{TML530} + 0.25$   | 0,93 |
| 6             | 300-550 | $5.4 \times \text{TML290} + 17.3 \times \text{TML530} + 0.70$    | 0,90 |
| 7             | 300-450 | $11.1 \times \text{TML350} + 0.58$                               | 0,93 |
| 8             | 300-450 | $9.7 \times \text{TML330} + 0.55$                                | 0,93 |
| 9             | 450-550 | $0.13 \times \text{TML410} + 13.9 \times \text{TML530} + 0.13$   | 0,83 |
| 10            | 450-550 | $- 0.3 \times \text{TML350} + 14.1 \times \text{TML530} + 0.17$  | 0,83 |
| 11            | 450-550 | $- 0.17 \times \text{TML290} + 14.1 \times \text{TML530} + 0.17$ | 0,83 |
| 12            | 110-550 | $1.42 \times \text{TML80} + 24.1 \times \text{TML330} + 1.51$    | 0,92 |
| 13            | 110-550 | $7.48 \times \text{TML120} + 36.6 \times \text{TML410} + 0.57$   | 0,87 |
| 14            | 110-550 | $2.49 \times \text{TML80} + 14.6 \times \text{TML290} + 1.4$     | 0,96 |
| 15            | 110-550 | $24.6 \times \text{TML330} + 24.6 \times \text{TML530} + 0.49$   | 0,98 |
| 16            | 200-550 | $22.1 \times \text{TML330} + 24.6 \times \text{TML530} + 0.16$   | 0,95 |
| 17            | 200-550 | $15.7 \times \text{TML330} + 16.3 \times \text{TML410} + 0.58$   | 0,93 |
| 18            | 200-550 | $1.35 \times \text{TML330} + 13.4 \times \text{TML290} + 1.42$   | 0,93 |
| 19            | 30-550  | $27.8 \times \text{TML120} + 21.3 \times \text{TML330} + 1.33$   | 0,95 |
| 20            | 30-550  | $7.18 \times \text{TML80} + 15.9 \times \text{TML290} + 1.9$     | 0,98 |

Dôležitou metódou na analýzu TG dát je Autokorelácia, pri autokorelácií ide o sériovú závislosť náhodných porúch, prípadne rezíduí. Intenzita tejto závislosti je vyjadrená prostredníctvom korelačného koeficienta R. Príklad autokorelačnej matice pre koeficienty stanovenia TML v 10°C teplotných intervaloch môžeme vidieť na obrázku 9.



Obrázok 9: Autokorelačná matica pre koeficienty stanovenia TML v 10°C teplotných intervaloch (v najtmavších oblastiach je vysoká korelácia dát), vpravo je uvedená dynamika strednej TML (Siewert a Kučerík, 2015).

### 3. CIEĽ PRÁCE

Z doterajších znalostí vyplýva, že TG je metóda ktorá nám umožňuje analyzovať vzorky pôdy ako jeden celok vrátane viazanej vody. Je to metóda ktorá slúži na vzájomne porovnanie hmotnostných strát hmoty a nájdenie vzťahov medzi jednotlivými zložkami pôdy.

Cieľom je objasniť, ako ovplyvňuje príprava pôdy výsledky TG analýzy pôdy. Príprava pôdy totiž môže zásadným spôsobom ovplyvniť jej kvalitu a tým prerušiť vzájomné vzťahy pôdných komponentov, ktoré vznikli ako dôsledok dlhodobej pedogenézy. V tejto práci preto boli pôvodné pôdy porovnávané s pôdami, ktoré boli pred analýzou nadržané guľovým mlynom, čo predstavovalo veľmi intenzívny zásah do pôdnej štruktúry a teda šlo o pôdu mechanicky narušenú.

V prvej časti je cieľom korelácia hmotnostných úbytkov s obsahom uhlíka a dusíka, čo má cieľ ozrejmiť vplyv drvenia (alebo poškodenia pôdy) na stanoviteľnosť týchto prvkov.

Ďalej je cieľom posúdiť poškodenie vzájomných vzťahov medzi pôdnymi komponentmi spôsobených mletím, ktoré boli predtým navrhnuté v iných prácach.

Posledným cieľom je porovnanie vzťahov medzi pôdnymi komponentmi pomocou autokorelačnej analýzy, ktorá by mala odhľadať zmenu alebo prípadný posun týchto vzťahov po mletí.

Výsledky tejto práce sú dôležité nielen pre posúdenie vplyvu prípravy materiálu na TG dáta, ale môžu pomôcť pri analýze napríklad pôd kontaminovaných mikročastočkami plastov, biouhľia a iných materiálov. U nemletých pôd je v tomto prípade často problémom homogenita vzorky – u mletých potom obava, či nedochádza k ovplyvneniu TG analýzy

## 4. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

### 4.1 Odber pôdnych zložiek

Vzorky boli odoberané na ostrove Santorini zo štyroch kategórií odberných miest podľa druhu dopravného znečistenia a intenzity vyťaženia cestnej siete. Konkrétne sú to tieto miesta odberu:

1. Letisko, ktoré zahŕňa lokality po obvodě letiskovej plochy, kde sa očakáva priamy vplyv intenzívnej leteckej dopravy v dôsledku enormného turizmu;
2. Letisko – trajektová prístavná cesta, ktorá zahŕňa body na ceste spájajúcej dve hlavné dopravné spojenia poskytujúce služby z ostrova a odtiaľ, s intenzívnou dopravou v dôsledku cestovného ruchu;
3. Mestské komunikácie, ktoré zahŕňajú lokality situované v súvislej zástavbe, ktorú možno v miestnych podmienkach nazvať intravilánom, cesty sú hojne využívané turistami;
4. Vidiecke cesty, ktoré zahŕňajú miesta situované v poľnohospodárskej krajine, bez súvislej zástavby a cestovného ruchu.

Umiestnenie jednotlivých odberných miest je znázornené na obrázku 9. Vzorky sa odoberali do 1 m od krajnice. Všetky vzorky boli odobraté ako zmiešaná vzorka povrchovej pôdy (0–10 cm), vytvorená zmiešaním piatich čiastkových vzoriek z plochy 1 m<sup>2</sup> (Brtnický a kol., 2020)



Obrázok 10: Umiestnenie jednotlivých odberných miest (Brtnický a kol., 2020)

## 4.2 Termogravimetrická analýza pôdných vzoriek

### 4.2.1 Predúprava pôdných vzoriek

V tejto diplomovej práci sme termogravimetricky stanovovali 26 vzoriek. Tieto vzorky sme stanovovali dvojakým spôsobom predúpravy a to:

1. Vzorky boli prenesené na petriho miskú, ktorú sme umiestnili do exikátora, kde sme umiestnili dve kadičky s presýteným roztokom  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ , ktorý v exikátore po ustálení rovnováhy medzi roztokom a vzduchom a tiež rovnováhy medzi vzduchom a pôdou zabezpečil relatívnu vlhkosť pôdy 55%. kvôli zabezpečeniu konštantnej relatívnej vlhkosti u všetkých vzoriek boli vzorky pred meraním ponechané v exikátore 3 týždne.
2. Druhý spôsob predúpravy vzorky je takmer totožný s prvým spôsobom, tu sme ale k predúprave vzoriek pridali mletie vzoriek, vzorky sme mleli pomocou laboratórneho guľového mlyna Retsch MM200 po dobu jednej minúty na 25 Hz v mlecej nádobe o objeme 25 ml.

Obsah uhlíka a dusíka vo vzorkách bol tiež stanovený elementárnou analýzou, vzorky boli vysušené do konštantnej hmotnosti pri 105 °C, preosiatych cez sito s priemerom ôk 0,15 mm - na analyzátoe LECO TruSpec (MI USA). Celkový obsah uhlíka sa stanovil podľa ISO 10694: 1995 a celkový obsah dusíka sa stanovil podľa ISO 13878: 1998. Elementárnu analýzu vykonala Mendelova univerzita v Brne.

