

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra pedologie a ochrany půd



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

Dlouhodobá změna obsahu humusu v ornici zemědělských půd

Bakalářská práce

Autor práce: Kristýna Klípková

Obor studia: Územní a technická správní služba v životním  
prostředí

Vedoucí práce: doc.RNDr. Tereza Zádorová, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Dlouhodobá změna obsahu humusu v ornici zemědělských půd" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 23.3.2023 \_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní docentce Zádorové za její ochotu, trpělivost a cenné rady a připomínky při psaní bakalářské práce. Stejně tak i za zapůjčení materiálu a poskytnutí dat.

# Dlouhodobá změna obsahu humusu v ornici zemědělských půd

## Souhrn

Hlavním tématem této práce je dlouhodobá změna obsahu humusu v ornici zemědělských půd. Cílem této práce je na základě srovnání historických a aktuálních dat analyzovat intenzitu změn v obsahu půdní organické hmoty v ornici zemědělsky využívaných půd pedogeografické oblasti Mšenska. Literární rešerše seznamuje čtenáře s organickou složkou půdy, která má zásadní vliv na její fungování i fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, organickým uhlíkem a informuje o zásadním vlivu managementu zemědělských půd, ke kterému došlo v polovině 20. století. V rámci projektu NAZV byl vytvořen nový půdní průzkum v okrese Mšeno, na místě sond, které byly již realizované v rámci Komplexního průzkumu půd, provedeného v 60. letech minulého století. Po provedení sběru byla jednotlivá data popsána a srovnaná změna v čase. Dále byl vysvětlen vliv ostatních faktorů. Analýza dat a výstupů potvrdila, že dlouhodobá změna na zemědělských půdách ovlivnila obsah organické hmoty. Byl zaznamenán mírný nárůst organického uhlíku v půdách. Významně se také změnila hloubka ornice a byly zaznamenány i další změny u vlastností půd, a to u pH, kationtové výměnné kapacity a nasycení sorpčního komplexu. Míra intenzity zemědělství ovlivňuje všechny již zmíněné faktory a je třeba dále tuto problematiku zkoumat a provést vhodná opatření.

**Klíčová slova:** organický uhlík, humus, management půd, Komplexní průzkum půd, zemědělská půda



# **Long-term change of humus content in the topsoil of agricultural soils**

## **Summary**

The main topic of this paper is the long-term change of humus content in topsoil of agricultural soils. The aim of this work is to analyse the intensity of changes in the soil organic matter content in topsoil of agricultural soils in the pedogeographical region of Mšensko on the basis of a comparison of historical and current data. The literature search introduces the reader to soil organic matter, which has a major influence on soil functioning and physico-chemical properties, organic carbon, and informs about the major impact of agricultural soil management that occurred in the middle of the 20th century. Within the framework of the project NAAR, a new soil survey was created in the Mšeno district, on the site of probes already carried out within the framework of the Systematic Soil Survey carried out in the 1960s. After the collection, the individual data were described and the change over time was compared. The influence of other factors was also explained. Analysis of the data and outputs confirmed that long-term change on agricultural soils affected the organic matter content. A slight increase in soil organic carbon was observed. There was also a significant change in topsoil depth and other changes were noted in soil properties, namely pH, cation exchange capacity and saturation of the sorption complex. The level of agricultural intensity affects all of the factors already mentioned and further research is needed into this issue and appropriate measures should be taken.

**Keywords:** organic carbon, humus, soil management, Systematic Soil Survey, agricultural soil

## **Obsah**

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Organická složka půdy.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Půdní organická hmota.....	3
3.1.2 Organický uhlík.....	5
3.1.3 Humus .....	6
<b>3.2 Množství organické hmoty v půdě .....</b>	<b>10</b>
3.2.1 Vliv managementu půd na množství organické hmoty .....	12
<b>4 Materiál a metody .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Popis zájmového území .....</b>	<b>17</b>
4.1.1 Základní charakteristika .....	17
4.1.2 Klimatické podmínky.....	18
4.1.3 Geomorfologie a geologie.....	18
4.1.4 Hydrologické poměry.....	20
4.1.5 Rostlinstvo .....	21
4.1.6 Půdní poměry .....	21
<b>4.2 Datové podklady pro výzkum.....</b>	<b>23</b>
4.2.1 Komplexní průzkum půd .....	23
<b>4.3 Terénní průzkum v zájmovém území.....</b>	<b>24</b>
4.3.1 Postup terénního průzkumu.....	24
<b>4.4 Laboratorní práce .....</b>	<b>25</b>
4.4.1 Postup laboratorních prací, jednotlivé technologické postupy .....	25
<b>4.5 Zpracování dat.....</b>	<b>26</b>
<b>5 Výsledky.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Změna obsahu organického uhlíku ve sledovaném období .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 Změna hloubky svrchního horizontu .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Vliv dalších vlastností půdy na obsah organického uhlíku.....</b>	<b>31</b>
5.3.1 Změny vlastností ve sledovaném období .....	31
5.3.2 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během KPP .....	34
5.3.3 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během nového průzkumu .....	34
<b>6 Diskuse .....</b>	<b>35</b>
<b>6.1 Změna obsahu organického uhlíku v půdách.....</b>	<b>35</b>
<b>6.2 Změna hloubky ornice.....</b>	<b>36</b>

<b>6.3 Změna jednotlivých vlastností půd a jejich vzájemné vztahy v obou sledovaných obdobích .....</b>	<b>37</b>
<b>7 Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>8 Seznam literatury .....</b>	<b>39</b>
<b>9 Seznam zkratek.....</b>	<b>42</b>

# 1 Úvod

Klíčovou složkou půdy, mající zásadní vliv na její fungování i fyzikálně-chemické vlastnosti, je půdní organická hmota, která je tvořena půdními organismy a organickými sloučeninami. V zemědělsky využívaných půdách hraje obsah, složení a kvalita půdní organické hmoty zásadní roli z hlediska jejich využívání, úrodnosti i managementu. Množství a kvalita organické hmoty ovlivňuje řadu půdních vlastností a znaků, důležitých pro správné fungování půdního prostředí, především tvorbu a stabilitu půdních agregátů, retenční kapacitu půd či sorpční vlastnosti. Zásadní je jako zdroj živin a látek potřebných pro růst rostlin. Je rovněž významným úložištěm organického uhlíku a základní součástí globálního cyklu uhlíku.

Zásadní vliv na organickou hmotu má využívání a zpracování půdy, které se v průběhu historie zemědělství výrazně měnilo. K radikálním změnám v managementu půd došlo především v posledních 70 letech v souvislosti s intenzifikací a industrializací zemědělství a změnou struktury pozemků. Vliv na koncentraci organické hmoty má také útlum živočišné výroby a s ním spojený pokles hnojení půdy statkovými hnojivy.

Dlouhodobý vývoj půdních vlastností je možné sledovat na základě porovnání historických a současných dat. Data získaná v období 60. let 20. století v rámci rozsáhlé mapovací kampaně Komplexního průzkumu půd nám poskytují informace z dob transformace zemědělství v důsledku násilné kolektivizace ve 2. polovině 20. století. Hlavním cílem této práce je vzájemně porovnat nově získaná data s těmito historickými daty v oblasti Mšenska. Jedná se o intenzivně zemědělsky využívaný region s převahou kvalitních půd ze třídy Luvisolů. Analýza se zaměřuje především na změnu v obsahu organické hmoty ve sledovaném období a dále na zjištění vývoje dalších vybraných chemických vlastností, které jsou potenciálně touto změnou ovlivněny.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem práce je analyzovat změnu v obsahu organického uhlíku, hloubce ornice a v hodnotách dalších vybraných půdních vlastností v období posledních 60 let srovnáním historických dat Komplexního průzkumu půd a aktuálních dat v hnědozemní oblasti Mšenska.

### Hypotézy:

H1: Ve sledovaném období došlo v zájmovém území ke změně obsahu organického uhlíku v půdě.

H2: Ve sledovaném období došlo v zájmovém území k signifikantní změně hloubky ornice.

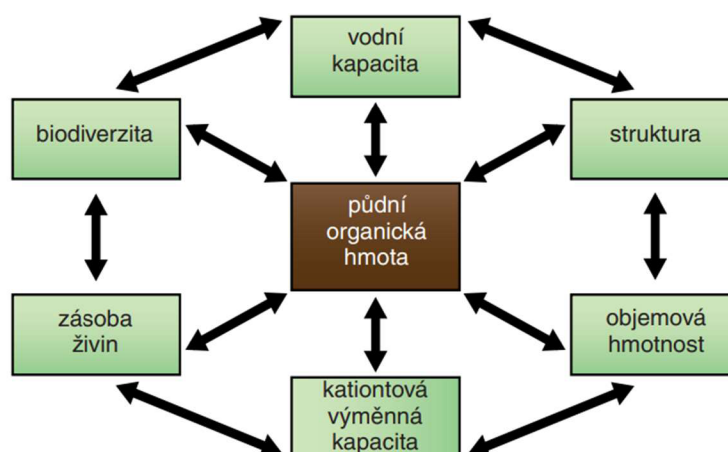
### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Organická složka půdy

##### 3.1.1 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je soubor všech neživých organických látek nacházejících se v půdě anebo na jejím povrchu (Šarapatka, 2014). Půdní organická hmota plní velmi důležitou environmentální funkci a je základním faktorem půdní úrodnosti. Ačkoliv je ve většině minerálních půd přítomna v relativně malém množství, má velký vliv na téměř všechny vlastnosti půdy (Allison, 1973). Mezi její hlavní funkce můžeme zařadit: vytváření a stabilizace půdních agregátů, schopnost vázat a udržovat vodu v půdě (je schopna poutat až sedmkrát více vody, než je její hmotnost), poskytovat látky a živiny potřebné pro růst rostlin i jako zdroj energie pro půdní mikroorganismy, vázání látek v rámci půdního sorpčního komplexu, účast na globálním uhlíkovém cyklu a stabilizace organického uhlíku v půdě. Půdní organická hmota přímo i nepřímo ovlivňuje např. strukturu půdy, její schopnost zadržovat vodu i početnost a rozmanitost společenstev půdních organismů (biodiverzitu), pro něž je zdrojem uhlíku a energie (obrázek 1). Z hlediska využívání půd a zemědělské produkce zajišťuje organická hmota vyšší odolnost proti suchu i půdní erozi, podporuje růst kořenů a znamená i nižší nutnost hnojení půd (Brady a Weil, 2008).

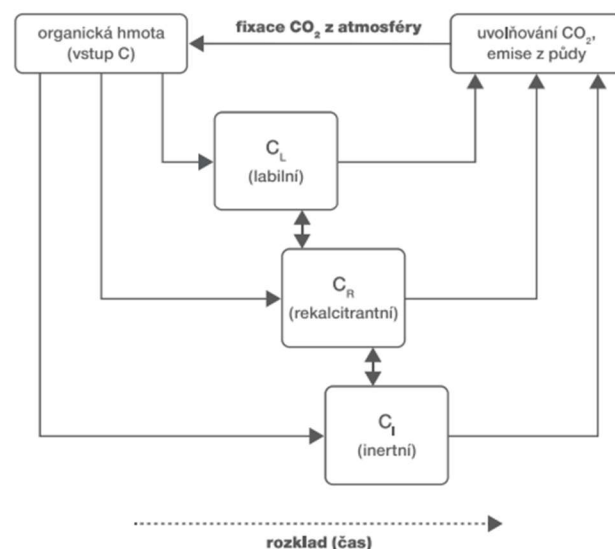
Půdní organická hmota v širším pojetí se skládá ze dvou velmi odlišných částí, a to z živé a neživé části, běžně se však půdní organismy do její definice nezahrnují a jako půdní organickou hmotu chápeme pouze soubor všech neživých organických látek v půdě v různém stupni přeměny (Brady a Weil, 2008).



Obrázek 1 – Vztah mezi půdní organickou hmotou a dalšími důležitými charakteristikami a funkcemi půdy, zdroj: Šimek a kol., 2021

Dle stupně proměny a odlišných funkcí v půdě můžeme dále dělit půdní organickou hmotu na tři hlavní složky. Humusotvorný materiál tvoří nerozložené organické zbytky. Hlavním zdrojem mikrobiálních přeměn jsou autotrofní organismy (rostliny), resp. jejich odumřelé zbytky, včetně rostlinného opadu. Významně nižší podíl zaujímají odumřelé zbytky živočichů. Meziprodukty rozkladných procesů nebo též nehumusové látky, jsou jednodušší chemické látky (sacharidy, aminokyseliny, jednodušší organické kyseliny), vznikající jako meziprodukty rozkladu a syntézy (Šimek a kol., 2019). Poslední složkou je pak vlastní humus (humusové látky), který je výsledkem humifikačních procesů (viz kapitola 3.1.2).

Z hlediska rozložitelnosti (obrázek 2) rozdělujeme organické látky v půdě na relativně dostupné (labilní, aktivní zásoba), hůře dostupné (rekalci-trantní, pasivní zásoba) a případně téměř nerozložitelné (inertní). Labilní látky, které jsou produkovány rostlinami zahrnují především kořenové exudáty, obsahující rozpuštěné monosacharidy, organické kyseliny, aminokyseliny a další látky. Kyseliny napomáhají dalšímu zvětrávání substrátu, kde dochází k uvolnění jinak nedostupných forem minerálních živin, například fosforu, které jsou dále přístupné rostlinám. Labilní složky biomasy jsou obsaženy i v tkáních všech rostlinných orgánů, a to například ve formě monosacharidů produkovaných fotosyntézou, která slouží jako zdroj energie, tak i jako základní složky pro tvorbu strukturních látek. Strukturní látky jako je například celulóza, hemicelulóza a lignin představují rekalci-trantní látky, které jsou mnohem hůře rozložitelné než látky labilní a jejich obrát v půdě představuje desítky až stovky let. Mezi rekalci-trantní látky patří rovněž produkty humifikace, především huminové kyseliny a huminy. Inertní složka organické hmoty (v půdě uložena až tisíce let) má vysoké procentuální zastoupení ligninu a je velmi rezistentní vůči dekompozici (Šimek a kol., 2019; Šarapatka, 2014).

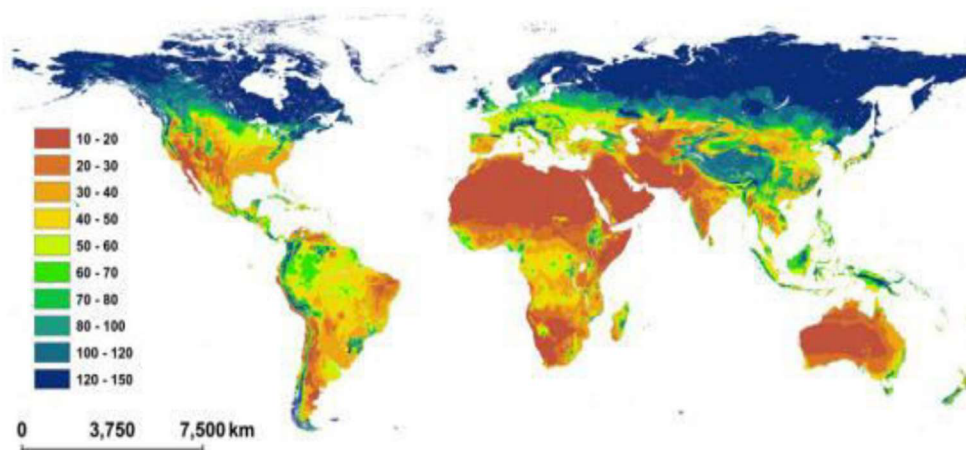


Obrázek 2 – Frakce uhlíku v půdě, zdroj: Šimek a kol., 2019

### 3.1.2 Organický uhlík

Půdní organický uhlík (též oxidovatelný uhlík – Cox) v půdě je hlavní složkou půdní organické hmoty a univerzální ukazatel půdní kvality (Barančíková a kol., 2018). Je velmi důležitý pro všechny půdní procesy. Půdní organický uhlík je největší zásobou uhlíku (C) v rámci suchozemských ekosystémů (Amid a Lal, 2008). V celosvětovém měřítku obsahuje zhruba 2344 Gt organického uhlíku (Stockmann a kol., 2013). Půda je navíc považována za druhou největší globální zásobárnu uhlíku po oceánech a za jednu z nejdůležitějších složek biosféry, která poskytuje významné ekosystémové služby a funkce (Ogle a Paustian, 2005).

Celkový obsah uhlíku a jeho zásoby se mohou v různých typech půd lišit (obrázek 3). Nejvíce Cox obsahují rašelinné půdy (Jurčík, 1978). Během rozkladu organická hmota akumuluje pouze 10-30 % uhlíku ve formě humusu a až 60-80 % uhlíku je uvolněno ve formě CO<sub>2</sub> do ovzduší (Brady a Weil, 2008). Uvolňování a poutání organického uhlíku závisí na rostlinách a na mikrobiální činnosti. V půdě můžeme nalézt organický uhlík volný, stabilní a aktivní (Šarapatka, 2014).