### 4.2.2 Parametre merania a jeho priebeh

Analýza hmotnostného úbytku v závislosti na zmene teploty prebiehala na prístroji TGA 550 - TA Instruments. Tento termogravimeter bol za účelom potreby merania pri danej hodnote relatívnej vlhkosti pôdy predupravený. Za účelom predúpravy bol vytvorený plastový kryt na podávač vzoriek z ktorého vedú tri hadičky, ktorými sa zabezpečuje prívod vzduchu o potrebnej vlhkosti. Vďaka čomu vieme na podávači udržať potrebnú vlhkosť vzduchu. K čerpanie vzduchu bolo použité akváriové čerpadlo a k obohateniu vzduchu na vlhkosť 55% bol použitý systém troch premývacích fľaš, ktorý bol navzájom prepojený gumovými hadičkami. V prvej premývacej fľaši bola umiestnená voda, v druhej zase presýtený roztok  $Ca(NO_3)_2$ , ktorý je schopný zachytiť prebytočnú vlhkosť vzduchu privádzaného z premývacej fľaše s vodou a upraviť ho na hodnotu vlhkosti vzduchu 55%. Vo tretej fľaši je vata ktorá zachycuje drobné kryštálky  $Ca(NO_3)_2$  ktoré by sa mohli dostať do systému a tým ho upchať.

Tento systém troch fliaš bol zapojený na hadičku od zdroja plynu a tak zapojený na pec a zásobník vzoriek. Meranie každej vzorky bolo realizované minimálne trikrát. Na potreby vyhodnotenia sa používal aritmetický priemer zo všetkých vhodných meraní.



Obrázok 11: termogravimeter upravený na meranie pri relatívnej vlhkosti 55% ( $\pm 1$ ) (Svatoň, 2018)

Všetky nastavenia a parametre merania sú zhrnuté v tabuľke č. 3.

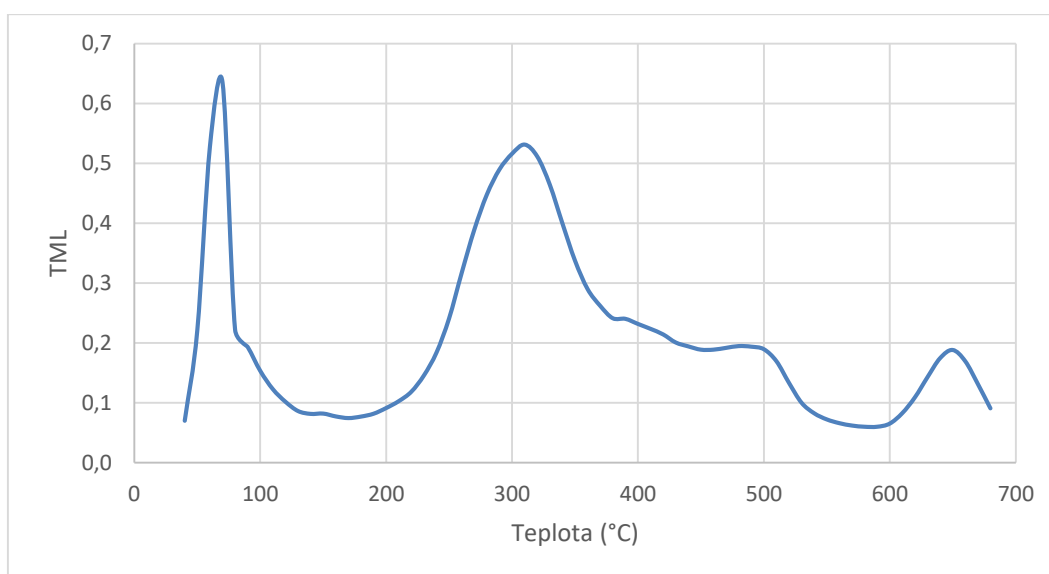
Tabuľka 3: Tabuľka parametrov a nastavení merania

| Parameter                          | Hodnota                        |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Ochranný plyn                      | dusík                          |
| Objemová rýchlosť ochranného plynu | 60ml/min                       |
| Plyn reakčnej atmosféry            | vzduch                         |
| Objemová rýchlosť reakčného plynu  | 100ml/min                      |
| Rýchlosť ohrevu                    | 5°C/min                        |
| Začiatková teplota merania         | 25°C                           |
| Konečná teplota merania            | 700°C                          |
| Vzorkovací interval                | 6krát /s                       |
| Typ panvičky                       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Hmotnosť vzorky pôdy               | približne 150-200 µg           |
| Doba chladenia                     | 50 min                         |

Každá vzorka bola umiestnená do panvičky z oxidu hlinitého, ktorá bola následne umiestnená do podávača vzoriek. Jedno TG meranie trvalo 2,5 hodiny, pričom ďalších 50 minút trvalo chladenie piecky pred ďalším meraním.

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSIA

K vyhodnoteniu TG dát sa použila modifikovaná metóda derivácie hmotnostných úbytkov. Získané dáta boli rozdelené do 10°C tepelných intervalov, medzi ktorými boli zistené hmotnostné úbytky jednotlivých intervalov, ktoré sú označené ako  $TML_x$  (ako napríklad  $TML_{330}$  popisuje stratu hmotnosti medzi 320–330°C). Spodný index označuje teplotný interval. Typický graf závislosti TML na teplote je uvedený v obr.12. K vyhodnoteniu boli použité aj frakcie teplotných intervalov označené ako  $LTML_{x-y}$ , kedy spodný index slúži na označenie rozsahu tepelnej straty hmotnosti (napríklad,  $LTML_{200-300}$  popisuje stratu hmotnosti v rámci teplotného intervalu 200–300°C).



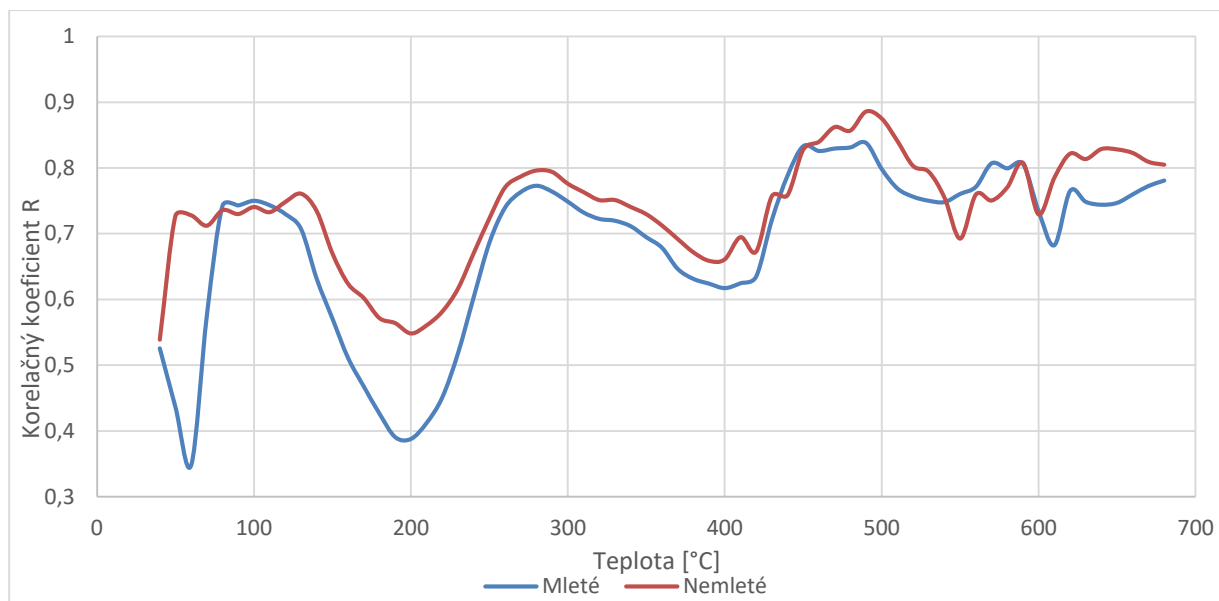
Obrázok 12: Na grafe je znázornený typický príklad závislosti TML od teploty pre jednu vybranú vzorku mletej pôdy č. 23.

Na obrázku 12 môžeme vidieť výrazné zmeny a to v oblasti do 200°C, ktorá zodpovedá uvoľňovaniu voľnej a viazanej vody, taktiež v oblasti 200–500°C v ktorej nastáva rozklad organickej hmoty a v oblasti nad 550°C, kde nastáva rozklad uhličitánov.

### 5.1 Vplyv mletia na stanoviteľnosť uhlíka a dusíka

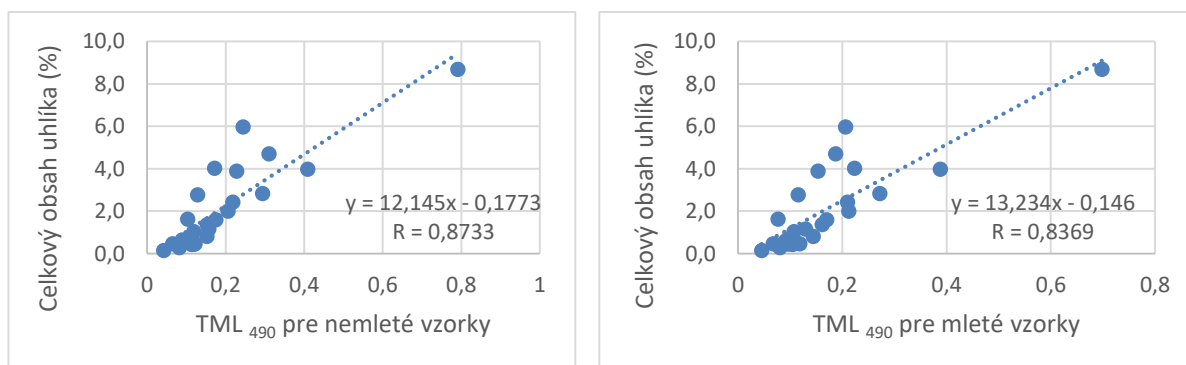
V tejto kapitole sme sa venovali porovnaniu vplyvu mletia pôdy na jej stanoviteľnosť v súvislosti s obsahom celkového uhlíka a dusíka v pôde. Porovnanie sme vykonávali prostredníctvom korelácie dát získaných z elementárnej analýzy a TG dát. Na vyhodnotenie vzájomnej korelácie sme použili korelačnú funkciu CORREL Microsoft Excel.

Na obrázku č. 13 je graf závislosti korelačného koeficientu R korelácie hodnôt obsahu celkového uhlíka a TG dát od teploty pri TG analýze pre mleté a nemleté vzorky pôdy.



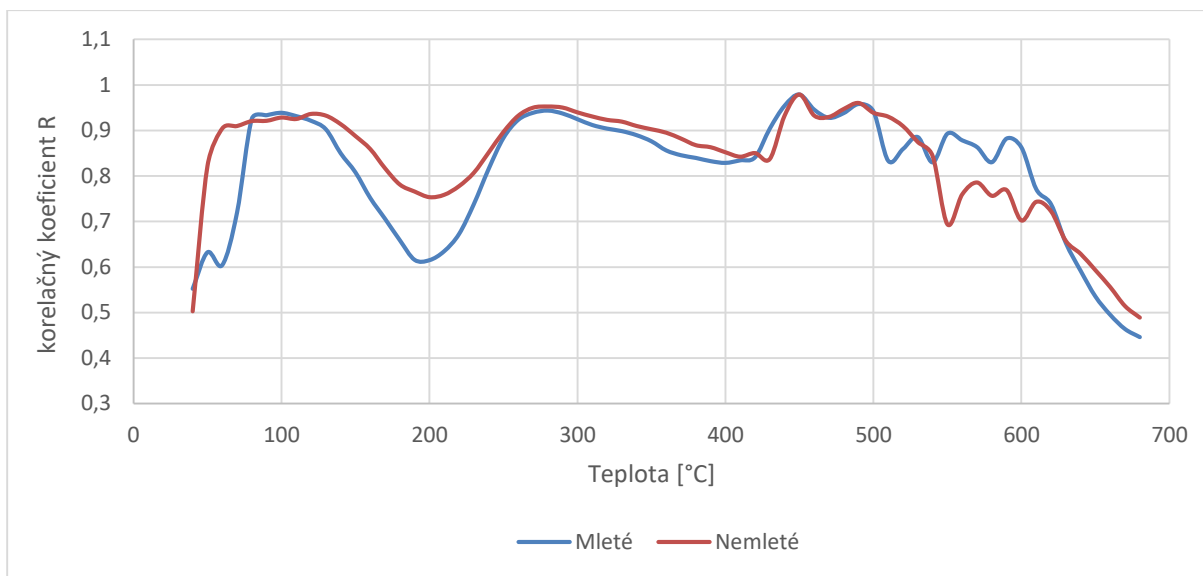
Obrázok 13: graf závislosti korelačného koeficientu R korelácie hodnôt obsahu celkového uhlíka a TG dát od teploty pri TG analýze

Na obrázku č.13 môžeme vidieť, že obsah celkového uhlíka má najvyššiu koreláciu v oblasti TML<sub>490</sub>, túto oblasť bližšie popisuje obrázok č. 14, ktorý vyjadruje závislosť TML<sub>490</sub> od celkového obsahu uhlíka, kde porovnávame rovnicu pre mletú pôdu v oblasti TML<sub>490</sub> s rovnicou pre nemletú pôdu. Z porovnania vyplýva, že rovnice síce nie sú totožné, ale je tam len minimálny posun v hodnotách, čo potvrdzuje aj koeficient korelácie R, ktorý hovorí o vysokej zhodnosti hodnôt.



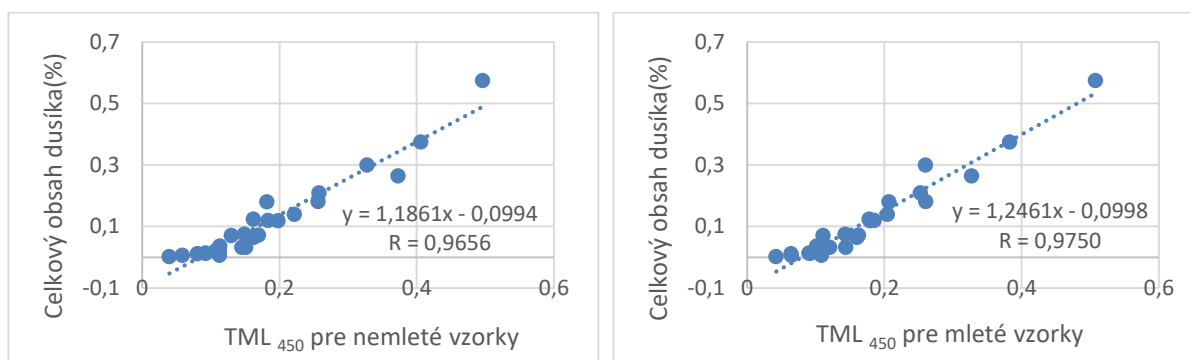
Obrázok 14: Závislosť TML<sub>490</sub> od celkového obsahu uhlíka pre mleté a nemleté pôdne vzorky

Koreláciu vzájomných vzťahov celkového obsahu dusíka pre mleté a nemleté vzorky pôdy v závislosti od korelačného koeficientu R a teploty môžeme vidieť na obrázku č. 15.



Obrázok 15: graf závislosti korelačného koeficientu R korelácie hodnôt obsahu celkového dusíka a TG dát od teploty pri TG analýze

U závislosti korelačného koeficientu R korelácie hodnôt obsahu celkového dusíka a TG dát od teploty pri TG analýze uvedenej na obrázku č.15 vidíme, že obsah celkového dusíka koreluje lineárne s teplotným rozpätím 430-510 °C s najvyššou koreláciou v TML<sub>450</sub>, na túto oblasť najvyššej korelácie poukazuje obrázok č. 16.



Obrázok 16: Závislosť TML<sub>450</sub> od celkového obsahu dusíka pre mleté a nemleté pôdne vzorky

Z výsledných rovníc a hodnôt koeficientov korelácie R uvedených na obrázku 16 jasne vidieť, že pri TML<sub>450</sub> nemôžeme hovoriť o žiadnom významnom posune hodnôt medzi mletými a nemletými vzorkami pôdy, pretože rovnice aj koeficienty korelácie sú takmer totožné.

Zatiaľ čo predošlé práce poukazujú na najvyššiu koreláciu celkového obsahu uhlíka v oblasti TML<sub>330</sub> a pre celkový obsah dusíka v oblasti TML<sub>290</sub> v našej práci sa tieto tvrdenia nepotvrdili, pričom sme zaznamenali výrazný posun týchto hodnôt do oblasti TML<sub>490</sub> pre uhlík a TML<sub>450</sub> pre dusík. Tento posun môže byť spôsobený viacerými faktormi. Jedným z faktorov môže byť vlhkosť pôdy, ktorá má vplyv na organickú hmotu (Kučerík a kol., 2019). Druhým dôležitým faktorom je kontaminácia pôdy a tretím faktorom môže byť pôvod pôdy. Nakoľko šlo o pôdy

vulkanického pôvodu, ktoré obsahujú vyšší obsah pyrogenného uhlíka (sadzí) s dokázanou kontamináciou ťažkými kovmi na ktoré poukazuje práca Brtnický (2020). Ďalším faktorom môže byť štruktúra pôdy, pôdne agregáty, rozmanitejší povrch alebo pôvod pôdy. Taktiež môžeme vidieť minimálne zmeny vzťahov pre mleté a nemleté vzorky pôdy, čo nasvedčuje, že mletie pôdy nemá výrazný vplyv na jej stanoviteľnosť.