Obrázek 3 – Zásoba organického uhlíku v t/ha v ornici, zdroj: Minasny a kol., 2017

#### 3.1.2.1 Koloběh organického uhlíku

Koloběh uhlíku je důležitý pro funkci života na Zemi (obrázek 4). Koloběhem organického uhlíku jsou dotčeny rostliny, zvířata, mikroorganismy, a i lidé v součinnosti s atmosférou a neživými složkami přírody. Koloběh organického uhlíku podléhá kvalitativním a kvantitativním změnám organické hmoty (Brady a Weil, 2008).

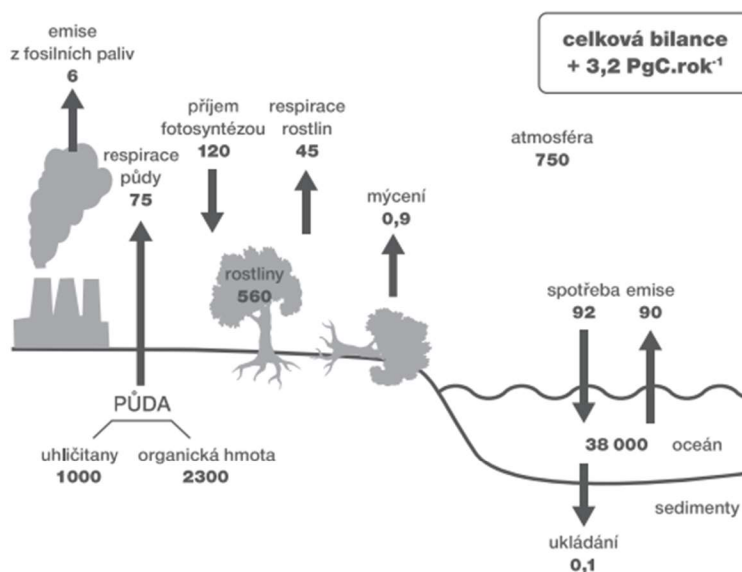
Faktory, které ovlivňují ukládání a uvolňování uhlíku je náročné studovat. Ke zvýšení organického uhlíku v půdě dochází postupným rozkladem rostlinných a živočišných těl nebo při lokální aplikaci organických látek (např. hnojiv). Naopak k úbytku dochází při půdní respiraci, která je podpořena erozí či provzdušňováním půdy např. při orbě (Brady a Weil, 2008).



Jako primární zdroj organické hmoty je považován fotosyntézou akumulovaný uhlík. Cyklus uhlíku je geologický a trvá miliony let, ale může být i biologicko – fyzikální a pohybovat se v rozmezí od několika dnů až po tisíce let. Hlavní roli v globálním hledisku hrají čtyři významné zdroje: půda, oceán, atmosféra a suchozemská biota (Šarapatka, 2014).

Významnou roli v uhlíkovém cyklu zastávají rostliny a bakterie. Bakterie při rozkladných procesech odstraňují odpadní produkty rostlin i živočichů. Díky tomu dochází k návratu důležitých živin a prvků jako je například již zmíněný uhlík. Rostliny v tomto procesu přijímají z atmosféry  $\text{CO}_2$ , který pak využijí pro fotosyntézu. Část energie je přijata a zbývající energie odchází v nezměněné formě zpět do atmosféry. Jakákoliv změna či zásah do koloběhu uhlíku způsobí narušení rovnováhy a dochází k negativní změně. Negativní vliv má i intenzivní zemědělství, které ovlivňuje koloběh uhlíku. V půdě se nachází až dvakrát více uhlíku než ve vegetaci či vzduchu, proto je půdní fáze tohoto koloběhu klíčovým faktorem (Schnitzer a Khan, 1978; Vopravil a kol., 2010).

Rozklad organických látek, který probíhá v rámci koloběhu, je složen z více kroků, které na sobě nemusí být vždy závislé. Rozklad můžeme rozdělit na aneobní a aerobní. Záleží na dostupnosti kyslíku a na tom, jaké mikroorganismy se rozkladu účastní (Brady a Weil, 2008; Guimarães a kol., 2013).



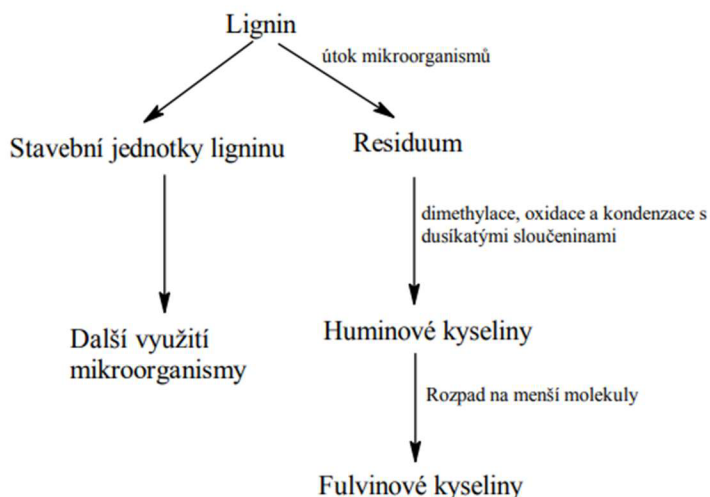
Obrázek 4 – Schéma globálního cyklu uhlíku na Zemi, zdroj: Šimek a kol., 2019

### 3.1.3 Humus

Humus je konečným produktem rozkladu a resyntézy organických látek v půdě. Můžeme ho popsat jako složitou směs stabilních amorfních a koloidních organických látek vznikající mikrobiálním rozkladem a syntézou z primární organické hmoty, která je svými vlastnosti zásadní pro řadu procesů probíhajících v půdě i pro výživu rostlin. Humifikované organické látky vznikají za přispění mikroorganismů procesem humifikace. Optimálně probíhá v podmínkách střídání omezeného přístupu vzduchu

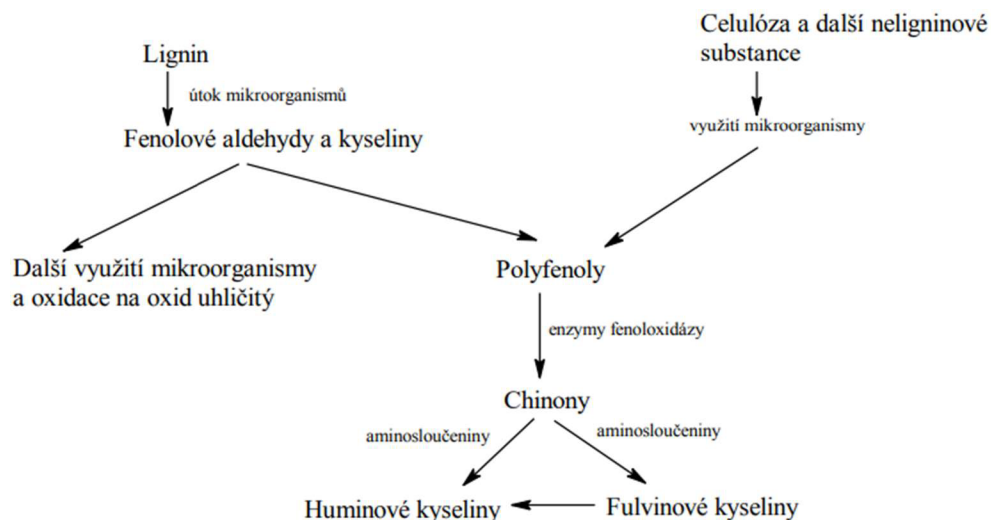
(rozkladná fáze) a aerace (syntetická fáze), důležitý je i chemismus prostředí, kdy příznivá je půdní reakce blízká neutrálním hodnotám a dostatek bazických iontů (Šimek a kol., 2019). Rozklad organických látek je provázen i mineralizací, při které vznikají anorganické látky, využívané dále mikroorganismy a rostlinami nebo absorbované na půdních koloidech. Uvolňován je rovněž oxid uhličitý. Mineralizace postihuje jak humusotvorný materiál, tak i humifikované organické látky; v tomto případě se jedná o velmi pomalý proces. Při humifikaci dochází k tvorbě nových a velmi složitých organických látek. Jedná se o tzv. trvalý humus (Huleš a Vrba, 2006).

Vznik humusových látek transformací meziproductů ligninu (ligninové teorie) by měl převládat ve vlhkých půdách. Ligninová teorie (obrázek 5) popisuje vznik huminových látek skrze tzv. modifikovaný lignin, vznikající primárním rozkladem neligninových vláken. Z takto vyextrahovaného ligninu, dále melaninu a kutinu vznikají dalšími přeměnami vysokomolekulární huminy. Ty jsou následně oxidací postupně přeměňovány přes huminové kyseliny na fulvokyseliny a dále ještě na menší molekuly. Pokud budeme stále pokračovat v degradačním mechanismu, jsou tak huminové látky postupně a velmi pomalu rozloženy na vodu a oxid uhličitý (Pivokonský, a kol., 2010).



Obrázek 5 – Znáornění Ligninové teorie, zdroj: Bursáková, 2011

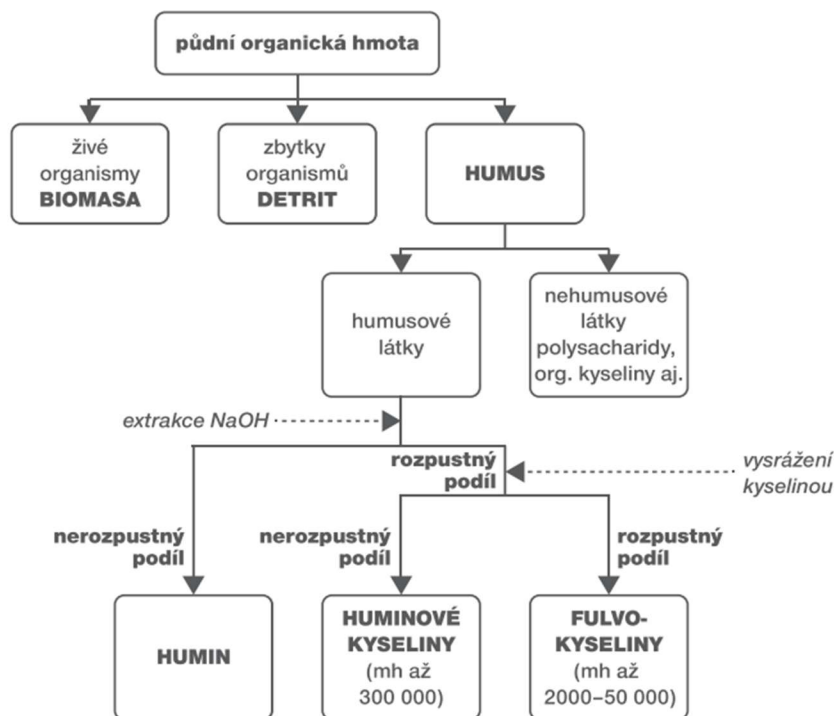
Polyfenolová teorie (obrázek 6) předpokládá, že rostlinná tkáň je nejprve degradovaná na malé molekuly (karboxylové kyseliny, fenoly a další) z nichž poté polymerací vznikají chinony a z nich dále humusové látky, přičemž nejdřív vznikají fulvokyseliny, poté huminové kyseliny a nakonec huminy (Pivokonský, a kol., 2010).



Obrázek 6 – Znázornění Polyfenolové teorie, zdroj: Stevenson, 1994

Humusové látky jsou chápány jako volně vázané supramolekulární asociáty. Je možné si je představit jako malé molekuly různého původu, stabilizované slabými ne vazebnými interakcemi, které jsou samovolně organizované do supramolekulárních konformací (Pivokonský a kol., 2011).

Humusové látky lze klasifikovat podle jejich odolnosti k rozkladu a rozpustnosti v různých sloučeninách huminy, huminové kyseliny a fulvokyseliny (obrázek 7). Tyto látky představují komplex organických sloučenin tmavohnědé až světležluté barvy, různě rozpustné v kyselinách a zásadách (Nardi a kol., 2016; Sotáková, 1982).



Obrázek 7 – Rozdělení organických látek v půdě a klasifikace humusových látek, zdroj: Šimek a kol., 2019

### 3.1.3.1 Huminové kyseliny

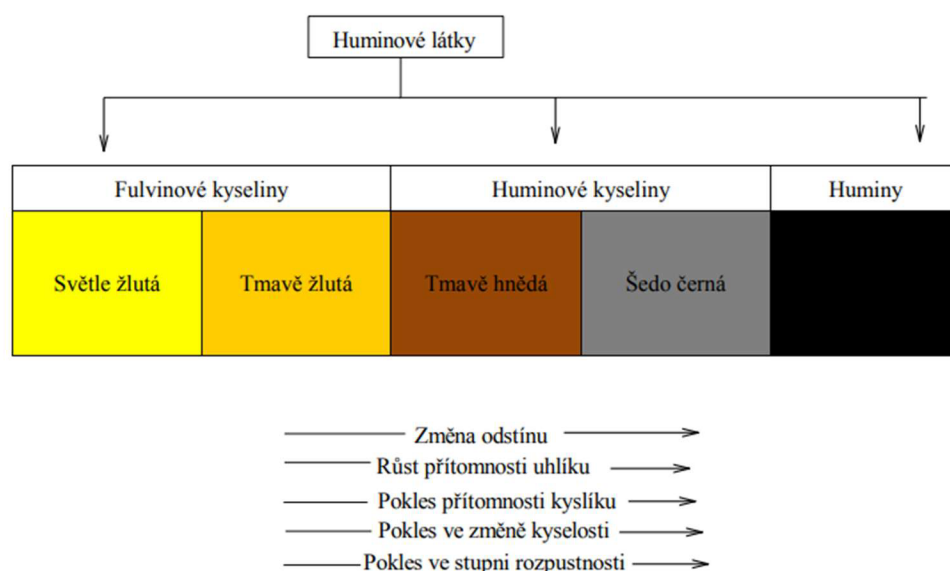
Jedná se o typ humusové sloučeniny, která je rozpustná v zásaditých rozpouštědlech, ale nerozpustná ve vodě a kyselých podmínkách. Huminové kyseliny jsou charakteristické svou tmavě hnědou až černou barvou (obrázek 8). Jedná se o vyzrálé, hydrofobní, v půdě nepříliš mobilní humusové látky s vysokým podílem aromatických součástí. Mají vysokou sorpční schopnost, jsou poměrně stabilní a celkově působí v půdě příznivě. (Huleš a Vrba, 2006; Kim, 2003).

### 3.1.3.2 Fulvokyseliny

Oproti huminovým kyselinám jsou fulvokyseliny rychleji rozložitelné, rozpustné ve vodě, v loužích a kyselinách. Jsou silně hydrofilní, a tedy i v půdě značně pohyblivé, což může způsobovat vyplavování na nich vázaných látek a živin. Mají světlejší barvu než huminové kyseliny a jsou také kyselejší. Celkově v půdě působí méně příznivě než huminové kyseliny. Poměr huminových a fulvokyseliny je jedním ze základních parametrů kvality humusu. (Huleš a Vrba, 2006; Kim, 2003).

### 3.1.3.3 Huminy

V podstatě se jedná o huminové kyseliny, které jsou pevně vázané na minerální podíl půdy, a to zejména na jílové minerály typu montmorillonitu, což vysvětluje jejich velkou odolnost vůči kyselinám a mikroorganismům. Huminy jsou nerozpustné v zásadách a kyselých rozpouštědlech. Jsou bohaté na minerální složky (Huleš a Vrba, 2006).



Obrázek 8 – Barevná škála huminových kyselin, zdroj: Weber a Michalczyk, 1997

Humus se podle reakce a sorpční nasycenosti se dělí na kyselý, sorpčně nenasycený humus (tvořený převážně z fulvokyselin a některých huminových kyselin,

nepříznivě ovlivňuje půdní pH v půdním profilu je pohyblivý), na neutrální, sorpčně nasycený humus (tvoří jej některé huminové kyseliny a dále sodné a vápenaté humany, je nepohyblivý a nerozpustný, vyskytuje se ve formě formě gelů a v chemických vazbách, podporuje vodostálost půdních agregátů) a dále sodný (alkalický) humus s pH nad 8,3, který je tvořen ze sodných humanů, vzniká v zasolených a alkalických půdách a je pohyblivý a rozpustný (Šimek a kol., 2019).

### 3.2 Množství organické hmoty v půdě

Množství organické hmoty v půdě je silně proměnlivé a ovlivňuje ho řada faktorů, včetně podnebí, přirozené vegetace, textury, hydromorfních procesů či různých typů antropogenních zásahů do půdy a managementu (odvodnění, zpracování půdy, střídání plodin, hnojení).