## 5.2 Porovnanie vzájomných vzťahov pomocou rovníc

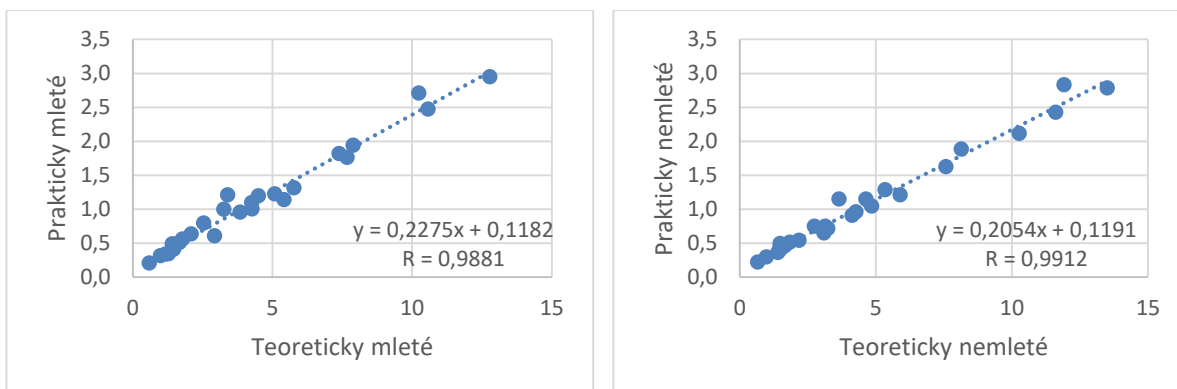
V nasledujúcej časti práce sa zameriame na porovnanie vzájomných vzťahov rovníc mletých a nemletých vzoriek skúmanej pôdy, pričom budeme vychádzať z teoretických rovníc danej problematiky. Rovnice boli publikované v Kučerík (2019) a reprezentujú výsledky korelácií medzi TG frakciami, ktoré zodpovedajú SOM (LTML<sub>200-300</sub>, LTML<sub>300-450</sub>, LTML<sub>450-550</sub>, LTML<sub>110-550</sub>) a indikátorom TG. Výsledkom vyššie spomenutého článku je 20 rovníc, ktoré sa nachádzajú v tabuľke 2 tejto diplomovej práce a z ktorých v tejto práci vychádzame.

Ako bolo uvedené v podkapitole 4.2.1 predmetom nášho skúmania bolo 26 vzoriek pôdy, ktoré boli analyzované pomocou TG najprv ako nemleté a následne ako mleté. Z TG dát sme stanovili hodnoty LTML a TML.

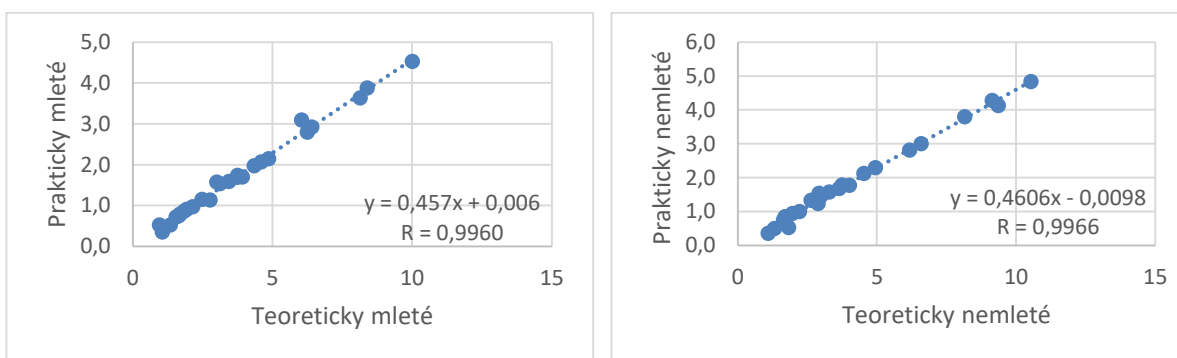
Pre potreby tejto diplomovej práce sme uskutočnili zámerný výber rovníc, pričom sme vybrali nasledovné:

| Rovnica:                                                                  | Dôvod výberu:                           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| č.1: $13.2 \times \text{TML}_{330} - 0.09$                                | Rovnica pojednáva o obsahu uhlíka       |
| č.8: $9.7 \times \text{TML}_{330} + 0.55$                                 | Rovnica pojednáva o obsahu dusíka       |
| č.9: $0.13 \times \text{TML}_{410} + 13.9 \times \text{TML}_{530} + 0.13$ | Rovnica pojednáva o obsahu dusíka a ílu |
| č.12: $1.42 \times \text{TML}_{80} + 24.1 \times \text{TML}_{330} + 1.51$ | Rovnica pojednáva o obsahu uhlíka a ílu |

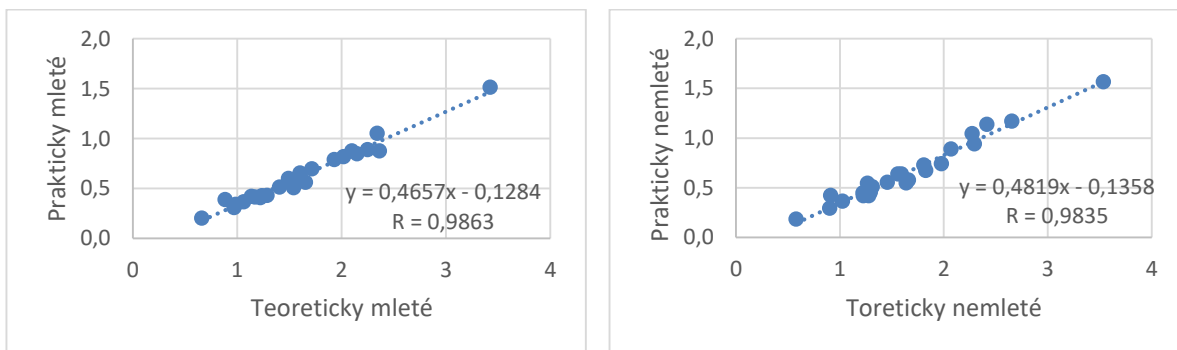
Na obrázku 17 – 20 sú uvedené porovnania hodnôt pre mleté a nemleté vzorky pôdy pomocou rovníc č.1; č.8; č.9 a č.12, kde vidíme závislosť teoretických hodnôt od praktických. Teoretické hodnoty sme získali dosadením príslušného TML<sub>x</sub> do rovnice. Praktické hodnoty predstavujú príslušnú frakciu LTML<sub>x-y</sub>, pre ktorú bola daná rovnica navrhnutá, čo je možné vidieť vyššie v práci v tabuľke č.2.