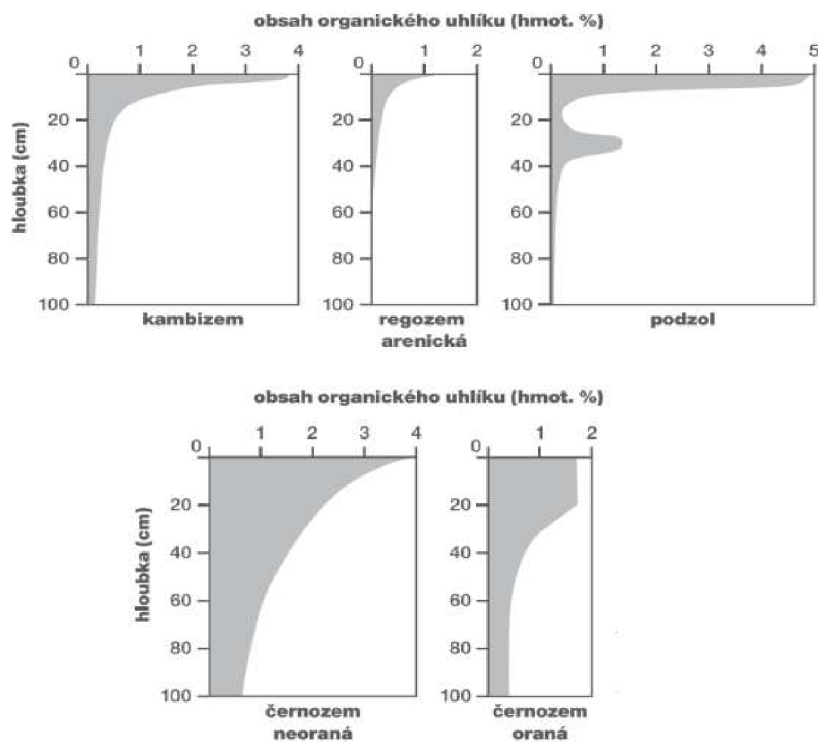
V případě podnebí záleží na teplotě a srážkách, které mají dominantní vliv na množství organické hmoty a dusíku v půdě. Vyšší teploty a nižší vlhkost vedou zpravidla k rychlejšímu obratu a mineralizaci organické hmoty, u obdobných půdních typů tedy roste obsah humusu se vzrůstající vlhkostí. Více primární organické hmoty se hromadí v půdách, které jsou vyvinuté pod travními porosty než například v lesích. To je dáno především hustou kořenovou sítí travní vegetace, prorůstající do větších hloubek. Naopak u lesních půd obsah organických látek s hloubkou rychle klesá (Šarapatka, 2014). Půdy s vyšším zastoupením jemnější zrnitostní frakce dosahují většinou vyšších hodnot obsahu organických látek než půdy lehké. To je dáno především vysokou promyvností a provzdušněním písčitých půd, a tedy i rychlejší mineralizací organické hmoty. Důležitým faktorem je i stagnace podzemní nebo srážkové vody v profilu či následné odvodnění. Špatně odvodňované půdy mají kvůli vysoké vlhkosti a špatnému provzdušnění vyšší obsah organické hmoty a dusíku než dobře odvodňované půdy. Pěstování plodin a zpracování půdy má také značný, často negativní, vliv na obsah organické hmoty. Především orba vedoucí k promíchávání a provzdušnění humusového horizontu vede ke zvýšené mineralizaci (Šimek a kol., 2019). Při intenzivním zpracování půdy tak může dojít k úbytku organické hmoty, který může být kompenzován vhodnou skladbou plodin s jarním a podzimním výsevem, který bude zajišťovat celoroční pokryv půdy, zařazením víceletých plodin, meziplodin a využitím organických hnojiv.

Tabulka 1 – Třídění půd podle obsahu humusu, zdroj: Šarapatka, 2014

Půdy	Lehké	Střední a těžké
bezhumózní	0	0
slabě humózní	< 1	< 2
středně humózní	1 -2	2 – 5

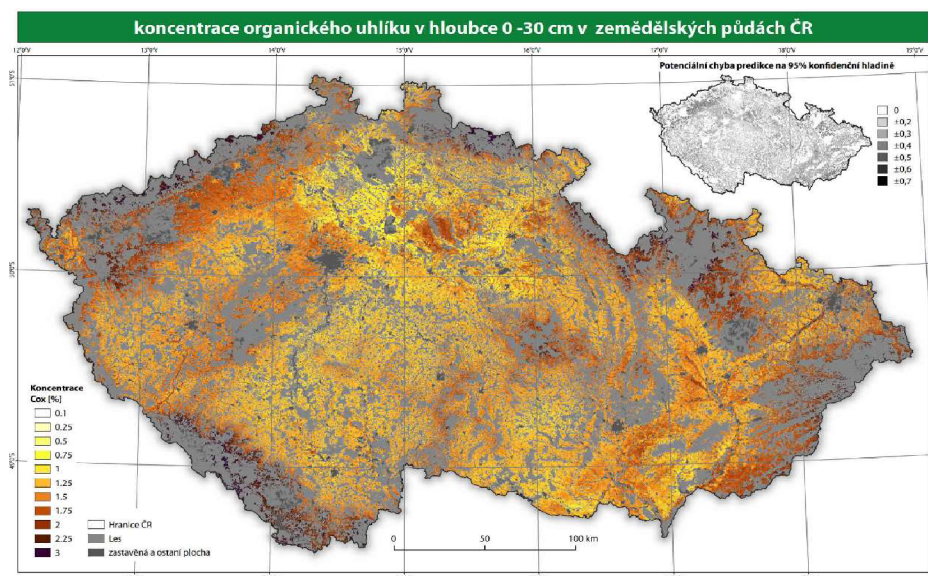
Obsah humusu v našich minerálních půdách dosahuje jednotek procent (tabulka 1) a výrazně se liší v závislosti na prostředí (podnebí, reliéf, hydromorfismus) a využití půdy (zemědělská, lesní, antropogenní). Stejně jako na samotný obsah organických

látek mají podmínky prostředí vliv na kvalitu a složení humusu, a to především na podíl huminových kyselin a fulvokyselin. Humus se v půdě, až na výjimky (např. podzol či šedozem), vyskytuje ve svrchní části půdního profilu, a to v humusových horizontech různé mocnosti (Šimek a kol., 2019). Obrázek 9 ukazuje modelovou distribuci humusu u některých našich půd.



Obrázek 9 – Rozložení obsahu organického uhlíku v profilu různých půd, zdroj: Šimek a kol., 2019

Předpokládané koncentrace organického uhlíku ve svrchních horizontech zemědělských půd v ČR ukazuje obrázek 10.

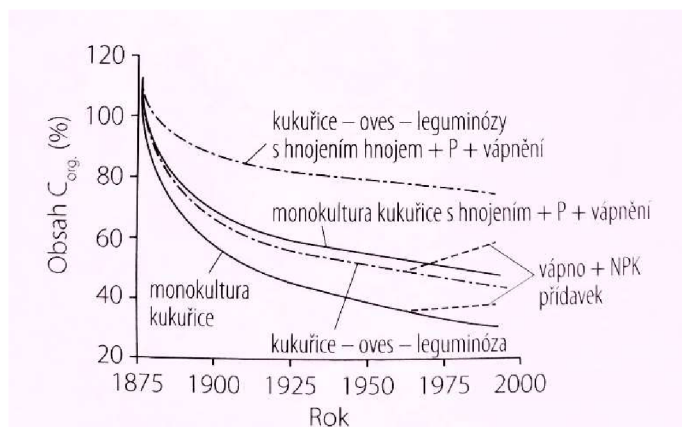


Obrázek 10 – Mapa koncentrace organického uhlíku ve svrchní vrstvě zemědělských půd v ČR, zdroj: Žížala a kol., 2020



### 3.2.1 Vliv managementu půd na množství organické hmoty

Snížující se obsah  $C_{org}$  je závažný problém, který trápí značnou část evropské půdy (Šimek a kol., 2019). Částečně k tomuto nežádoucímu jevu přispívá i obhospodařování půdy, především intenzivní zemědělství. Humusové látky jsou tvořeny v dlouhodobém časovém horizontu, nevhodnými zásahy lze však jejich zásoby poměrně rychle vyčerpat (Šimek a kol., 2019). Je tomu především proto, že v přirozených ekosystémech se vrací většina biomasy zpět do půdy, v intenzivně využívaných agroekosystémech je značná část biomasy odváděna z půdního prostředí. Ke snižování obsahu humusu přispívá i zvýšená mineralizace vlivem provzdušnění při obdělávání půdy. Ztráta organických látek je také způsobena erozí, kdy dochází k odplavení ornice a humusu (Zádorová a kol., 2015). Je patrné, že pěstováním zemědělských plodin vracíme do půdy méně organických látek než přirozená vegetace. Obrázek 11 ukazuje změny v obsahu organické hmoty při různém způsobu managementu v původně stepním ekosystému (Šarapatka, 2014). U všech typů obdělávání i hnojení je patrný pokles koncentrace organické hmoty, některé typy managementu však ukazují méně výraznou ztrátu uhlíku. Je zřejmé, že vhodně volené způsoby obhospodařování směřují k zachování, či, u humusem méně bohatých půd, i k možnému zvýšení obsahu organické hmoty v půdě. Jedním z důležitých opatření zabráňujících ztrátám humusu je pravidelné dodávání organických látek do půdy, a to především ve formě organických hnojiv, kompostů či zeleného hnojení (Šarapatka, 2014; Šimek a kol., 2019; Voltr, 2011).



Obrázek 11 – Změny obsahu půdní organické hmoty při různém způsobu zemědělského obhospodařování, zdroj: Šarapatka, 2014

Významný vliv na vývoj zpracování půdy, a tedy i množství organické hmoty v půdě, měly výrazné politické a hospodářské změny od 2. poloviny 20. století došlo k radikální změně v držbě, a vlastnictví půdy a řízení zemědělství. Soukromé vlastnictví půdy bylo omezeno anebo zrušeno a podle sovětského vzoru byla násilím budována zemědělská družstva nového typu (Beranová a Kubačák, 2010). V Čechách byly zaznamenány extrémní změny v držbě půdy, velikosti polí a způsobu obhospodařování. Tento trend nemá obdoby ani v rámci jiných postkomunistických států. Průměrná velikost pozemku v roce před rokem 1950 činila 0,2 ha, v roce 1990 už to bylo 20 ha a výjimkou nejsou ani sto hektarové pozemky. Velikost zemědělských

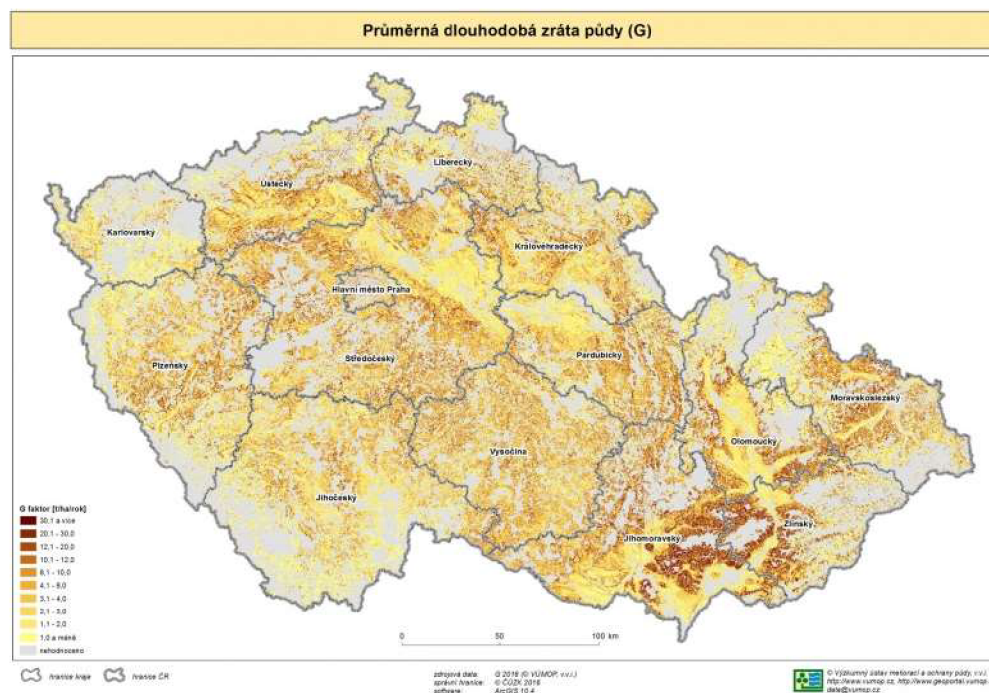
podniků se zvýšila 50x (Lipský, 2001). Vyvlastňování a kolektivizace začaly v 50. letech 20. století, ale konečného stavu scelování pozemků s maximální výměrou polí bylo dosaženo v 70.- 80. letech 20. století. Ruku v ruce s nárůstem výměry polí šla devastace liniových a bodových krajinných prvků (meze, aleje, cesty, solitérní stromy), které byly dosud přirozenou součástí zemědělské krajiny s protierozní funkcí. S příchodem modernizace strojů dochází k provozu těžké techniky na půdách, které mohou způsobovat i negativní vliv v podobě eroze (Lipský, 2001; Zádorová a kol., 2023).

Po roce 1989 dochází ke změně majetkoprávních vztahů a držby půdy, byť většina pozemků nadále zůstává sdružena v rámci zemědělských družstev. Protierozní a další půdoochranná opatření cílí na omezení degradačních vlivů na půdu, včetně ztráty organické hmoty. Negativním vlivem, provázejícím značný útlum živočišné výroby, je pokles hnojení půdy statkovými hnojivy (Šimek a kol., 2019).

### **3.2.1.1 Eroze**

Jedním z problémů, který ovlivňuje množství organické hmoty, je eroze. Eroze může vzniknout působením větru, vody, pojezdů těžké techniky (eroze orbou), ledu a dalšími činiteli. K erozi dojde při rozrušení povrchu, následně transportu půdních částic a jejich usazování. Nejsnadněji jsou transportovány jemné a lehké půdní částice, včetně organických látek, a to především pokud je porušena stabilita půdní struktury a organické látky jsou slaběji vázány v půdních agregátech (Zádorová a kol., 2023). Nejvíce rozšířená eroze je vodní, která ohrožuje Českou republiku v 50 % ploch (obrázek 12) (Žížala a kol., 2020). Vodní eroze způsobuje povrchový i koncentrovaný odtok, zasahuje tak svrchní vrstvu půdy i podorničí. Značné přesuny půdního materiálu způsobuje i větrná eroze, a to především v sušších oblastech. Eroze orbou, při které dochází k přesunu materiálu během agrotechnického zpracování půdy, přispívá k celkové erozi na zemědělské půdě 20–30 % a její objem se silně zvýšil v posledních 70 letech vlivem používání těžké zemědělské techniky. Její dopady jsou v terénu viditelné v odlišných částech svahu než v případě vodní eroze, především na hranách vrcholových partií svahů (Žížala a kol., 2021). Eroze je přírodní proces a nelze jej zcela eliminovat, ale je možné ho výrazně omezit a tím i zastavit znehodnocování půdního fondu České republiky a ztrátu organické hmoty (Kvítek a Tipl, 2003; Novotný a kol., 2014).





Obrázek 12 - Průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí v České republice, zdroj: Žižala a kol., 2020

### 3.2.1.2 Orba

Do konvenčního zpracování půdy spadá orba, která je základním opatřením a má celkový vliv na stav půdy. Aby orba mohla splňovat základní podmínky, musí být provedena při vhodné vlhkosti půdy. Vhodná vlhkost se u jednotlivých půd liší. U těžkých půd by se měla vlhkost pohybovat v rozmezí 14-18 %, u středních 18-20 %, a u lehkých půd vlhkost není zásadně rozhodující. Hlavním cílem orby je kypřit půdu (zvyšovat pórovitost a provzdušnění půdy), mísit ornici (mísit zaorávaný materiál s hnojem nebo se zeleným hnojením), zapravit rostlinné zbytky se slámou a plevem hluboko do půdy a vynést splavené živiny a koloidní částice ze spodních vrstev ornice. Orbu lze také rozdělit dle doby provedení, a to na jarní, letní, podzimní a zimní orbu. Důležitá je i hloubka provedení orby. Hloubka je volena dle plodiny, která bude v osevním postupu. Hloubka ornice se pohybuje okolo 15-35 cm a je možné jí rozdělit do čtyř kategorií: mělká (do 20 cm), střední (20-25 cm), hluboká (25-30 cm) a velmi hluboká (nad 30 cm). U okopanin, které jsou jako předplodiny, se hloubka pohybuje okolo 16-25 cm (Vostal a Zitta, 1999). V případě pěstování cukrové řepy, hojně pěstované v zájmové oblasti, je nejčastějším způsobem zaorání slámy s hnojem či kejdou střední orbou ihned po sklizni předplodiny a s následnou říjnovou hlubokou orbou, přičemž hluboká orba se u cukrovky pohybuje mezi 24-30 cm. Dalším možným prvkem v podzimním zpracování půdy je na některých půdách kypření (podrývání či dlátování) do hloubky 40–45 cm. V minulosti byla tato velmi hluboká u cukrovky poměrně běžná (Chochola, 2010).

Primárně orba způsobuje zvýšené provzdušnění svrchní části profilu, vedoucí ke zvýšené mineralizaci. U některých půd (lehčích či středně těžkých) lze ke zmírnění

tohoto jevu využít minimální zpracování půdy či bezorebné systémy bez kypření půdy. Kromě zvýšení mineralizace může orba působit i tzv. *priming effect*. *Priming effect* je jev, při kterém dochází ke krátkodobé, ale výrazné změně v obratu půdní organické hmoty (Šimek a kol., 2019). Půdní organická hmota obsahuje pouze malé množství labilního uhlíku, který slouží jako zdroj energie pro půdní mikroorganismy. Proto je rozklad organické hmoty poměrně pomalý. Přisunem čerstvé organické hmoty (např. kořenové exsudáty, nová opadanka, posklizňové zbytky) napomáháme tvorbě nového zdroje energie ve formě snadno dostupného (labilního) uhlíku. Ke stejnému efektu dochází například u zorání půd, kdy se zpřístupní dosud nedostupný uhlík z anaerobních mikroprostředí. Tímto impulsem získávají mikroorganismy dostatek energie nejen na rozklad čerstvé labilní organické hmoty, ale i stabilně vázaných humusových látek. Důležitou roli hraje množství přidaného uhlíku. Pokud je do půdy přidáno maximálně 15% obsahu uhlíku v mikrobiální biomase, bude následovat lineární nárůst rozkladu půdní organické hmoty, a tedy i produkce CO<sub>2</sub>, jedná se o *pozitivní priming effect*. Pokud však bude přidáno okolo 50% obsahu uhlíku v mikrobiální biomase, dojde k opačnému výsledku a bude se jednat o *negativní priming effect*, u kterého může dojít k poklesu až do negativních hodnot produkce CO<sub>2</sub> (Šimek a kol., 2019).

### 3.2.1.3 Hnojení půd

Pravidelné doplňování organických látek do půdy je základem pro každou soustavu hnojení. Při nevyrovnané bilanci organických látek v půdě dochází ke snížení obsahu humusu a následně k výraznému zhoršení půdních vlastností. Z toho důvodu je důležité udržovat bilanci pomocí organických hnojiv, které zabezpečují přísun organických látek a plní i další funkce:

- omezují působení vodní a větrné eroze
- pozitivně ovlivňují obsah připustného fosforu v půdě
- zlepšují hydričké vlastnosti půdy (zvyšují vsak dešťové vody, umožňují gravitační a kapilární pohyb vody)
- obsahují dostupné rostlinné živiny

Výsledkem pravidelného hnojení pomocí organických látek je trvalý růst uhlíkatých látek v půdě. Díky tomu jsou půdy chráněny před mineralizací humusové složky a jsou zlepšovány všechny faktory půdní úrodnosti. Důležitým faktorem je i to, že organická hmota obsažená v organických hnojivech je zpravidla vyžrálá, a tedy i lépe odolává rozkladným procesům (Richter a Kubát, 2003; Šimek a kol., 2019).

Jako organická hnojiva označujeme substráty produkované přímo v zemědělské výrobě (statková hnojiva) i v průmyslu a dalších výrobních činnostech (např. odpadní kaly) (Richter a Kubát, 2003).

Chlévský hnůj je hlavní a nejčastěji využívané organické hnojivo. Jedná se o zahuštěnou směs podestýlky s tuhými a tekutými výkaly hospodářských zvířat. Teprve

fermentací (zráním) vzniká chlévský hnůj. Chlévský hnůj obohacuje půdy o snadno rozložitelné uhlikaté a dusíkaté látky, které jsou zdrojem energie a přístupných forem dusíku i ostatních živin. Obsahuje růstové látky jako je heteroauxin (Hlušek, 2004).

Sláma je dalším významným organickým hnojivem. Dle plodin obsahuje v průměru 80 % organických látek, které podléhají rozkladu (mineralizaci). Nedostatek organické hmoty v půdě jde vyřešit zaoráním drcené slámy. Sláma je významná i pro vznik trvalého humusu. Důležitou roli hrají chemické vlastnosti slámy, které vyžadují přesné dodržování určitých zásad, aby hnojivý efekt byl co nejvyšší (Richter a Kubát, 2003).

Močůvka je zkvašená moč ustájených hospodářských zvířat, která je zředěna vodou (povrchovou, dešťovou, napájecí anebo splachovací). Produkce močůvky závisí hlavně na druhu zvířat, způsobu a době krmení, množství moče a druhu steliva. Díky chemickému složení řadíme močůvku k velmi účinným dusíkato-draselným hnojivům. Dusík je v močůvce obsažen hlavně ve formě močoviny (Richter a Kubát, 2003).

Kejda je definovaná jako částečně zkvašená směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv, s odlišným podílem technické vody. Kvalitní kejda je vysoce hodnotné organicko-minerální hnojivo. Je doporučována jako hnojivo k plodinám s delší vegetační dobou, jako jsou okopaniny, pícniny, zelenina. Složení kejdy je vždy velmi rozdílné, a to především díky technologické vodě (Richter a Kubát, 2003). Kvalita kejdy se odvíjí od kvality skladování délky skladování. Ideální doba je 4-6 měsíců (Babička a Poustková, 2009).

Problémem při využití organických hnojiv je výrazný pokles živočišné produkce po roce 1989 a tedy i nedostatek chlévské mrvy. Jak můžeme vidět v tabulce 2 došlo k velkému úbytku produkce statkových hnojiv, a to na základě stavu chovaných hospodářských zvířat. Největší pokles byl zaznamenán u hnoje a močůvky.

Tabulka 2 – Odhad produkce statkových hnojiv (mil. t) v ČR, zdroj: VÚRV, v.v.i.

	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007
Hnůj*)	26,2	25,6	15,6	12,4	10,9	10,7	10,8
Močůvka	13,3	13,1	8,0	6,3	5,5	5,4	5,5
Kejda	11,9	12,4	9,0	8,1	6,5	6,3	6,4
Drůbeží trus	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

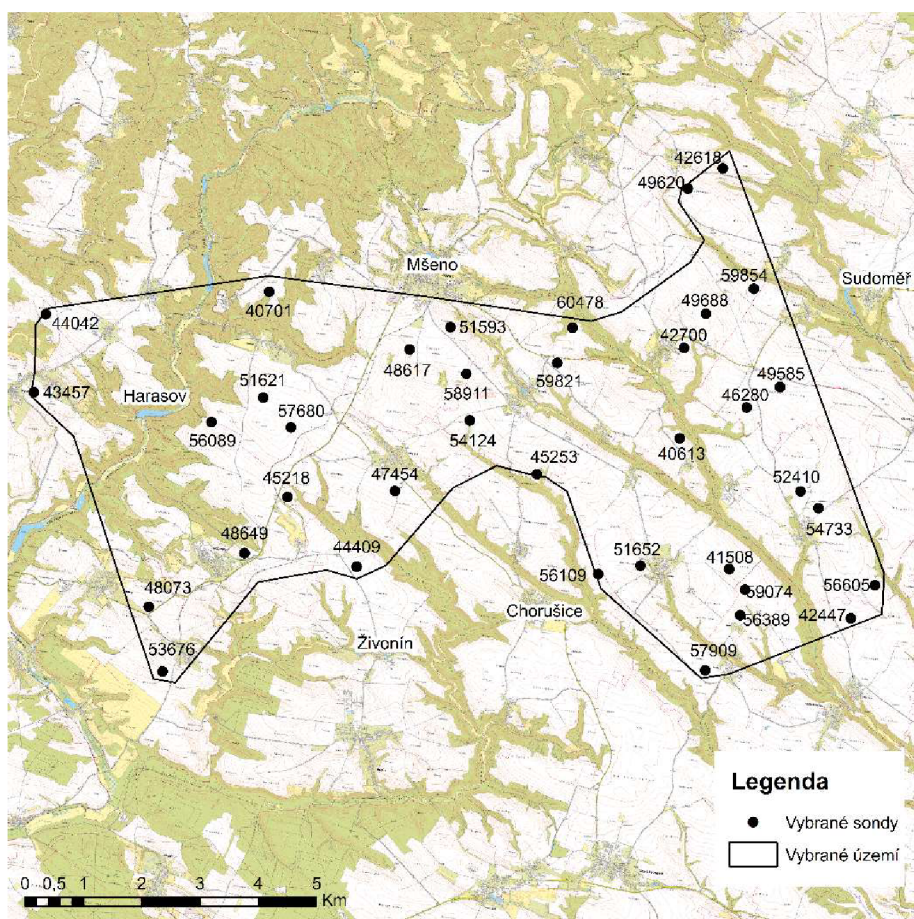


## 4 Materiál a metody

### 4.1 Popis zájmového území

#### 4.1.1 Základní charakteristika

Sledované území (obrázek 13) leží ve Středočeském kraji v okrese Mělník, v okolí regionálního centra Mšeno. Mšeno je vstupní branou do CHKO Kokořínska. Celý okres Mělník se rozkládá na ploše 70 007 ha, z toho 48 923 ha je využíváno jako zemědělská půda. Zájmové území zaujímá výměru 6 906 ha. Nejvyšším bodem je Vrátnská hora (508 m.n.m.), která leží ve východní části CHKO Kokořínsko zhruba 5 km od města Mšeno. Průzkum byl prováděn na území JZD a státních statků Skalsko, Sedlec, Bosyně, Ostrý, Kokořín, Živonín, Střemy, Velké Všelisy. Území okresu Mělník náleží ke třem hlavním povodím: dolní Vltava, střední Labe, dolní Labe, zájmové území se nachází v povodí Pšovky (Komplexní průzkum zemědělských půd ČSSR 1968; Penížek 2019; CENIA).



Obrázek 13 – Topografická mapa vybraného území, autor: Kristýna Klípková; zdroj CENIA (dostupné z: <http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA>)

### 4.1.2 Klimatické podmínky

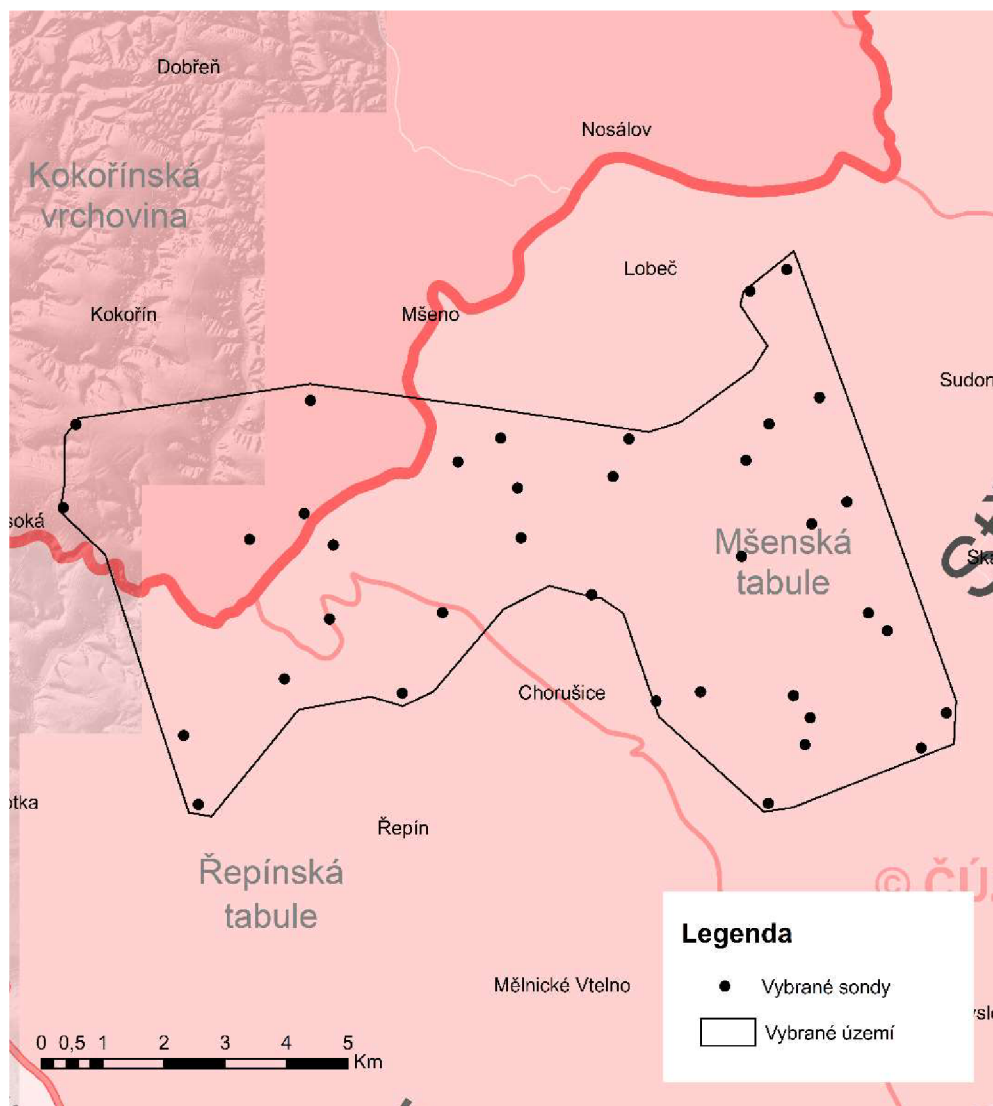
Oblast patří do klimatického pásu B, který je mírně teplý, konkrétně se na jejím území vyskytují dvě klimatické oblasti, a to B1 a B3. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 9.3°. Roční úhrn srážek se mezi lety 1961-2013 pohyboval v rozmezí 395–879 mm, v průměru 584 mm (stanice Dubá; [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)). Největší úhrn srážek v celoročním průměru je v červenci (průměr 74 mm), naopak nejsušším měsícem je únor (průměr 37 mm). Jižní část okrsku je nejvíce postižena znečištěním ovzduší, a to kouřovými plyny, továrními exhalacemi, prachem, popílkem a dalšími škodlivými látkami. Hlavním zdrojem znečištění ovzduší jsou průmyslové závody v obcích Kralupy, Tišice, Mělník, Úžice a další (Němeček a kol., 1967; web Cenia, dostupné z: <http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA>).

### 4.1.3 Geomorfologie a geologie

Z geomorfologického hlediska (obrázek 14) spadá vybrané území do Severočeské tabule, které je dále rozčleněna povodími řek Jizery, Labe a Ploučnice. Následně je Severočeská tabule členěna na Ralskou a Jičínskou pahorkatinu (Demek a kol., 2006). Oblast je tvořena tabulemi z křídových hornin, které jsou ve středních částech uloženy horizontálně až subhorizontálně a na okrajích jsou zdviženy. Velká část území je tvořena erozně denudačním reliéfem s rozsáhlými výškově rozdílnými plošinami. Z geologického hlediska se jedná o celek České křídové pánve formované v průběhu rozsáhlé křídové mořské transgrese a sedimentace materiálu v mělkém moři. Spodní část je převážně tvořena pískovci. Významné uplatnění jílovců a slínovců (místy až vápenců) můžeme nalézt ve střední části. Svrchní část bývá znovu tvořena pískovcem. Díky tomu pískovce křídové pánve tvoří největší zásobárnu pitné vody v Českém masivu (Chlupáč a kol., 2002).