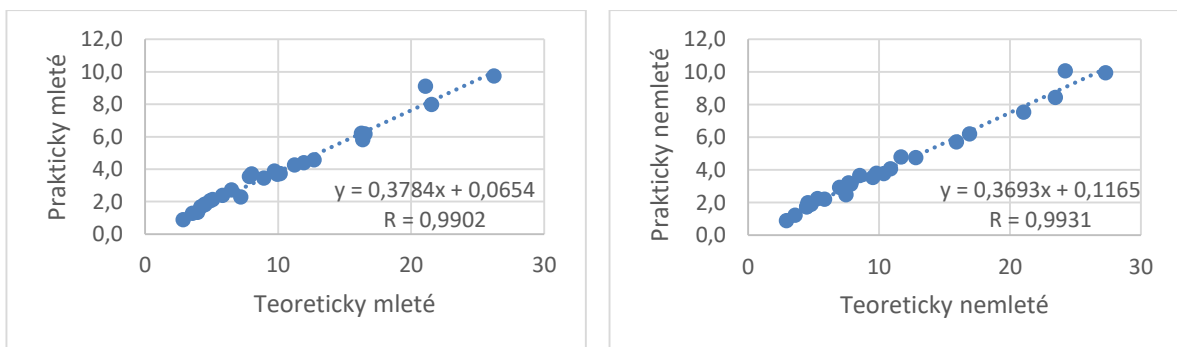
Obrázok 17: grafy závislosti teoretických a praktických hodnôt pre mleté a nemleté vzorky pôdy získane pomocou rovnice č.1



Obrázok 18: grafy závislosti teoretických a praktických hodnôt pre mleté a nemleté vzorky pôdy získane pomocou rovnice č.8



Obrázok 19: grafy závislosti teoretických a praktických hodnôt pre mleté a nemleté vzorky pôdy získane pomocou rovnice č.9



Obrázok 20: grafy závislosti teoretických a praktických hodnôt pre mleté a nemleté vzorky pôdy získane pomocou rovnice č.12

Na všetkých vyššie uvedených obrázkoch 17 – 20 je možné vidieť trend posunu rovníc. Pre všetky nami použité rovnice sú výsledné rovnice takmer rovnaké s vysokými hodnotami koeficientov korelácie  $R$  pre mleté aj nemleté vzorky pôdy, čo naznačuje, že k porušeniu vzájomných vzťahov medzi pôdnymi komponentami mletím nedochádza a vplyv mletia na TG analýzu je zanedbateľný.

### 5.3 Autokorelácia TG dát

Autokorelácia je štatistická metóda ktorá v našom prípade bude vychádzať zo vzájomných vzťahov organickej hmoty a viazanej vody v pôde.

Obrázky 21 a 22 zobrazujú autokorelačnú maticu (raster). Každý pixel na Obr. 21 a 22 predstavuje koeficient určenia, ktorý je zobrazený ako žltá – zelená stupnica a zodpovedá korelácii medzi TML získanými pri teplotách zobrazených na osiach X a Y. Čím tmavšie sú polia, tým vyššie boli korelácie medzi TML v zodpovedajúcich 10°C teplotných intervaloch. Diagonálna biela čiara z ľavého horného rohu do pravého dolného rohu predstavuje korelácie TML v rovnakých teplotných intervaloch ( $R^2=1$ ). Tento riadok nie je relevantný. Oddelené zelené intervaly pozdĺž diagonálnej čiary však umožňujú zoskupenie pôdnych zložiek, ktoré sa vyznačujú užšími autokoreláciami (Siewert a Kučerík, 2015).

[illegible]

Obrázok 21: Autokorelačná matica pre koeficienty stanovenia TML v 10°C teplotných intervaloch pre mleté pôdne vzorky

Obrázok 22: Autokorelačná matica pre koeficienty stanovenia TML v 10°C teplotných intervaloch pre nemleté pôdne vzorky

Významné korelačné koeficienty (zelené plochy) pre obrázok 21, ktorý znázorňuje autokoreláciu pre mleté pôdne vzorky boli pozorované v nasledujúcich teplotných rozsahoch: od 90–150, 150–220, 220–430, 430–490, 540–590 a 620–670 °C. Pričom ďalšie významné variácie boli prítomné v intervale od 210 do 430 °C a to pri 230, 280 a 340 °C. V tomto intervale boli tiež pozorované aj silné odľahlejšie korelácie a to pre rozsahy teplôt 220–330 a 360–430 °C, ( $R_{max}^2=0,99$ ). Slabšie, ale stále vysoko významné vzájomné vzťahy boli pozorované pre interval teplôt medzi 90–440 °C. Pozorovali sme tiež slabšie odľahlejšie korelácie pre rozsahy teplôt 70–140 a 520–600 °C.

Na obrázku 22, ktorý znázorňuje autokoreláciu pre nemleté pôdne vzorky boli pozorované významné korelačné koeficienty v nasledujúcich teplotných rozsahoch: 70–160, 160–240, 240–450, 450–490, 630–680 °C. V intervale 240–450 °C sú prítomné ďalšie významné vzájomné vzťahy a to v rozsahu teplôt 250–300 a 290–420 °C. Ďalej na obrázku 22 pozorujeme významné odľahlejšie hodnoty od diagonálnej čiary pre ktorú sa  $R^2=1$  a to v teplotných rozsahoch: 240–370, 150–180, 290–410 a 230–280 °C. Ešte odľahlejšie, ale stále vysoko významné vzájomné vzťahy boli pozorované pre intervaly teplôt medzi: 410–450, 60–170, 510–520, 240–330, 510–520 a 100 – 170 °C. Slabšie, ale stále vysoko významné vzájomné vzťahy boli pozorované pre intervaly teplôt medzi: 60–540 a 540–680 °C.

Nasledujúce spoločné znaky boli pozorované pre všetky súbory mletých a nemletých vzoriek. TML medzi 220 a 450 °C vykazovali najvyššie korelácie (najväčšie tmavé rozsahy) pozdĺž diagonálnej čiary. Tieto korelácie boli prítomné u mletých aj nemletých vzorkách okolo  $230 \pm 20$ ,  $280 \pm 10$ ,  $340 \pm 20$ ,  $440 \pm 20$  a  $620 \pm 10$  °C.

TML v rozsahu teplôt od 30 do 200°C zodpovedá vyparovaniu voľne viazanej vody. Podiel medzi frakciami vody sa značne líši v závislosti od pomeru medzi ílom a obsahom SOM. Voľne viazaná voda sa prednostne viaže na SOM alebo sa viaže v mikrokapilárach, zatiaľ čo viazaná voda by mala byť adsorbovaná hlavne na íloch. Hodnoty TML pod 100 °C sú vzájomne prepojené s pôdnou mikrobiologickou aktivitou, zatiaľ čo TML medzi 110 a 120 °C odrážajú celkový obsah ílu, pretože sa predpokladá, že oba rozsahy odrážajú odparovanie, alebo desorpciu rôznych typov viazanej vody, mali by byť korelácie medzi TML v rozsahu od 30 do 100 °C a od 100 do 200 °C (Siewert a Kučerík, 2015). Na obrázku 21 a 22 si však môžeme všimnúť, že zatiaľ čo u nemletých vzoriek pôdy máme v tejto oblasti značné korelácie s vysokou hodnotou R u mletej pôdy na obrázku 21 je zrejmy nižší počet týchto korelácií, čo naznačuje vplyv mletia na obsah viazanej vody v pôde. Dôvodom môže byť, že mletie naruší štruktúru a pôda je tak schopná sorbovať a zadržiavať menej vody v pôde. TML okolo 100°C tiež zodpovedá degradácii ílu príbuzných proteínových zlúčenín z SOC chránených ílmi, hoci

nemožno vylúčiť ani degradáciu nechránenej SOC. Okrem toho sú TML nad 100°C ovplyvnené desorpciou viazanej vody z ílových minerálov. Distribúciu chemicky stabilizovaného uhlíka do značnej miery ovplyvňuje ílová mineralógia. Avšak TML v tomto teplotnom rozsahu súvisí s celkovým obsahom ílu v pôde bez ohľadu na mineralógiu ílu. To naznačuje vplyv úlohy proteínových zlúčenín pri sorpcii vody na ílových povrchoch a pri regulácii procesov tvorby pôdy (Siewert a Kučerík, 2015). Čo by mohlo vysvetľovať značný úbytok korelácií v tejto oblasti pre mleté vzorky pôdy na obrázku 21.

Autokorelácie teplotného rozsahu medzi 200 a 300 °C naznačujú rozpad labilnej organickej hmoty a v teplotnom rozsahu 350 a 410 zase degradáciu stabilnej organickej hmoty. Teplotný interval 410 a 520 °C je prevažne intervalom rozpadu organo-ílových komplexov. Žlté vzory pozdĺž diagonálnej čiary odrážajú vysokú diverzitu autokorelácií v pôdach. Rozdiely môžu byť spôsobené zložením vzoriek, heterogenitou pôdných organických látok, klimatickými podmienkami ovplyvňujúcimi pôdotvorné podmienky, kontamináciou pôdy atď. Vybrané TML v intervale od 340±20 do 440±20 °C korelujú s celkovým obsahom organického uhlíka v pôdach.

## 6. ZÁVER

V posledných desaťročiach rastú obavy z udržateľnosti v nadväznosti na globálny rast ľudskej spoločnosti a jej nárokov na kvantitu a kvalitu pôdy. Kvalitu pôdy vieme ovplyvňovať pomocou organických úprav. Tieto postupy majú silný vplyv na zdravie pôdy, ktoré zohľadňuje zdravie rastlín, prostredníctvom zmien fyzikálno-chemických charakteristík a vplyvu na pôdne mikrobiálne spoločenstvá, aby však bolo možné dané postupy aplikovať, je potrebné poznať vlastnosti konkrétnej pôdy, ktoré sú výsledkom rôznych metód.