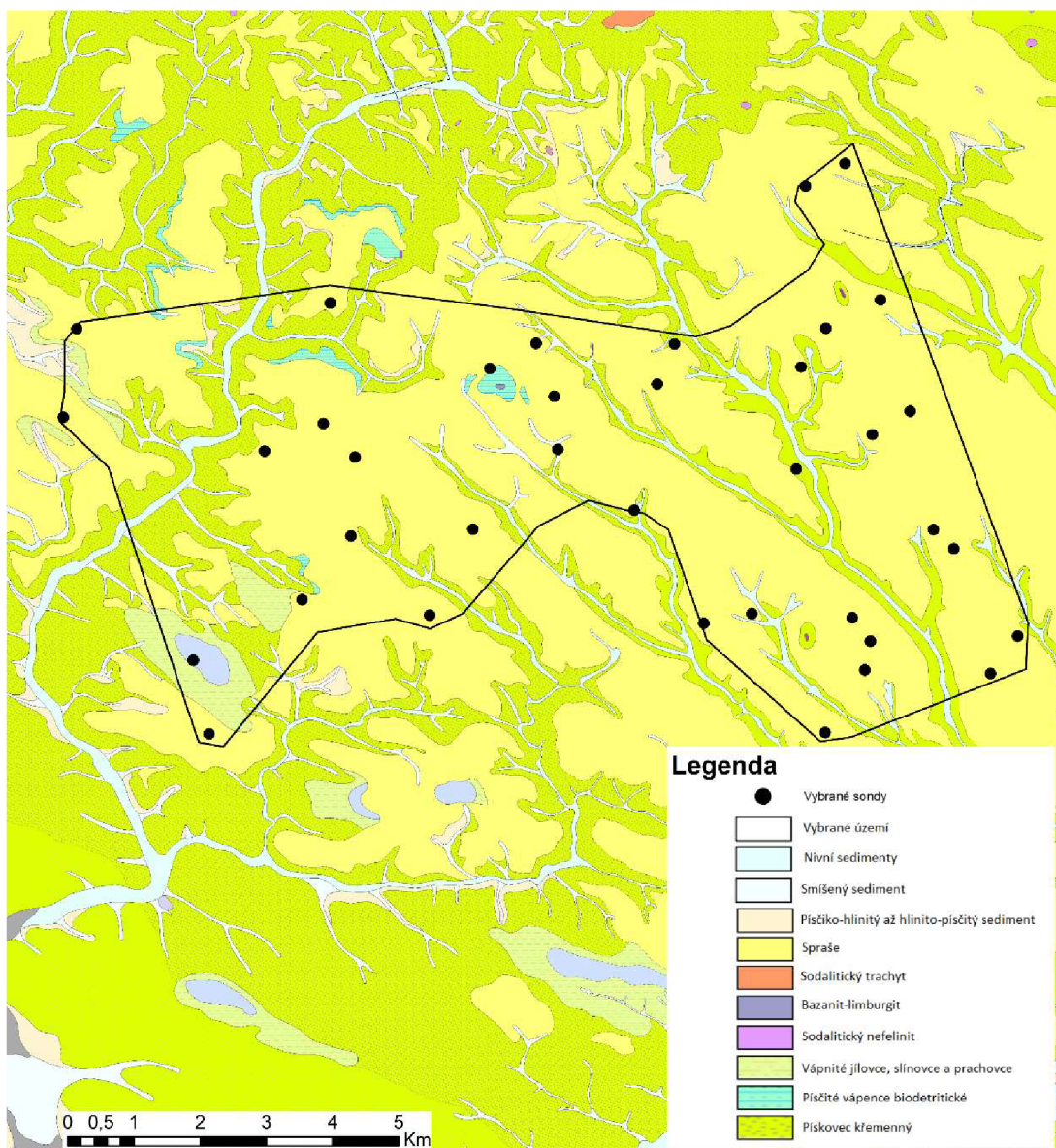
Vývoj půd byl ve velké míře ovlivněn geologickou skladbou, která tvoří stanovištní rozdíly (obrázek 15). V severní části můžeme nalézt zvětraliny křemitých pískovců, kde je jejich vývoj půd ovlivněn kyselou půdní reakcí a přítomností opadu z jehličnatých stromů. Střední a východní část je převážně pokryta sprašemi nebo popř. sprašovou hlínou. V nižších polohách se na nich projevuje slabší proces illimerizace, který s rostoucí nadmořskou výškou a srážkami zvyšuje svou intenzitu. Tomu odpovídají i převažující půdní jednotky. V některých místech jsou sedimentární horniny prostoupeny neovulkanity (Penížek a kol., 2019).

Odebrané vzorky konkrétně leží ve třech oblastech. Největší část odebraných vzorků se nachází v Mšenské tabuli, dále v Kokořínské vrchovině a Řepínské tabuli (obrázek 14).



Obrázek 14 – Mapa vybraného území s vyznačenými geomorfologickými jednotkami, autor: Kristýna Klípová; zdroj: ČÚZK (dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>)





Obrázek 15 – Geologická mapa území, autor: Kristýna Klířová; zdroj: Česká geologická služba, Geologická mapa 1:50 000(dostupné z: <https://mapy.geology.cz>)

#### 4.1.4 Hydrologické poměry

Hydrologické podmínky okresu závisí na atmosférických srážkách během roku a jejich součinnosti s různými půdotvornými substráty a rozmanitou členitostí povrchu. Území okresu náleží ke třem dílčím povodím, a to dolní Vltava, střední Labe a dolní Labe. Jihozápadní část okresu je odvodněna převážně Vltavou. Pouze malou část odvodňuje Zákolánský a Bakovský potok. Jihovýchodní část odvodňuje Labe. V oblasti Kokořinska jsou hlavními toky Pšovka a Liběchovka, v jejichž povodí jsou vytvořeny významné mokřady, chráněné Ramsarskou úmluvou. Hlavními toky, odvodňujícími zájmové území, jsou Pšovka ve východní části a Košátecký potok ve střední a západní části. Obecně je hydrologická síť v širší oblasti, především v důsledku převahy

silně propustných pískovcových hornin, poměrně řídká a celá větší území jsou bez trvalejšího toku. Skoro celé území je tak závislé na atmosférických srážkách. Hladina podzemní vody je na většině území velmi hluboko (Němeček a kol., 1967).

#### 4.1.5 Rostlinstvo

Je to botanicky pestré území, které se nachází na kontaktu termofytika a mezofytika, kde se potkávají teplomilné druhy středočeské nížiny, podhorské druhy i vlhkomilná polabská flóra. V mokřadech a údolích či na dně inverzních roklích se vyskytují vzácné druhy rostlin a unikátní fauny bezobratlých živočichů (Albrecht, 2005; Němeček a kol., 1967).

V současnosti je celá oblast intenzivně zemědělsky využívaná, především na srašových plošinách se nachází rozsáhlé plochy orné půdy. Svažité pozemky pokrývají druhově bohatší louky. Původně se vyskytující dubohabrové lesy, teplomilné či kyselé doubravy na pískovcích, a bučiny na vyvřelých horninách, byly nahrazeny převážně borovými a smrkovými porosty (Albrecht, 2005; Němeček a kol., 1967).

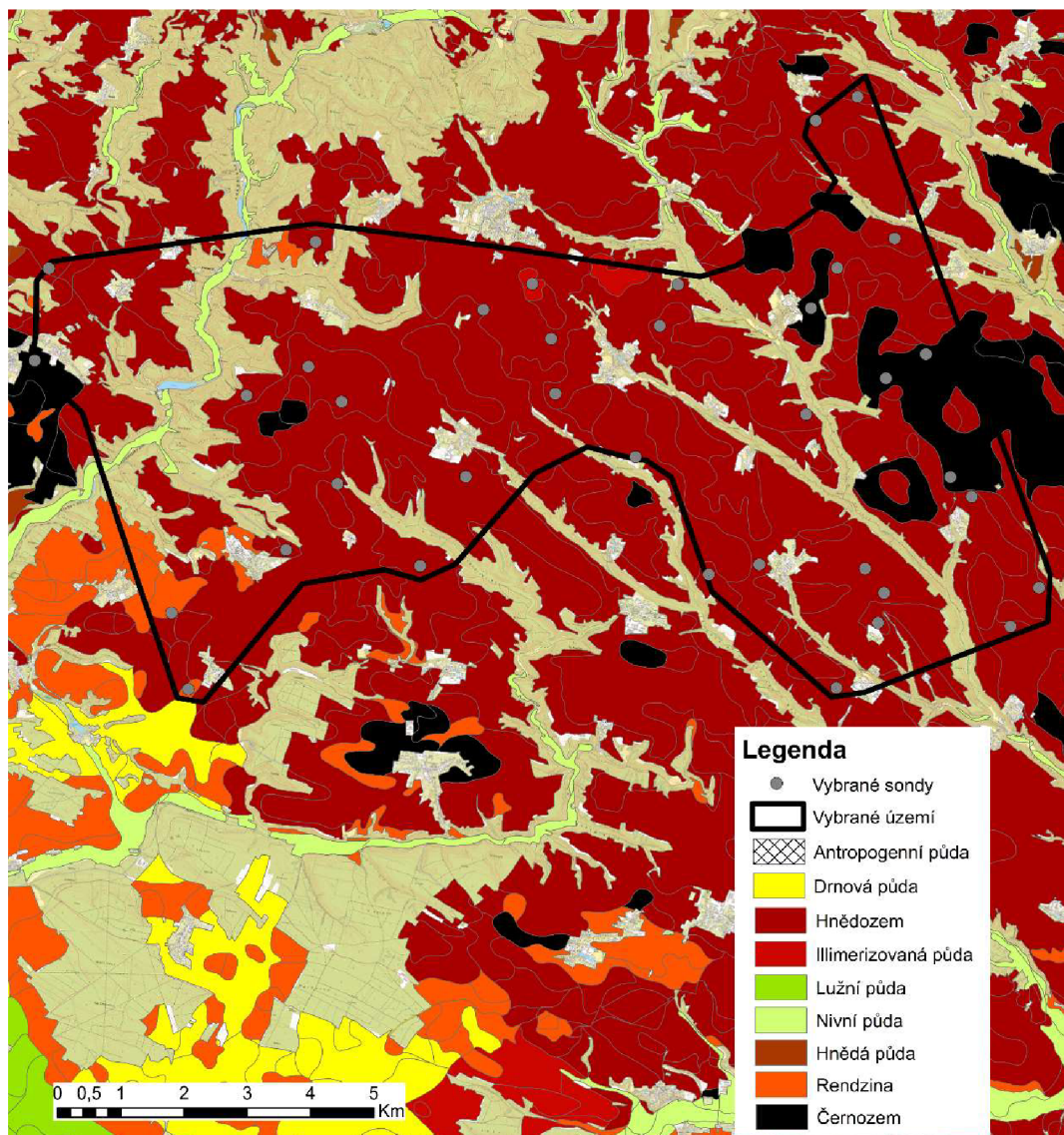
V blízkosti se nachází chráněná krajinná oblast Kokořínska. Flóra zmíněné oblasti je poměrně chudá, botanicky atraktivnější jsou zejména ostrůvky bazických sedimentů nebo potoční nivy. Nejvíce zastoupenou vegetační jednotkou, která je vázaná na hrany pískových údolí a na skalnaté svahy, jsou borové doubravy s brusinkou obecnou, borůvkou červenou a smldníkem olešníkovitým. V mokřadech Liběchovky a Pšovky dominují údolní jasanovo olšové luhy, pcháčové louky a rákosiny (Albrecht, 2005; Němeček a kol., 1967).

#### 4.1.6 Půdní poměry

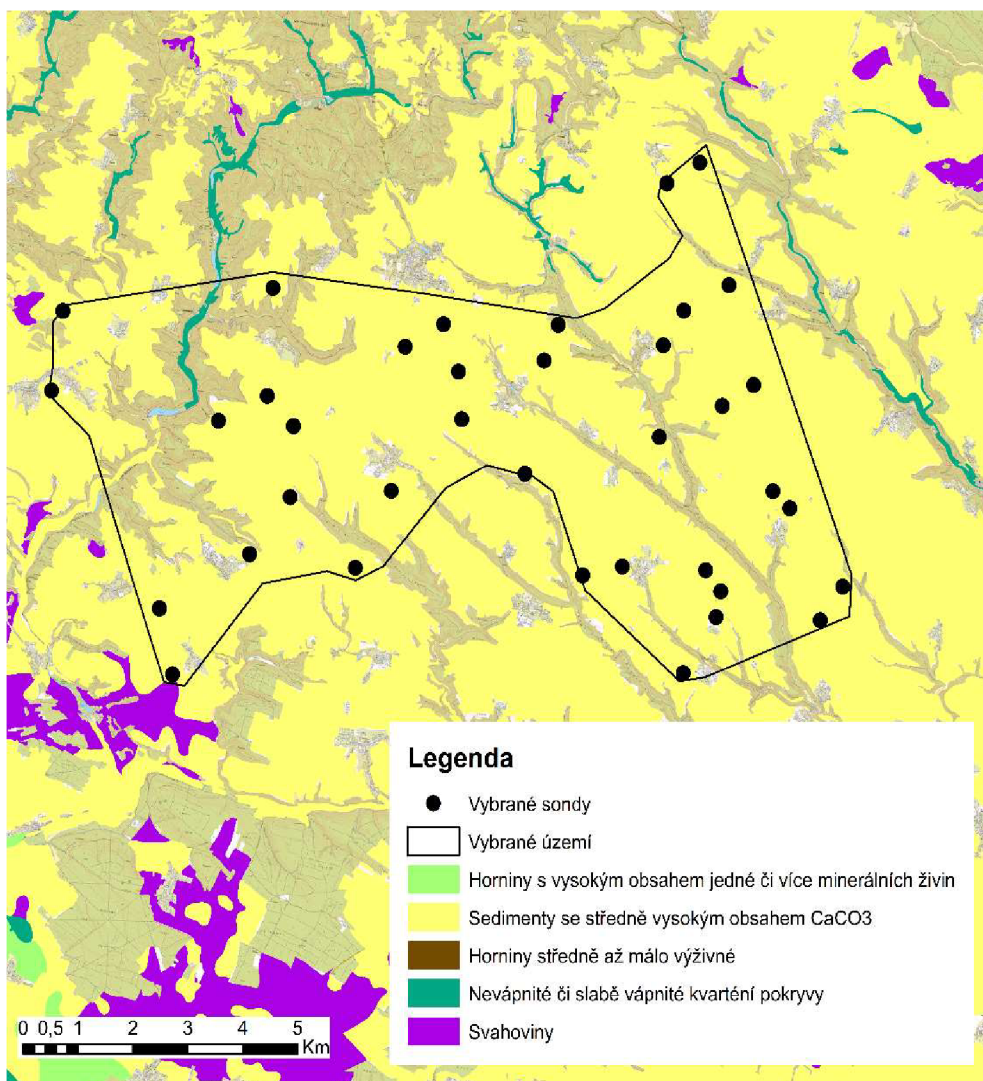
Nízko položené oblasti jsou ve velké míře tvořeny především srašovými pokryvy, které svými vlastnostmi umožňují vývoj ze zemědělského hlediska kvalitních půd. V nejnižších, srážkové nejméně bohatých partiích zájmového území nacházíme především černozemě s hlubokým, humusem bohatým černickým horizontem. Černozem je nejurodnějším typem našich půd a pěstuje se na ní především pšenice, kukuřice a cukrová řepa, pro oblast Mělnicka typická. Dominantní půdní jednotkou zájmového území jsou ovšem půdy vzniklé procesem illimerizace, který odpovídá vyššímu přísunu srážek, vyluhování uhličitanu vápenatého z profilu a následné mobilizaci a transportu koloidního jílu. Nejčastěji se vyskytujícím půdním typem je hnědozem modální, ve vyšších částech území illimerizovaná (obrázek 16). Humusový horizont různé mocnosti je nejčastěji šedohnědé barvy, s drobtovitou strukturou a zmitostním složením písčitohlinitým až hlinitým. V oraných půdách přechází A horizont přímo do horizontu Bt, protože eluviální, o jíl ochuzený E horizont je běžně součástí ornice. Iluviální, o jíl obohacený



horizont různé mocnosti bývá polyedrické struktury, hlinitého až jílovitohlinitého zrnitostního složení a hnědého zbarvení s koloidními povlaky. Pod ním (či přechodným horizontem) následuje substrát tvořený nejčastěji spraší či sprašovou hlínou, v některých místech nepříliš mocnou a často nasedající na podložní pískovec. V menší části území se vyskytují intenzivněji illimerizované luvizemě s výraznějšími eluviálními horizonty. Kolem vodních toků vznikají fluvizemě, často s výraznými projevy hydromorfismu. V západní části území se nachází na výchozech karbonátosilikátových hornin pararendziny (Němeček a kol., 1967; Penížek a kol., 2019).



Obrázek 16 – Půdní mapa vybraného území s využitím podkladu Komplexního průřezu půd, autor; Němeček a kol., 1967



Obrázek 17 – Mapa půdních substrátů v dané lokalitě, autor: Kristýna Klířová; zdroj KPP, Němeček a kol., 1967

## 4.2 Datové podklady pro výzkum

Analyzovaná a srovnávaná data pochází ze dvou zdrojů. Prvním jsou výsledky analýz z výběrových sond historického průzkumu Komplexního průzkumu zemědělských půd ČSSR (KPP), realizovaného mezi lety 1961 a 1967 (Němeček a kol., 1967). Druhým zdrojem je aktuální průzkum prováděný v místech výběrových sond KPP, které byly vzorkovány a analyzovány postupy, které byly srovnatelné s postupy uvedenými v metodice KPP.