V druhej kapitole našej diplomovej práce a teda teoretickej časti práce sme charakterizovali pôdu na základe definícií od rôznych autorov. Poukázali sme na globálny vplyv pôdy, pôdotvorné procesy, jej chemické, fyzikálne, biologické vlastnosti, biogeochemické cykly. V neposlednom rade sme sa na záver kapitoly venovali TG, ktorá patrí medzi základné metódy termickej analýzy a umožňuje analyzovať celé vzorky pôdy vrátane viazanej vody ako celok. TG nám poskytla potrebné dáta pre vypracovanie tejto diplomovej práce.

V experimentálnej časti práce sme sa už priamo zamerali na TG analýzu pôdných vzoriek získaných z odberov na ostrove Santorini v Stredozemnom mori. Na základe nami uskutočnených meraní sme následne získané dáta porovnávali pomocou korelácie a autokorelácie pričom sme sa zamerali na vplyv predúpravy na stanoviteľnosť uhlíka a dusíka, porovnanie vzájomných vzťahov mletých a nemletých pôdných vzoriek pomocou rovníc a na koniec samotnú autokoreláciu pre mleté a nemleté pôdne vzorky.

Výsledkom tejto diplomovej práce je zistenie, že samotná predúprava pôdy má len minimálny vplyv na jej stanoviteľnosť a teda predúprava vzorky nie je nutná čo dokazujú aj naše výsledky v práci, pretože použité rovnice sa nemenili a došlo len k ich posunu. Zo zistených výsledkov vieme povedať, že mletie má zásadný vplyv len na vyparovanie voľne viazanej vody, o čom hovorí nami vykonaná autokorelácia.

Ďalším smerovaním v nadväznosti našej práce by mohlo byť vykonanie rovnakých meraní na ďalších pôdných vzorkách, ktoré by potvrdilo, prípadne vyvrátilo nami zistené výsledky.

## 7. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

### 7.1 Literárne zdroje

1. ANNAORŁOWSKA. *Crevasse-fill forms – Bridging the gap in glacial geomorphology between East and West based on a case study from eastern Poland*. Quaternary International. 2022. Volume 617. Pages 59-72. DOI:10.1016/j.quaint.2021.08.004
2. ANTAL, J. STREĎANSKÝ, J. a kol. *Ochrana a zúrodňovanie pôdy*. Prvé vyd. Nitra : SPU, 2013. 212 s. ISBN 978-80-552-0966-1.
3. AMUNDSON, R. *Factors of soil formation in the 21st century*. *Geoderma*, Volume 391, 2021,ISSN 0016-7061
4. BARANČÍKOVÁ, G. - FAZEKAŠOVÁ, D. - MANKO, P. - TORMA, S. *Chémia životného prostredia. prvé vydanie*. Prešov : Prešovská univerzita v Prešove, 2009. 255 s. ISBN 978-80-555-0082-9.
5. BEDRNA Z., JENČO M. PEDOGEOGRAFIA. *Zákonitosti priestorovej diferenciácie pedosfér*. Bratislava. 2016. 125 s. ISBN 978-80-223-4323-2
6. BIELEK, P., ŠURINA, B. *Malý atlas pôd Slovenska. Prvé vyd.* Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2000. 36 s. ISBN 80-85361-59-0.
7. BRTNICKÝ, M., PECINA, V., VAŠINOVÁ GALIOVÁ, M., PROKEŠ, Ľ., ZVĚŘINA, O., JUŘIČKA, D., KLIMÁNEK, M., JKYNICKÝ J. *The impact of tourism on extremely visited volcanic island: Link between environmental pollution and transportation modes*. *Chemosphere*. Volume 249. 2020. ISSN 0045-6535
8. BUJNOVSKÝ, R., JURÁNI, B. *Kvalita pôdy – jej vymedzenie a hodnotenie*. Bratislava: VUPOP, 1999, 42 s.
9. ČURLÍK, J. a kol.. *Pôdna reakcia a jej úprava*. Bratislava, 2003. 250 s. ISBN 80-967696-1-8
10. ČURLÍK, J., JURKOVIČ, Ľ. *PEDOGEOCHÉMIA*. Univerzita Komenského v Bratislave, 2012, 228 s. ISBN:978-80-223-3210-1
11. D. LONG, Y. SHEN, A. SUN, Y. HONG, L. LONGUEVERGNE, Y. YANG, B. LI, L. CHEN. *Drought and flood monitoring for a large karst plateau in Southwest China from extended GRACE data*. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Volume 155. 145-160
12. DATKO-WILLIAMS, L., WILKIE, A., RICHMOND-BRYANT, J. *Analysis of U.S. soil lead (Pb) studies from 1970 to 2012*. *Science of The Total Environment*. Volumes 468–469. Pages 854-863. 2014. ISSN 0048-9697

13. DEISS, L., MARGENOT, A.J., CULMAN, S.W., DEMYAN S.M. *Grinding and spectra replication often improves mid-DRIFTS predictions of soil properties*. Soil Science Society of America Journal. Volume 84. 2020. DOI: 10.1002/saj2.20021
14. DEISS, L., MARGENOT, A.J., CULMAN, S.W., DEMYAN S.M., *Optimizing acquisition parameters in diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy of soils*. Soil Science Society of America Journal. Volume 84. 2020. DOI: 10.1002/saj2.20028
15. DORAN, J. W., ZEISS, M. R. *Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of Soil Quality*. Applied Soil Ecology, 2000, Volume 15. Pages 3 – 11. DOI:10.1016/S0929-1393(00)00067-6
16. E. V. BOBRYNINA, T. V. LARIONOVA, T. S. KOL'TSOVA, Y. ZHANG, X. LIANG & O. V. TOLOCHKO . *Preparation, Structure and Properties of Copper-Based Composites with Additions of Fullerenes and Fullerene Soot*. Met Sci Heat Treat 62, 70–75. 2020. DOI:10.1007/s11041-020-00514-3"
17. E.V. MAAS, G.J. HOFFMAN. *Crop salt tolerance-current assessment*. ASCE J Irrig Drain Div. 1997. Volume 103. Pages 115 - 134.
18. ERLICH, P. a kol.. *Využití penetrometrických metod pro výzkum a projektování zúrodňovacích opatření*. vyd. Praha: Výzkumný ústav pro zúrodnění zemědělských půd. 1987. 45 s.
19. ESSINGTON, M., E., *Soil and Water Chemistry*. 552. 2003. eBook ISBN9780429209697
20. Fazekašová, D., Bobuľská, L. *Soil Organisms as an Indicator of Quality and Environmental Stress in the Soil Ecosystem*. Životné prostredie. 2012. Volume 46. 2. Pages 103 – 106.
21. FAZEKAŠOVÁ, D., BOBULSKÁ, L., MACKOVÁ, D. *Biodiversity and Environment Quality in the Conditions of Ecological Farming on Soil*. Növénytermelés. 2011. Volume 60. Pages 427 – 430.
22. FERNÁNDEZ, J., M. PLANTE, A., F. LEIFELD, J. *Application of thermal analysis techniques in soil science*. Geoderma, Volume 153. Pages 1-10. 2009. ISSN 0016-7061
23. FERNÁNDEZ, J., M. PLANTE, A., F. LEIFELD, J. RASMUSSEN, C. *Methodological considerations for using thermal analysis in the characterization of soil organic matter*. Akadémiai Kiadó', Budapest, Hungary 2010. DOI:10.1007/s10973-010-1145-6

24. GIL, E., KIJOWSKA-STRUGALA, M., DEMCZUK, P. *Soil erosion dynamics on a cultivated slope in the Western Polish Carpathians based on over 30 years of plot studies*. CATENA, Volume 207, 2021, ISSN 0341-8162,
25. HANES, J., ZAUJEC, A., MUCHA, V. , SISÁK, P. , ČURLÍK, J., LINKEŠ, V. *Pedológia*. Nitra : SPU, 1997.
26. HANES, J. *Analýza sorpčných vlastností pôdy*. Bratislava : Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava. Prvé vydanie. 1999. 138 s. ISBN 80- 85361-47-7.
27. HARRIS, W. G. et al. *Phosphorus Retention as Related to Morphology of Sandy Coastal Plain Soil Materials*. Soil Science Society of American Journal. 1996, Volume 60. Pages. 1513 – 1521.
28. HORNÍK, Stanislav, a kol. *Fyzická geografia II. 1. vyd.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství 1986.
29. CHMIELEWSKÁ – HORVÁTHOVÁ, E. - LESNÝ, J. *Sorpcia niektorých produktov jadrového rozpadu na prírodnom zeolite*. Mineralia slovaca, 26, 1994, s. 290 – 295.
30. BIGGELAAR, CH. LAL, L., KEITH WIEBE HARI ESWARAN, BRENNEMAN, V, REICH, P. *THE GLOBAL IMPACT OF SOIL EROSION ON PRODUCTIVITY*. Advances in agronomy 2004. Volume 81. Pages 49-95. DOI:10.1016/S0065-2113(03)81002-7
31. JAVOREKOVÁ, S. A KOL. *Biológia pôdy v agroekosystémoch*. Nitra: SPU v Nitre. 2008. 349 s
32. JENSEN, V., KJOLLER, A., SORENSEN L.H. *Microbial Communities in Soil*. 448. 1986. ISBN 978-0-85334-441-4
33. JOHN W. DORAN, TIMOTHY B. PARKIN. *Defining and Assessing Soil Quality*. 1994. DOI:10.2136/sssaspecpub35.c1
34. JOHNSON et al.: *Meanings of environmental terms*. Journal of Environmental Quality. 1997, Volume 26. Pages 581 – 589.
35. KANIANSKA, R. 2012. *Environmentálna pedológia a manažment ochrany pôdy*. Prvé vyd. Banská Bystrica : FPV UMB, 2012. 216 s. ISBN 978-80-557-0460-9.
36. KANIANSKÁ, R. 2013. *Environmentálne právo – Ochrana zložiek životného prostredia*. Prvé vyd. Banská Bystrica. Belianum, 2013. 100 s. ISBN 978- 80-557-0587-3.
37. KANIANSKA, R. *Environmentálna pedológia a manažment ochrany pôdy*. 2016. ISBN 9788055704609

38. KUBÁT, J., NOVÁKOVÁ, J. CERHANOVÁ, D. *Výskyt a aktivita půdních mikroorganismů ve dlouhodobých polních pokusech na orné půdě*. In: TESAŘOVÁ, M., ZÁHORA, J. (eds): Biologické indikátory kvality půd. Brno: MZLU. 2002. s. 18 – 25.
39. KUČERÍK, J., SVATOŇ, K., MALÝ, S., BRTNICKÝ M., DOLEŽALOVÁ-WEISMANNOVÁ, H., DEMYAN, M., S., SIEWERT, CH., TOKARSKI , D., *Determination of soil properties using thermogravimetry under laboratory conditions. European Journal of Soil Science*, Volume 71. 2019. DOI: 10.1111/ejss.12877
40. KUČERÍK, J. a C. SIEWERT. *Practical application of thermogravimetry in soil science part 2. Modeling and prediction of soil respiration using thermal mass losses*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry . 2014, 116(2), 563-570 ISSN 1388-6150.
41. KUČERÍK, J., D. TOKARSKI, M. S. DEMYAN, I. MERBACH a C. SIEWERT. *Linking soil organic matter thermal stability with contents of clay, bound water, organic carbon and nitrogen*. Geoderma . 2018, 316, 38-46 ISSN 00167061.
42. KUČERÍK, J., M. S. DEMYAN a C. SIEWERT. *Practical application of thermogravimetry in soil science part 4. Relationship between clay, organic carbon and organic matter contents*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry . 2016, 123(3), 2441-2450 ISSN 1388-6150.
43. LEHMANN, J., KLEBER, M. *The contentious nature of soil organic matter*, Nature. Volume 528, Pages 60 - 68. 2015. DOI:10.1038/nature16069
44. LISCHKE, P., FRANK, V. *Hydrologie, meteorologie, pedologie I*. Vysoká škola chemicko–technologická v Praze, 1988.
45. M. AGASSI, I. SHAINBERG, J. MORIN. *Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation*. Soil Sci. Soc. Am. J. 1981. Volume 45. Pages 848 - 851. DOI:10.2136/sssaj1981.03615995004500050004x
46. M. RAHAV, N. BRINDT, U. YERMIYAHU, R. WALLACH. *Induced heterogeneity of soil water content and chemical properties by treated wastewater irrigation and its reclamation by freshwater irrigation*. Water Resour. Res.. 2017. DOI:10.1002/2016WR019860
47. M.O. ARNOUS, D.R. GREEN. *Monitoring and assessing waterlogged and salt-affected areas in the Eastern Nile Delta region, Egypt, using remotely sensed multi-temporal data and GIS*. J. Coastal Conservation. 2015. Volume 19. pages 369 - 391. DOI:10.1007/s11852-015-0397-5
48. MICHAELI, E. *REGIONÁLNA Geografia Slovenskej Republiky*. Prešov. 133. 2015. ISBN 978-80-555-1269-3

49. MINASNY, M. , ALEX B. MCBRATNEY. *Regression rules as a tool for predicting soil properties from infrared reflectance spectroscopy*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2008. Volume 94, Issue 1. Pages 72-79. ISSN 0169-7439
50. MINASNY, M., ALEX. B. MCBRATNEY, SÉBASTIEN SALVADOR-BLANES. *Quantitative models for pedogenesis*. Geoderma. Volume 144, Issues 1–2. 2008. Pages 140-157. ISSN 0016-7061
51. P.S. MINHAS, T.B. RAMOS, A. BEN-GAL, L.S. PEREIRA, *Coping with salinity in irrigated agriculture: crop evapotranspiration and water management issues Agric. Water Manage.* 2020. Volume 277. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105832
52. PLANTE, A. F., CONANT, R. T., CARLSON, J., GREENWOOD, R., SHULMAN, J.M., HADDIX, M.L, PAUL, E.A. *Decomposition temperature sensitivity of isolated soil organic matter fractions*. Soil Biology and Biochemistry. Volume 42. Pages 1991-1996. 2010. ISSN 0038-0717
53. POKORNÝ, E., ŠARAPATKA, B. 2003. *Půdoznalství pro ekozemědělce*. ÚZPI Praha, 40 pp.
54. RATTAN LAL. *Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation Sustainability*. 2015. pp. 5875-5895. DOI 10.3390/su7055875
55. ROSSEL R.A., ANDRIULO A.E., SCHITZER M., CRESPO M.B., MIGLIERINA A.M. *Acid properties of an Argiudoll soil under two tillage systems*. Sci. Tot. Envir. 1989. Volume 81/82. Pages 391-400.
56. PERRI, S. SUWEIS, D. ENTEKHABI, A. MOLINI. *Vegetation controls on dryland salinity*. Geophys. Res. Lett. 2018. DOI:10.1029/2018GL079766
57. S.E.A.T.M. VAN DER ZEE, S.H.H. SHAH, R.W. VERVOORT. *Root zone salinity and sodicity under seasonal rainfall due to feedback of decreasing hydraulic conductivity*. Water Resour. Res. 2014. Pages 9432-9446. DOI:10.1002/2013WR015208
58. SAMET AKSOY, AYLIN YILDIRIM, TAHA GORJI, NIKOU HAMZEHPOUR, AYSEGUL TANIK ELIF SERTL. *Assessing the performance of machine learning algorithms for soil salinity mapping in Google Earth Engine platform using Sentinel-2A and Landsat-8 OLI data*. Advances in Space Research. 2022. Volume 69. Pages 1072-1086. DOI:10.1016/j.asr.2021.10.024G
59. SÁŇKA, M., MATERNA, J. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí. 2004. 54 s.