### 4.2.1 Komplexní průzkum půd

Komplexní průzkum půd je rozsáhlý, plošný, centrálně koordinovaný sběr údajů o půdě vedoucí ke zjištění stavu zemědělských půd na území ČSSR pro potřeby systematického zvyšování půdní úrodnosti. Proběhl v letech 1961–1970 na základě usnesení vlády. Na území zemědělských půd dnešní České republiky bylo během KPP vykopáno téměř 393 000 půdních sond tří kategorií, ze kterých byly posléze sestaveny mapy základních půdních vlastností na rozloze okolo 4,6 mil. ha. Půdní mapy byly vytvářeny v měřítku 1:10 000 (půdní mapa, kartogram zrnitosti, kartogram zúrodnovacích opatření) a 1:50 000 (půdní mapa, kartogram zrnitosti a kartogram půdotvorných substrátů) a představují detailní materiál o vlastnostech půdy, jejím režimu a poznatcích o využití. Česká republika má jeden z nejpodrobnějších průzkumů v takovém měřítku a rozsahu. Materiály komplexního průzkumu půd zahrnují: půdní mapy, průvodní zprávy JZD, průvodní zprávy okresu, polní půdní záznamy, analytické charakteristiky profilů, kartogramy. Metodika celého průzkumu byla sepsána do třech ucelených vydání (Němeček a kol., 1967).

Půdní sondy byly rozděleny do tří skupin dle podrobnosti vzorkování i zjišťovaných vlastností: základní (vzorkovány ornice a podorničí), výběrové a speciální (vzorkovány půdní horizonty). Pro sondy byly určeny všechny půdní znaky, a to zrnitost, skeletovitost, barva, konzistence půdy, půdní struktura, vlhkost, pórovitost a výskyty novotvarů či dalších specifických znaků. V laboratoři byly zjišťovány analytické vlastnosti, které v případě výběrových sond, využívaných v této práci, zahrnovaly obsah organického uhlíku, obsah karbonátů, výměnnou a aktivní půdní reakci, zrnitost, sorpční vlastnosti a obsah některých živin (Němeček a kol., 1967).

Databáze je v dnešní době přístupná na webových aplikaci Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd (VÚMOP) v digitalizované formě. Informace pro bakalářskou práci byly čerpány také z této databáze. Zároveň byla pro tvorbu mapových podkladů sledovaného území využity vrstvy digitalizovaných map KPP (viz půdní mapa, mapa půdních substrátů a geologická mapa v kapitole 4.1) (Aplikace KPP od VÚMOP, dostupné z: KPP (vumop.cz)); Němeček a kol., 1967).

## 4.3 Terénní průzkum v zájmovém území

### 4.3.1 Postup terénního průzkumu

Terénní průzkum probíhal v rámci projektu QK1820389 „Vytvoření podrobných aktuálních map půdních vlastností ČR na základě Komplexního průzkumu půd a metod digitálního mapování půd“, financovaného Národní agenturou pro zemědělský výzkum (Žížala a kol., 2020). Oblast Mšena byla vybrána jako zástupce intenzivně zemědělsky využívané krajiny bez výskytu faktorů změn (eroze, odvodnění, změny land use), sledovaných v dalších



zájmových oblastech. V předkládané práci byl hodnocen především vývoj obsahu organického uhlíku a jeho vztahu s dalšími půdními vlastnostmi.

V zájmovém území byly v létě roku 2019 odebrány vzorky z 33 (z celkově plánovaného počtu 50) sond kopírujících umístění výběrových sond KPP. Pro vyhledání místa byla využita digitalizovaná data z KPP, která byla přenesena do digitální navigace. Vzhledem k tomu, že v rámci KPP byly sondy zakreslovány do map pouze na základě vyhodnocení terénní situace bez využití přesné navigace, lze předpokládat při následné lokalizaci odchylky a nepřesnosti. Výkop sond byl proveden tak, aby byl zachycen celý půdní profil včetně substrátu. Byla pořízená fotodokumentace půdního profilu (obrázek 18).



Obrázek 18 – Fotografie půdního profilu, foto V.Penižek

Byly popsány jednotlivé diagnostické horizonty, včetně vlastností a půdních znaků a vše bylo následně zapsáno do půdních polních záznamů. Byla provedena také klasifikace půdního typu podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček a kol., 2011).

U každé sondy byly z vymezených horizontů odebrány porušené vzorky. Veškeré odebrané vzorky byly usušeny, drceny a přesypány přes 2 mm síto do formy připravené k převozu a následnému zpracování v laboratořích.

## 4.4 Laboratorní práce

### 4.4.1 Postup laboratorních prací, jednotlivé technologické postupy

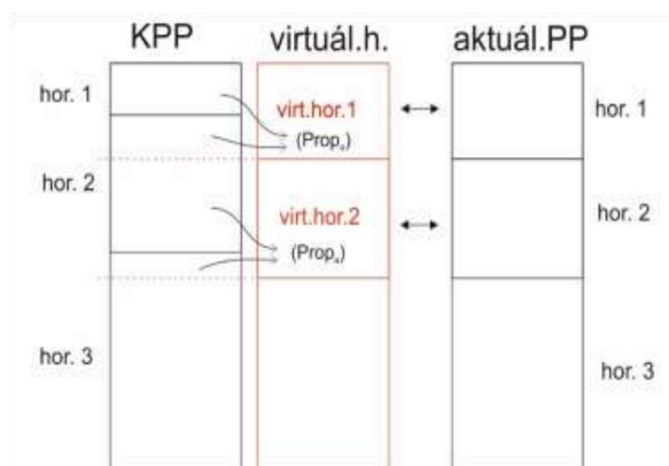
Laboratorní rozbory byly zpracovány ve specializovaných laboratořích VÚMOP a na katedře Pedologie a ochrany půd ČZU. Jednotlivé vlastnosti byly analyzovány stejnými postupy jako v rámci KPP (Sirový a kol., 1967), aby nedošlo k ovlivnění výsledku vlivem odlišného stanovení. V práci byly použity

analýzy koncentrace organického uhlíku, půdní reakce, kationtové výměnné kapacity a nasycení sorpčního komplexu.

Výměnná půdní reakce byla stanovena s použitím 0,2 molárního roztoku KCl a půdy o stejném poměru jako aktivní půdní reakce (ČSN ISO 10390 (836221), 2011). Ke stanovení KVK byla použita metoda tzv. indexového iontu, za použití vytěšňovacího roztoku BaCl<sub>2</sub> při pH 8,2. Zároveň je z části roztoku stanoven titrací HCl i výměnný vodík (ČSN EN ISO 11260 (836225), 2018). Nasycenost sorpčního komplexu jednotlivými ionty Ca, Mg, K, Na byla vypočtena z celkové hodnoty KVK včetně výměnného vodíku a následně byla hodnota výměnného vodíku odečtena (ČSN EN ISO 11260 (836225), 2018) (Němeček a kol., 1967; Sirový a kol., 1967).

#### 4.5 Zpracování dat

Archivní data z KPP byla převedena přepisem půdních polních záznamů do digitální formy, a to pomocí softwaru Excel. Poté byly vytvořeny souhrnné tabulky s výsledky laboratorních měření, a to vždy pro jednotlivé půdní sondy. Stejným způsobem byla zpracována data nová, aby následně mohla být provedena statistická analýza porovnávající výsledky z historického průzkumu s daty současnými. Aby bylo možné archivní a současná data porovnávat, byl vytvořen pro horizonty tzv. virtuální půdní profil (obrázek 19), který umožnil zhodnotit změny v mocnosti a sledu jednotlivých horizontů ve dvou sledovaných obdobích (Žižala a kol., 2020).



Obrázek 19 – Schématické znázornění postupu při tvorbě virtuálního půdního profilu, zdroj: Žižala a kol., 2020

Mocnosti virtuálních horizontů byly vypočteny podle následující rovnice:

$$Prop_a = \sum_{i=1}^n \frac{MassA}{MassB} \times PartVal_i$$

kde:

Prop<sub>a</sub> značí směšnou hodnotu pro porovnání s horizontem z nového terénního průzkumu

Mass<sub>i</sub> značí mocnost horizontu z databáze KPP v hloubce, ve které byl popsán horizont z nového terénního průzkumu

Mass<sub>b</sub> je mocnost v terénu popsaného horizontu b,

PartVal<sub>i</sub> je hodnota vlastnosti dílčího horizontu i.

Tento způsob sestavení povrchového a podpovrchového virtuálního horizontu byl zvolen z důvodu eliminace vstupu chybějících hodnot do výpočtu nebo srovnání dvou sad dat s odlišnou stratografií profilu.

Součástí metodiky bylo také zpracování map z mapových podkladů Komplexního průzkumu půd, aktuálního půdního průzkumu a volně dostupných dat (VÚMOP, CENIA, ČÚZK). Všechny mapy byly zpracovány v programu QGIS.

Základní popisná statistika, analýza rozptylu, korelační analýza byla zpracována pomocí programu R studio. Metody (parametrické, resp. neparametrické) byly voleny na základě testů normality rozložení dat v souboru.

## 5 Výsledky

### 5.1 Změna obsahu organického uhlíku ve sledovaném období

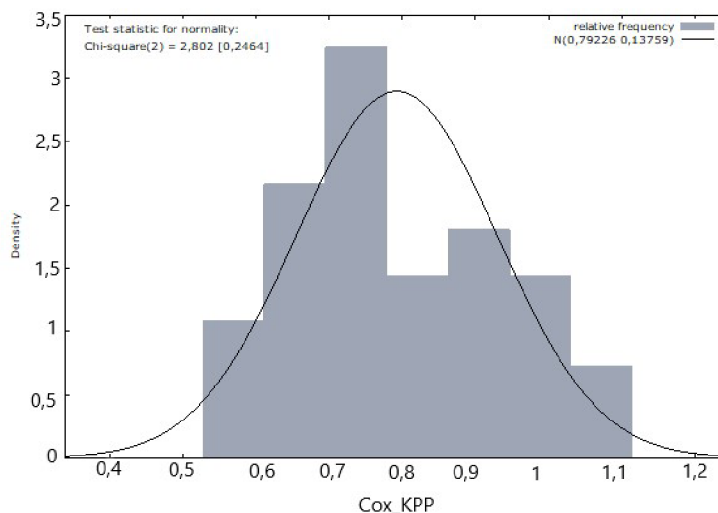
Změna v obsahu organického uhlíku byla sledována v souboru 33 hodnot zjišťovaných ve svrchních horizontech výběrových sond. Tabulka 3 ukazuje srovnání základních statistických parametrů získaných v době Komplexního průzkumu půd a při novém průzkumu.

Tabulka 3 – Popisná statistika obsahu organického uhlíku (%) získaného z dat KPP a nového průzkumu

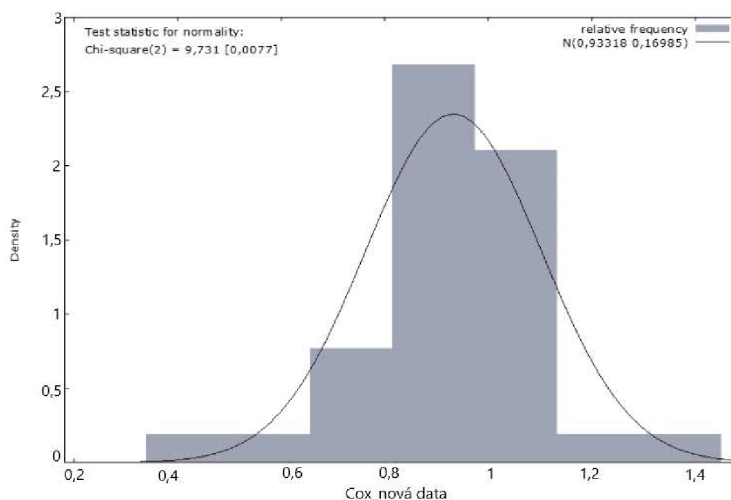
Popisná statistika – Obsah organického uhlíku z dat KPP a nových dat – shrnutí								
Proměnná	N platných	Průměr	Medián	Maximum	Minimum	Rozptyl	Sm. odchylka	Var. kof
Cox - KPP	33	0,79	0,75	1,07	0,57	0,02	0,14	0,17
Cox – nová data	33	0,93	0,94	1,37	0,42	0,03	0,17	0,18

V obou případech lze konstatovat, že půdy můžeme řadit mezi mírně humózní. Průměrný obsah Cox dosahoval v době KPP 0,79 %, v současné době jeho průměr vzrostl na 0,93 %. Variční koeficient, vyjadřující rozptýlení hodnot v souboru, dosahoval v obou případech nízkých hodnot.

Dále byla provedena rozšiřující analýza normality dat. K tomuto zobrazení byly použity histogramy (viz obrázky 20 a 21).



Obrázek 20 – Histogram rozložení dat – obsah Cox (v %) v době KPP



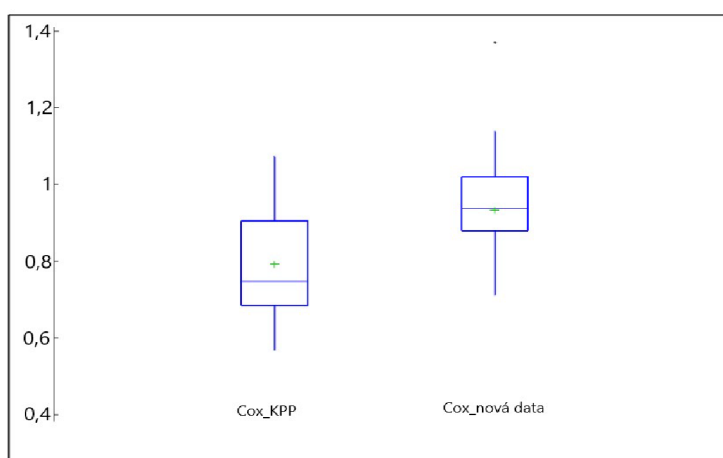
Obrázek 21 – Histogram rozložení dat – obsah org. uhlíku (v %) nová data

Z histogramu je patrné, že rozložení dat ani v jednom případě nesplňuje požadavky normálního rozložení. Hodnota  $p$  u Sharpiro-Wilkova testu je nižší než hodnota  $p=0,05$ . Díky tomu zamítneme nulovou hypotézu, že data pochází z normálního rozložení. Proto byly pro další analýzu dat použity neparametrické testy.

Kruskal-Wallisova analýza rozptylu ukazuje signifikantní rozdíl mezi průměrnými hodnotami Cox v souborech dat KPP a nových dat ( $p < 0,05$ ). (tabulka 4). Lze tedy zamítnout nulovou hypotézu, která předpokládá, že neexistuje statisticky významný rozdíl (tabulka 4).

Tabulka 4 – Soubor výsledků Kruskal – Wallisovy ANOVY pro Cox

Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; Cox Nezávislá (grupovací) proměnná: sada Kruskal-Wallisův test: $H(1, N=66) = 13,03355$ $p = ,0003$			
Závislá:	Počet platných	Součet pořadí	Průměr pořadí
Cox (%) – data KPP	33	824	24,97
Cox (%) – nová data	33	1387	42,03



Obrázek 22 – Krabicový diagram průměrů souboru dat KPP a nových dat

Z krabicového diagramu je patrné, že je statisticky významně vyšší obsah Cox ve vzorcích z nových dat v porovnání s daty KPP.



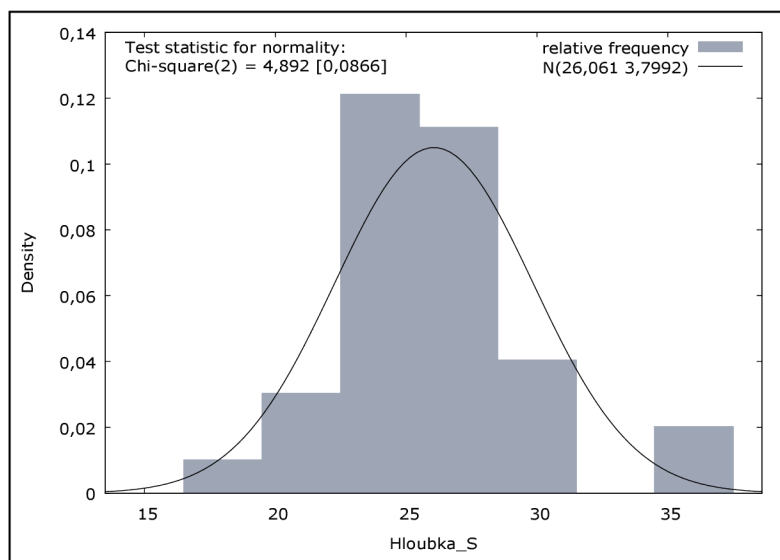
## 5.2 Změna hloubky svrchního horizontu

Tabulka 5 ukazuje základní statistické parametry týkající se hloubky ornice a mocnosti svrchního horizontu.

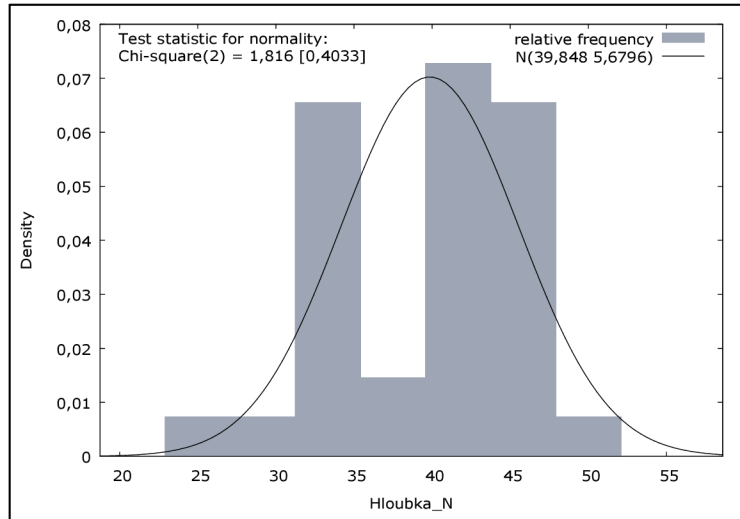
Tabulka 5 – Popisná statistika změny hloubky svrchního horizontu získaného z dat KPP a nového průzkumu

Popisná statistika – Změna hloubky svrchního horizontu (cm) z dat KPP a nových dat – shrnutí								
Proměnná	N platných	Průměr	Medián	Maximum	Minimum	Rozptyl	Sm. odchylka	Var. kof
Hloubka – KPP	33	26,06	26,00	36,00	18,00	14,43	3,80	0,15
Hloubka – nová data	33	39,85	40,00	50,00	25,00	32,26	5,68	0,14

Z dat je patrný velmi výrazný posun v mocnosti svrchního horizontu. Průměrná hloubka v době KPP činila 26,06 cm, v současné době jeho průměr vzrostl na 39,85 cm. Variační koeficient byl, podobně jako v předchozím případě, nízký. Dále byla provedena rozšiřující analýza normality dat. K tomuto zobrazení byly použity histogramy (viz obrázky 23 a 24).



Obrázek 23 – Histogram hloubky ornice v období KPP

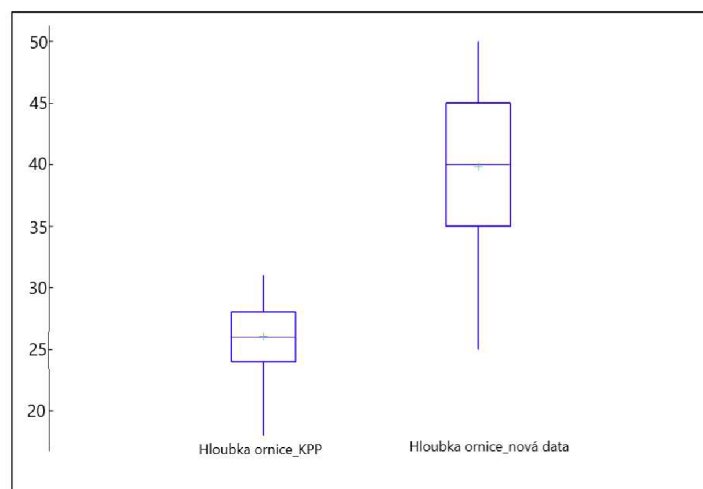


Obrázek 24 – Histogram hloubky ornice nová data

Na základě proběhlých testů nepředpokládáme normalitu dat, pro analýzu rozptylu byla tedy využita neparametrická Kruskal-Wallisova ANOVA (tabulka 6). Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi průměrnými hodnotami obou sad.

Tabulka 6 – Soubor výsledků Kruskal – Wallisovy ANOVY pro Cox

Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; Hloubka ornice Nezávislá (grupovací) proměnná: sada Kruskal-Wallisův test: $H(1, N=74) = 42,21130$ $p = ,0000$			
Závislá:	Počet platných	Součet pořadí	Průměr pořadí
Hloubka o. – data KPP	37	788,5	21,31
Hloubka o. – nová data	37	1986,5	53,6



Obrázek 25 – Krabicový diagram – porovnání hloubky ornice

Z krabicového je patrné, že hloubka ornice skutečně prošla výraznou změnou při sledování (obrázek 25), kdy průměrné hodnoty svrchního horizontu vzrostly z 26 cm (KPP) na 40 cm (nová data).

### 5.3 Vliv dalších vlastností půdy na obsah organického uhlíku

#### 5.3.1 Změny vlastností ve sledovaném období

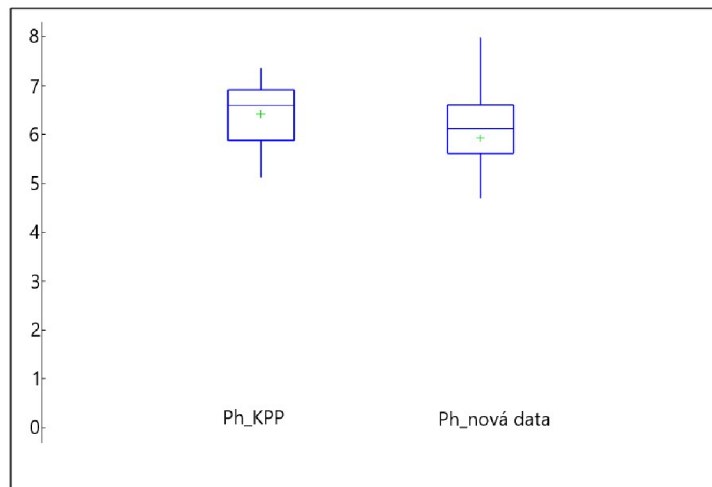
Při výzkumu byly dále sledovány vztahy v obsahu organického uhlíku s dalšími vlastnosti jednotlivých vzorků půdy, které by ho potenciálně mohly ovlivnit. Mezi ně patří výměnná půdní reakce ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ), kationtová výměnná kapacita (KVK), nasycení sorpčního komplexu (*base saturation* – BS). V tabulce 7 lze vidět základní parametry těchto vlastností ve dvou sledovaných obdobích.

Tabulka 7 – Popisná statistika vybraných vlastností odebraných vzorků půdy

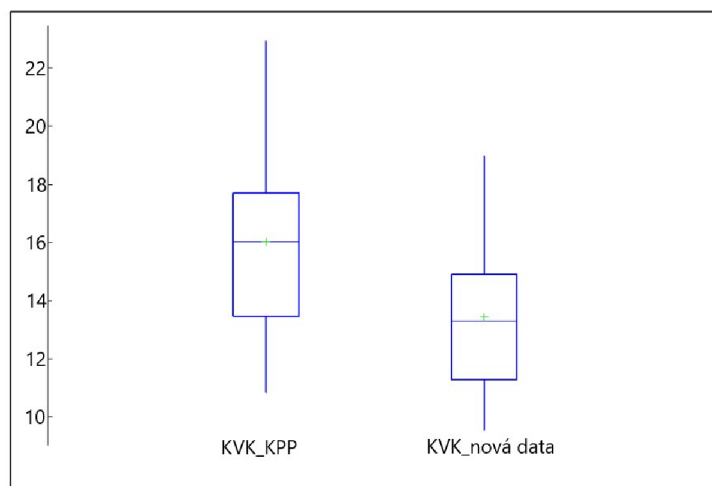
Popisná statistika – pH, KVK, BS – shrnutí dat								
Proměnná	N platných	Průměr	Medián	Maximum	Minimum	Rozptyl	Sm. Odch.	Var. koef
pH – data KPP	32	6,42	6,60	7,35	5,13	0,39	0,63	0,10
KVK (mg/kg) – data KPP	31	16,02	16,01	22,93	10,84	8,36	2,89	0,18
BS (%) – data KPP	28	82,73	85,66	97,98	15,52	245,74	15,68	0,19
pH – nová data	32	6,12	6,15	7,98	4,70	0,56	0,75	0,12
KVK (mg/kg) – nová data	31	13,44	13,30	18,97	9,55	6,00	2,45	0,18
BS (%) – nová data	28	82,58	80,48	100,00	62,00	148,25	12,18	0,15

U všech měřených vlastností došlo v hodnotách průměru i mediánu k poklesu oproti měření KPP. Tento pokles byl výraznější v případě výměnné reakce a kationtové výměnné kapacity, naopak u nasycení sorpčního komplexu se jednalo pouze o minimální změnu. U KVK minimální i maximální hodnoty naměřené během nového průzkumu klesly. V případě BS se naopak minimální i maximální hodnoty naměřená při novém měření zvýšily. Variační koeficient u všech dat nepřesahuje hranici 50 %, jde tedy o sadu dat s menší variabilitou.

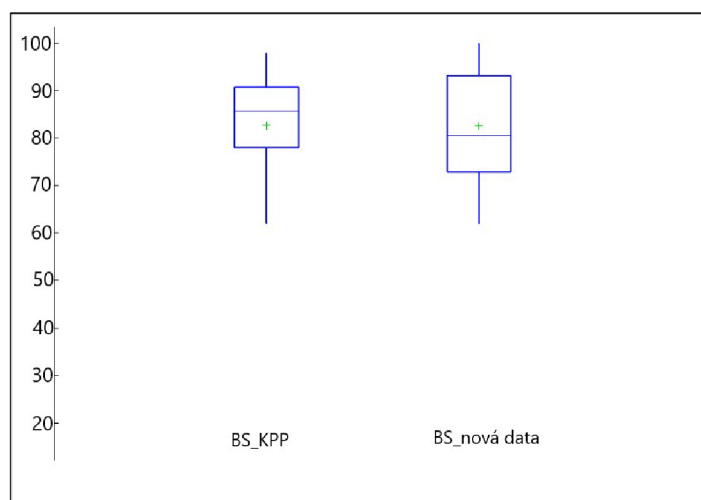
Přesto si lze povšimnout poměrně výrazného zvýšení variability v případě půdní reakce. Naopak u nasycení sorpčního komplexu se variabilita souboru snížila. Pro grafické znázornění byly použity krabicové diagramy (obrázek 26-28).



Obrázek 26 - Krabicový diagram průměru dat KPP a nových dat – pH



Obrázek 27 - Krabicový diagram průměru dat KPP a nových dat – KVK (mg/kg)



Obrázek 28 - Krabicový diagram průměru dat KPP a nových dat – BS (v %)

Z krabicových diagramů je patrné, že u všech měřených dat BS (%), pH, KVK (mg/kg) došlo k poklesu ve vzorcích z nových dat v porovnání s daty KPP.

### 5.3.2 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během KPP

Pro lepší pochopení vývoje obsahu organického uhlíku byla analyzována i jeho vazba na vybrané půdní vlastnosti. Vzhledem k tomu, že data nemají normální rozdělení, byla pro korelační analýzu všech dat zvolena neparametrická metoda. Tabulka 8 obsahuje výsledky Spearmanovy korelace pro jednotlivé vlastnosti z dat získaných v době KPP.

Tabulka 8 – Spearmanovy korelace pro data získaná během KPP – vzájemná korelace vlastností

Spearmanovy korelace: Označ. Korelace jsou významné na hl. $p < 0,05$				
Proměnná	Cox – data KPP	BS – data KPP	pH – data KPP	KVK – data KPP
Cox – data KPP	-	-0,138	-0,082	0,064
BS – data KPP	-0,138	-	0,635	0,223
pH – data KPP	-0,082	0,635	-	0,297
KVK – data KPP	0,064	0,223	0,297	-

Signifikantní korelace s obsahem organického uhlíku nebyla potvrzena u žádné z vybraných vlastností. Nejužší pozitivní závislost byla zjištěna mezi půdní reakcí a nasycení sorpčního komplexu. Signifikantní, i když slabší je i závislost pH s KVK a KVK s BS.

### 5.3.3 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během nového průzkumu

Stejný postup byl zvolen pro korelaci vlastností v souboru nově získaných dat. Tabulka 9 obsahuje výsledky neparametrické Spearmanovy korelace.

Tabulka 9 – Spearmanovy korelace pro data získaná z nového průzkumu – vzájemná korelace vlastností

Spearmanovy korelace: Označ. Korelace jsou významné na hl. $p < 0,05$				
Proměnná	Cox – nová data	BS – nová data	pH – nová data	KVK – nová data
Cox – nová data	-	0,107	0,228	0,174
BS – nová data	0,107	-	0,148	-0,135
pH – nová data	0,228	0,148	-	0,140
KVK – nová data	0,174	-0,135	0,140	-

V případě dat byly vazby mezi jednotlivými vlastnostmi slabší než u dat z KPP. Signifikantní pozitivní korelace byla potvrzena pouze u výměnné půdní reakce a pH, další závislosti nebyly statisticky významné.

## 6 Diskuse

### 6.1 Změna obsahu organického uhlíku v půdách

Průměrný obsah organického uhlíku na sledovaném území se v porovnání s daty KPP mírně zvýšil z 0,79 % na 0,93 %. To je vzhledem k obecným předpokladům o vlivu intenzivního zemědělství na obsah organické hmoty v půdě poměrně překvapivé a v rozporu s dlouhodobými trendy, dokumentovanými řadou evropských studií. Podobný průzkum byl proveden v jižní Belgii, kdy byla hodnocena změna organického uhlíku v půdě v regionálním měřítku (Goidts a Wesemeal, 2007). Bylo zjištěno, že došlo u orné půdy k průměrnému poklesu o 5,8 t C ha<sup>-1</sup>. Autoři článku to připisují zemědělským postupům. Meersmans a kol. (2009) znovu odebrali vzorky ze 127 půdních profilů z orné půdy v severní Belgii a zjistili, že v letech 1960-2006 došlo k výraznému poklesu Cox v ornici. Také v Anglii a Walesu Bellamy a kol. (2005) zjistili v horizontu Ap v letech 1978-2003 průměrný pokles o 0,6 % ročně. D'haene a kol. (2008) popisují ve své studii, že při snížení intenzity při zpracování půdy může dojít k účinnému opatření ke snížení ztráty půdy, a to hlavně u půd, které jsou náchylné k erozi v krátkodobém horizontu. Při snížení zpracování půdy dochází i k zvýšení zásob organického uhlíku v půdě. Jiné studie také potvrzují, že zásoby Cox mohou být zvýšeny nulovým zpracováním půd (Paustian a kol., 1997; Alvarez, 2006; Gál a kol.,

2007). Kromě toho množství a kvalita Cox jsou do jisté míry ovlivněny předchozí plodinou.

Naopak některé studie zjistily podobný trend jako v případě popisovaného zájmového území. Meirvenne a kol. (1996), kteří sledovali regionální dlouhodobou změnu organického uhlíku v půdě při intenzivním zemědělstvím, došli k závěru, že organický uhlík se zvýšil v průměru o 0,2 %. Také bylo zjištěno, že největší nárůst organického uhlíku byl zaznamenán v oblastech, kde byla chovaná prasata. Menšík a kol. (2018) došli ve své studii k tomu, že statková a minerální hnojiva mají vliv na stav půdní organické hmoty a živin. Aplikace organických hnojiv jako je například hnůj či kejda skotu tak napomáhá dosáhnout dlouhodobě stabilních výnosů. Juřicová a kol. (2022) sledovali obsah a zásobu Cox v silně erozně ovlivněných černozemích jižní Moravy mezi lety 1960 a současností a zjistili rovněž zvýšení v koncentraci uhlíku ve všech terénních pozicích, a to v ornici i v podorniči. Připisují to především zvýšení množství zaorávaných posklizňových zbytků. Svobodová (2022) a Čermák (2020) došli ve svých studiích k mírnému poklesu organického uhlíku v půdách. U Svobodové (2022) byl zaznamenán celkový pokles organického uhlíku v průměru z 0,68 % na 0,64 %, hodnoty se ale výrazně lišily v závislosti na vývoji land use. Signifikantní nárůst Cox byl zaznamenán po zatravnění orné plochy. V případě kontinuálního využívání pozemku jako orné půdy došlo k nevýraznému poklesu obsahu Cox v půdách. Čermák (2020) ve své studii došel také k výsledku poklesu Cox a to zejména u trvale travních porostů, zatímco v orných půdách a půdách nově oraných doznal obsah Cox v orničích a podorničích jen mírných změn.

Významnou roli hraje zřejmě i pěstování cukrové řepy, která je na daném území značně rozšířena. Byla provedena studie, zda cukrová řepa má významný vliv na obsah uhlíku v půdě. To umožnilo vypočítat množství uhlíku v průměrné roční biomase na orné půdě pro jednotlivé okresy ČR. Nejnižší zásoba uhlíku v plodinách na orné půdě (3 t/ha) byla zaznamenána pro okresy Děčín, Ústí nad Labem a Jablonec nad Nisou, nejvyšší hodnoty (přes 5 t/ha) byly u okresů Olomouc, Jičín, Prostějov a Hradec Králové. Tyto okresy se vyznačují vyšším podílem produkce cukrové řepy, která má ze všech zemědělských plodin nejvyšší podíl biomasy na hektar orné půdy (Vrubalova a Filippovova, 2019). Lze tedy předpokládat, že zvýšení organické hmoty lze připisovat objemu posklizňových zbytků, zaorávaných do půdy, podobně jako v případě Juřicové a kol. (2022). Podobné množství biomasy jako cukrová řepa produkuje i řepka olejka, rovněž významně zastoupená v osevním postupu.