60. SCHMIDT, M.W., TORN MS, ABIVEN S, DITTMAR T, GUGGENBERGER G, JANSSENS IA, KLEBER M, KÖGEL-KNABNER I, LEHMANN J, MANNING DA, NANNIPIERI P, RASSE DP, WEINER S, TRUMBORE SE. *Persistence of soil organic matter as an ecosystem property*. Nature. 2011. Volume 478. Pages 49 - 56. DOI: 10.1038/nature10386
61. SIEWERT, C. a J. KUČERÍK. *Practical applications of thermogravimetry in soil science*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry [online]. 2015, 120(1), 471-480. DOI: 10.1007/s10973-014-4256- 7. ISSN 1388-6150.
62. SIEWERT, C., 2001. *Investigation of the Thermal and Biological Stability of Soil Organic Matter, 1st ed. Shaker, Aachen, Germany*.
63. SIEWERT, C. Rapid. *Screening of Soil Properties using Thermogravimetry*. Soil Science Society of America Journal [online]. 2004, 68(5), 1656-. DOI: 10.2136/sssaj2004.1656. ISSN 1435-0661.
64. SOTÁKOVÁ S. *Organická hmota a úrodnosť pôdy*. Bratislava, Príroda, 1982 234 s
65. STEPHEN NORTCLIFF, CLAUS G. BANNICK. *Soil, Definition, Function, and Utilization of Soil*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Volume 33 2006.Pages 400 - 419. DOI:10.1002/14356007.b07\_613.pub2
66. SUN Y, LI H, GUO G, SEMPLE KT, JONES KC. *Soil contamination in China: Current priorities, defining background levels and standards for heavy metals*. J Environ Manage. 2019. PMID: 31563052.
67. SUN, J., HOU, G., LIU, M., FU, G., ZHAN, T.Y., ZHOU, H.K., TSUNEKAWA, A., HAREGEWEYN, N.. *Effects of climatic and grazing changes on desertification of alpine grasslands, Northern Tibet*. Ecological Indicators. 2019. Volume 107. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105647
68. ŠIMONOVÍČOVÁ A. a kol. *Environmentálna mikrobiológia*. 2013. 271s. ISBN 978-80-223-3382-5
69. TADELE, A. TEREFE, Y.G. SELASSIE, B. YITAFERU, B. WOLFGRAMM, H. HU RNI. *Soil properties and crop yields along the terraces and toposequece of Anjeni Watershed, Central Highlands of Ethiopi*. 2013. DOI 10.5539/jas.v5n2p134
70. T.P. MAKHALANYANE, A. VALVERDE, E. GUNNIGLE, A. FROSSARD, J.B. RA MOND, D.A. COWAN. *Microbial ecology of hot desert edaphic systems FEMS Microbiol Rev*. 2015. Volume 39. Pages 203-221. DOI:10.1093/femsre/fuu011

71. TOMAŠKIN, J., DRIMAL, M., ŠUDÝ, M. PIATRIK, M., 2010. *Pôda. In Voda, ovzdušie, pôda a technológie ich ochrany. Prvé vyd..* Banská Bystrica : FPV UMB, 2010. 206 s. ISBN 978-80-557-0023-6.
72. W.Q. LUO, Z.C. JIANG, Q.Y. YANG, Y.Q. LI, J.H. LIANG. *The features of soil erosion and soil leakage in karst peak-cluster areas of Southwest China.* Journal of Groundwater Science and Engineering. 2018. Volume 6. Pages. 18-30.
73. X. WANG, Z. MA, X. WANG, P. CHEN, X. TANG, J. LIAN, Q. ZHANG, X. CHEN G, J. LIU, H. QU. *Relationship between soil surface environmental factors and community characteristics of alpine meadow in different desertification stages.* Acta Ecol. Sin.. 2020. Volume 40. Pages 6850-6862
74. Y. LIAN, J.Y. YOU, K. LIN, Z. JIANG, C. ZHANG, X. QIN. *Characteristics of climate change in southwest China karst region and their potential environmental impacts.* Environmental Earth Sciences. 2015. Volume 74. Pages 937-944
75. Y. LIANG, F. PAN, X. HE, X. CHEN, Y. SU. *Effect of vegetation types on soil arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacterial communities in a karst region.* Environ. Sci. Pollut. Res. 2016 Volume 23. Pages 18482-18491
76. Y.M. LI, S.P. WANG, L.L. JIANG, L.R. ZHANG, S.J. CUI, F.D. MENG, Q. WANG, X.N. LI, Y. ZHOU. *Changes of soil microbial community under different degraded gradients of alpine meadow.* Agr. Ecosyst. Environ. 2016. Volume 222. Pages 213 - 222. DOI:10.1016/j.agee.2016.02.020
77. YAKOVCHENKO, V. I., SIKORA, L. J., KAUFMAN, D. D. *A Biologically Based Indicator of Soil Quality. Biology and Fertility of Soils.* 1996. Volume 21. Pages 245 – 251.
78. Z.C. JIANG, Y.Q. LIAN, X.Q. QIN. *Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration.* Earth-Science Reviews. 2014. Volume 132. Pages 1 - 12. DOI:10.1155/2014/375251
79. ZAUJEC A., KOBZA J. *The content and quality of soil organic matter in key monitoring sites observing by soil monitoring system of the Slovak Republic.* Agriculture (Poľnohospodárstvo). 2002. Volume 48, Pages. 492- 499.
80. ZAUJEC, A., CHLPÍK, J., TOBIAŠOVÁ, E., SZOMBATHOVÁ, N. *Pedológia SPU.* Nitra 2002, 98 s. ISBN 80-8069-090-1
81. ZBÍRAL J., HONSA I., MALÝ S. 1997. *Analýza pôd III. Jednotné pracovné postupy.* Brno, ÚKZÚZ, 150 s

82. ZBÍRAL, J.: *Stanovení obsahu COX, CTOT, NTOT a glomalinu metodou NIRS*, ÚKZÚZ Brno, 2015, 3s.
83. ZHANG Y, WANG S, GAO Z, ZHANG H, ZHU Z, JIANG B, LIU J, DONG H. *Contamination characteristics, source analysis and health risk assessment of heavy metals in the soil in Shi River Basin in China based on high density sampling. Ecotoxicol Environ Saf.* 2021. PMID: 34687942.
84. ZONG, N., SHI, P. *Soil properties rather than plant production strongly impact soil bacterial community diversity along a desertification gradient on the Tibetan Plateau. Grassl. Sci.* 2020. Volume 66. Pages 197 - 206. DOI:10.1111/grs.12269

## 7.2 Internetové zdroje

[1] EU Mission: A Soil Deal for Europe. European Commission. Dostupné na: [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-health-and-food\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-health-and-food_en)

[2] Soil Formation and Geography dostupné na: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/food\\_supply/student\\_materials/1144](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/food_supply/student_materials/1144)

[3] Formation and Classification of the Soil Dostupé na: [https://ceventura.ucanr.edu/Com\\_Ag/Soils/The\\_environmental\\_characteristics\\_of\\_Ventura\\_County\\_and\\_its\\_soils\\_/Formation\\_and\\_Classification\\_of\\_the\\_Soil/](https://ceventura.ucanr.edu/Com_Ag/Soils/The_environmental_characteristics_of_Ventura_County_and_its_soils_/Formation_and_Classification_of_the_Soil/)

[4] Natural Resources Conservation Service Wisconsin - What does the color of soil tell you about it?

[5] Plant & Soil Sciences eLibrary - Soils - Part 2: Physical Properties of Soil and Soil Water

[6] <https://hmn.wiki/sk/Humus>

[7] [https://www.researchgate.net/figure/2-Generalized-soil-moisture-conditions-modified-by-COMET-program-2005-The-soil\\_fig2\\_351225146](https://www.researchgate.net/figure/2-Generalized-soil-moisture-conditions-modified-by-COMET-program-2005-The-soil_fig2_351225146)

[8] [https://svf.uniza.sk/kgt/subory/predmety/prirodne\\_zdroje\\_I/P13\\_Nove\\_HaP.pdf](https://svf.uniza.sk/kgt/subory/predmety/prirodne_zdroje_I/P13_Nove_HaP.pdf)

[9] FARÁRIK, P. 2013. Pedosféra[online]. [cit. 2014. 04. 29.]. Dostupné na internete: <<http://www.geoska.sk/news/pedosfera/>>.

[10] David Russell, 2019. Soil: the living treasure under our feet, in European Environment Agency, Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu/sk/signaly-eea/signaly-2019/clanky/rozhovor-2013-poda-zivy-poklad>

## 8. ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

BR – bazálna respirácia

DTG – derivácia termogravimetrických dát

FK – fulvinové kyseliny

HK – humínové kyseliny

LRM – laboratórna referenčná metóda

LTML – large thermal mass loss (úbytok hmotnosti za veľkej tepelnej zmeny)

NIR – spektrometria v blízkej infračervenej oblasti

PR – potencionálna respirácia

R – korelačný koeficient

SOC – pôdny organický uhlík

SOM – pôdna organická hmota

TG – termogravimetria

TGA 550 – termogravimetrický analyzátor model 550

TML – thermal mass loss (úbytok hmotnosti za tepelné zmeny)