## 6.2 Změna hloubky ornice

Průměrná hloubka ornice, resp. povrchového horizontu, v době KPP činila 27 cm. Při novém průzkumu byla naměřena hloubka 41 cm, došlo tedy k výraznému zvýšení průměrné mocnosti povrchového horizontu, a to o 14 cm. Předpokládáme, že ke zvýšení mocnosti ornice došlo vlivem zvýšení intenzity orby a mechanizace zemědělství. V území byla zřejmě praktikována velmi hluboká orba, která se dříve

běžně využívala při pěstování cukrové řepy (Chochola, 2010). Rovněž Svobodová (2021) a Čermák (2020) došli ke stejným výsledkům. Sledované oblasti se nacházely na Českobudějovicku a Příbramsku. V Českých Budějovicích došlo u povrchového horizontu ke zvýšení průměrné mocnosti o 12 cm. Na Příbramsku u povrchového horizontu došlo k prohloubení i na místech využívaných jako trvalý travní porost. Čermák (2020) předpokládá, že k prohloubení došlo díky delší etapě využívání ploch jako orné půdy a následné převedení těchto ploch na trvalý travní porost.

Důležitým faktorem při změně hloubky ornice je provedená hloubka orby. Alcántara a kol. (2016) ve své studii zkoumají, zda hluboká orba zvyšuje zásoby organické hmoty v zemědělských půdách. Hluboká orba se provádí většinou jednorázově, a to za účelem zlepšit funkce půdy. Měla by zlepšit infiltraci vody a pronikání kořenů, a tím optimalizovat podmínky pro pěstování plodin. Studie prokázala, že hloubková orba v dlouhodobém hledisku zvýšila zásoby půdního organického uhlíku. Ve svrchní části ornice byla sice koncentrace uhlíku nižší, a to kvůli přímísení podložního materiálu, který je chudý na organickou hmotu, ale celkově došlo v proorané vrstvě ke zvýšení zásoby uhlíku. Autoři to připisují především tomu, že uhlík z původní ornice se dostává do větších hloubek, kde je stabilizován a podléhá pomalejší mineralizaci. Tak by tomu mohlo být i v případě zájmového území, kdy byla ornice nárazově proorána do větších hloubek a pohřbený uhlík byl tak částečně stabilizován pod aktuální ornici.

### **6.3 Změna jednotlivých vlastností půd a jejich vzájemné vztahy v obou sledovaných obdobích**

Kromě organického uhlíku byly sledovány i změny v dalších půdních vlastnostech a jejich vzájemné vztahy. U části sledovaných vlastností došlo k mírnému poklesu. Menší pokles byl zaznamenán u vzájemně korelující pH a nasycení sorpčního komplexu. Průměrná hodnota pH lehce klesla v průměru z 6,42 na 6,12. Bazická saturace v průměru také mírně klesla z 82,73 % na 82,59 %. Svobodová (2022) došla ve své studii k opačnému závěru, kdy hodnoty pH a bazické saturace zaznamenaly mírný nárůst. U pH došlo v průměru o nárůst z 5,23 na 5,61 a u bazické saturace vzrostly hodnoty o 2,08 %.

Největší pokles byl zaznamenán u kationtové výměnné kapacity, kdy v mediánu z 16,02 klesla hodnota na 13,44. Tento výsledek je mírně překvapující. Výrazné snížení by bylo možné připisovat obsahu snížení organické hmoty v půdě, ten se ale naopak zvyšuje. I ve studii Svobodové (2022) došlo k mírnému poklesu KVK. Jednotlivé vztahy v sorpčním komplexu jsou ovlivňovány pH. Při nižším pH se tyto vazby (především mezi Cox a KVK) oslabují (Solly a kol., 2020).

Čermák (2020) ve své studii pozoroval změnu pH. K výrazné alkalizaci došlo u orných půd (nárůst o 0,62 v ornici o 0,43 v podornici). Nárůst byl také zaznamenán u půd, u kterých došlo ke konverzi luk a pastvin na půdu ornou. Nárůst činil z 0,75 na 0,77.



## 7 Závěr

Na sledovaném území v okrese Mělník došlo za posledních 60 let k výrazným změnám v obsahu organického uhlíku a dalších chemických vlastností zemědělských půd. Na základě srovnání hodnot, naměřených v 60. letech v rámci Komplexního průzkumu půd a v současnosti, byl zjištěn nárůst v obsahu organického uhlíku v ornících zemědělských půd. Tím se potvrdila stanovená hypotéza H1, která předpokládala změnu obsahu  $C_{ox}$  ve sledovaném období. Zásadní změna nastala u hloubky ornice, kde byl zaznamenán průměrný nárůst o 14 cm, potvrzující hypotézu H2. Potvrzeny byly i méně výrazné změny hodnot dalších sledovaných vlastností, tedy kationtové výměnné kapacity, nasycení sorpčního komplexu i půdní reakce.

Zvýšení koncentrace organického uhlíku v ornici je, s ohledem na obecné trendy a intenzifikaci zemědělství, poměrně překvapivé. Nelze ho připisovat vlivu aplikace organických hnojiv, protože ta v posledních letech spíše klesá. Možným vysvětlením je vstup velkého množství biomasy z posklizňových zbytků. Podobné výsledky byly zjištěny i v dalších oblastech České republiky. V případě hloubky ornice lze její zvýšení připisovat jak celkovému způsobu hospodaření a změně technologií, tak aplikaci hluboké orby při pěstování cukrové řepy. Pro skutečně komplexní zhodnocení vývoje zásob organického uhlíku na zemědělských plochách je třeba provést analýzu ve větším regionálním měřítku a v různých půdních regionech a dále se zaměřit na jednotlivé procesy a technologie ovlivňující obsah organické hmoty, jako je orba, hnojení či eroze. Tato práce rovněž nehodnotí kvalitu a stabilitu organické hmoty v zemědělských půdách, která mohla ve sledovaném období doznat významných změn. Do budoucna je důležité podporovat přirozený cyklus uhlíku a udržovat intenzitu zpracování půd tak, aby nedocházelo k nevratnému znehodnocení zemědělských půd a organické hmoty.

## 8 Seznam literatury

- Abid, M., Lal, R., 2008: Tillage and drainage impact on soil quality, aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Soil & Tillage Research*. **100**: 89-98.
- Akcí plán ČR pro rozvoj ekologického zemědělství v letech 2016–2020 [online], 2016. Praha: Ministerstvo zemědělství. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/442986/Akcni\\_plan\\_CR\\_pro\\_rozvoj\\_EZ\\_Czech\\_Action\\_Plan\\_for\\_Development\\_of\\_OF.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/442986/Akcni_plan_CR_pro_rozvoj_EZ_Czech_Action_Plan_for_Development_of_OF.pdf)
- Albrecht, J., 2005: Chráněná území ČR – Střední Čechy. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha, 902 s.
- Alcántara, V., Don, A., Well, R., Nieder, R. 2016: Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology*. **22**: 2939-2956.
- Allison, F.E., 1973: Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production. Scientific Publishing Co.: Developments in Soil Science. **3**: 162-177.
- Alvarez, R., 2006: A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*. **21**: 38–52.
- Babička, L., Poustková, I., 2009: Významný přínos bioplynu. *Listy cukrovarnické a řepařské*. **125**: 277-280.
- Barančíková G., Makovníková J., Skalský R., Tarasovičová Z., Nováková M., Halás J., Gutteková M., Koco, Š., 2018: Simulation of soil organic carbon changes in slovak arable land and their environmental aspects. *Soil & Water Research*. **7**: 45–51.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, G.J.D., 2005: Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*. **437**: 245-248.
- Beranová, M., Kubačák, A., 2010: Dějiny zemědělství Čechách a na Moravě, 430 s.
- Blažek, P., Kubálek, M., 2008: Kolektivizace venkova v Československu 1948-1960 a Středoevropské Souvislosti. 1. Vyd. ed. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 359 s.
- Brady, N.C., Weil, R.R., 2008: Nature and Properties of Soils. Pearson. Maryland, 965 s.
- Bursáková, P., 2011: Hydratace huminových látek [online]. Brno, [cit. 2023-01-28]. Disertační práce. FCH VUT. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/8106>.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Straník, Z., 2002: Geologická minulost České republiky (in Czech). Academia, Praha, 436 s.
- Chochola, J., 2010: Průvodce pěstováním cukrové řepy. Semčice, KWS Osiva Řepařský institut Semčice, 65 s.
- Čermák, P., 2020: Využití dat Komplexního průzkumu zemědělských půd pro sledování změn půdních vlastností. [MSc. Thesis]. Czech University of Life Sciences Prague, Prague.
- Demek, J., Mackovčín, P., Balatka, B., Buček, A., Cibulková, P., Culek, M., Čermák, P., Dobiáš, D., Havlíček, M., Hrádek, M., Kirchner, K., Lacina, J., Pánek, T., Slavík, P., Vašátko, J., 2006: Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. 2. vyd. Brno: MŽP ČR, 582 s.
- Gál, A., Vyn, T.J., Michéli, E., Kladiivko, E.J., McFee, W.W., 2007: Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research*. **96**: 42–51.

- Guimarães, D.V., Gonzaga, M.I.S., da Silva, T.O., da Silva, T.R., Dias, N.S., Matias, M.J.S., 2013: Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil & Tillage Research*. **126**: 177-182.
- Hlušek, J., 2004: Zásady použití chlévského hnoje [online]. Statková hnojiva – chlévský hnůj. [cit. 2023-11-22]. Dostupné z [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/chlevsky\\_hnuj.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/chlevsky_hnuj.htm)
- Jurčík, F., 1978: Živiny v půdě. Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR, Praha.
- Juřicová, A., Chuman, T., Žížala, D., 2022: Soil organic carbon content and stock change after half a century of intensive cultivation in a chernozem area. *Catena*. **211**: 105950
- Kim, T.H., 2003: Humic Matter in Soil and the Environment. Univesrity of Georgia, USA. Marcel Dekker, NY, 495 s.
- Kvítek T., Tipl M., 2003: Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 47 s.
- Lipský, Z., 2001: Present land use changes in the Czech cultural landscape: driving forces and environmental consequences. *Moravian Geographical Reports*. **9(2)**: 2-14.
- Nardi, S., Ertani, A., Francioso, O., 2016: Soil-root cross-talking: The role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition*. **1**: 1-9.
- Meersmans, J., Wesemael, B.V., Ridder, F.D., Dotti, M.F., Baets, S.D., Molle, M.V., 2009: Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960–2006. *Global Change Biology*. **15**: 2739-2750.
- Němeček, J., Damaška, J., Hraško, Bedrna, Z., Zuska, V., Tomášek, M., Kalenda, M., 1967: Průzkum zemědělských půd ČSSR. 1.díl. MZVŽ, Praha, 253 s.
- Němeček J. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita. Praha, 95 s.
- Novotný, I., (ed.), 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi, 2. vyd., Ministerstvo zemědělství, Praha, 85 s.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Paustian, K., 2005: Agricultural management impacts on soil carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*. **72**: 87–121.
- Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Noordwijk, M., Woomer, P.L., 1997: Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use Manage.* *Soil Use and Management*. **13**: 229–244.
- Penížek, V., 2019: Půdní krajiny. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Pivokonský, M., Pivokonská, L., Buráková, P., Janda, V., 2010: Treatment of water containing humic matter. *Chemické Listy*. **104**: 1015-1022.
- Richter, R., Kubát, J. 2003: Organická hnojiva, jejich výroba a použití. 2. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 56 s.
- Sirový, V., Facek, Z., 1967: Komplexní průzkum zemědělských půd, 3. díl: Metodika laboratorních rozborů a principy jejich hodnocení. MZVŽ, Praha.
- Solly, E.F., Weber, V., Zimmermann, S., Walthert, L., Hagedorn, F., Schmidt, M.W., 2020: A Critical Evaluation of the Relationship Between the Effective Cation Exchange Capacity and Soil Organic Carbon Content in Swiss Forest Soils. *Frontiers in Forests and Global Change*. **3**: 33-45.

- Sotáková, S., 1982: Organická hmota a úrodnost půdy. Bratislava, Příroda, 234 s.
- Stevenson, F., 1994: Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 512 s.
- Stockmann, U., Adams, M., Crawford, J., Field, D., Henakaarchchi, N., Meaghan E., Jenkins, B., Minasny, A., McBratney, Courcelles, V.R., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P., Chenu, J. Jastrow, C., Lal, R., Lehmann, J., O'donnell, A., Parton, W., Whitehead, D., Zimmermann M., 2013: The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Environmental science*. **164**: 80-99.
- Svobodová, L., 2022: Změna zásob humusu v půdách po odvodnění. [MSc. Thesis]. Czech University of Life Sciences Prague, Prague.
- Šarapatka, B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s.
- Šimek, M., (ed.), 2019: Živá půda. Nakladatelství Academia, Praha, 796 s.
- Šimek, M., Hynšt, J., Malý, S., 2021: Živá půda 9. Cyklus uhlíku a půdní organická hmota. *Živa* 4/2021, (s. 174-181).
- Vrublova, K., Filippovova, J., 2019: "Importance of Sugar Beet in the Frame of Carbon Quantification in the Czech Republic. *Journal of landscape ecology*. **12(1)**: 74-76.
- Voltr, V., 2011: Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí. Ústav zemědělské ekonomiky a informací, Praha, 480 s.
- Vopravil J., Khelt T., Vrabcová T., Novák P., Novotný I., Hladík J., Vašků Z., Jacko K., Rotnovský J., Janeček M., Vácha R., Pivcová J., Kvítek T., Novák P., Fučík P., Čermák P., Janků J., Pírková I., Papaj V., Banýrová J., 2010: Půda a její hodnocení v ČR. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 156 s.
- Vopravil, J., 2009: Půda a její hodnocení v ČR 1.díl. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 148 s.
- Vostal, J., Zitta, M., (et.), 1999: Obecná fyto technika. Vyd. 2. upr. Praha: Česká zemědělská univerzita, 239 s.
- Weber, J., Michalczyk, A., 1997: Soil Humic Substances, last modified 1997, [online]., [cit. 2022.09.22]., Dostupné z: <http://www.ar.wroc.pl/~weber/humic.htm#start>
- Zádorová, T., Penížek, V., Vašát, R., Žížala, D., Chuman, T., Vaněk, A., 2015: Colluvial soils as a soil organic carbon pool in different soil regions. *Geoderma*. **253-254**: 122-134.
- Zádorová, T., Penížek, V., Lisá, L., Koubová, M., Žížala, D., Tejnecký, V., Drápek, O., Kodešová, R., Fér, M., Klement, A., Nikodem, A., Rojas, J.R., Vokurková, P., Pavlů, L., Vaněk, A., Moska, P., 2023: Formation of Colluvisols in different soil regions and slope positions (Czechia): Stratification and upbuilding of colluvial profiles. *Catena*. **221**: 106755
- Žížala, D., Kapička, J., Khel, T., Novotný, I., Vopravil, J., Penížek, V., Zádorová, T., Vašát, R., 2020: NAZV QK1820389 – Vytvoření podrobných aktuálních map půdních vlastností ČR na základě využití dat Komplexního průzkumu půd a metod digitálního mapování půd. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha., 47 s.
- Žížala, D., Juričová, A., Kaplička, J., Novotný, I., 2021: The potential risk of combined effects of water and tillage erosion on the agricultural landscape in Czechia. *Journal of Maps*. **17**: 428-438.

## Online zdroje pro tvorbu map

CENIA. 2022. ArcGIS REST Services Directory. CENIA, Praha. Available from:

<http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA>

Česká Geologická služba. 2022. Mapy online – WMS Služby: Geologie. Česká Geologická Služba & MŽP ČR, Praha Available from:

[https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka\\_mapa50/MapServer/WMSServer](https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa50/MapServer/WMSServer)

ČÚZK. 2022. Veřejný registr půdy – LPIS. ČÚZK & MZČR, Praha. Available from: [Veřejný registr půdy - LPIS \(eagri.cz\)](http://Veřejný_registr_pudy_LPIS_eagri.cz)

ČÚZK. 2022. Geoportál ČÚZK – Prohlížečské služby Esri ArcGIS Server. ČÚZK, Praha. Available from: [ČÚZK: Geoportál \(cuzk.cz\)](http://ČÚZK_Geoportál_cuzk.cz)

VÚMOP. 2022. Komplexní průzkum půd: Digitalizovaná databáze. VÚMOP & MZČR, Praha. Available from: [KPP \(vumop.cz\)](http://KPP_vumop.cz)

## 9 Seznam zkratk

BS	Bazická saturace
COX	Obsah organického uhlíku
ČÚZK	Český ústav zeměměřický a katastrální
GIS	Geologický informační systém
KPP	Komplexní průzkum půd
KVK	Kationtová výměnná kapacita
NAZV	Národní agentura pro zemědělský výzkum
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd