

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



Změna zásob humusu v půdách po odvodnění

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Lea Svobodová

Obor studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Změna zásob humusu v půdách po odvodnění" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2022 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní docentce Zádorové za její odborné vedení po celou dobu naší spolupráce, která z velké části probíhala během koronavirové epidemie. Cenné rady, které mi paní docentka předala, mi vždy velmi pomohly a obohatily mne o řadu nových znalostí. Také bych chtěla poděkovat Výzkumnému ústavu meliorací a ochrany půdy za provedení laboratorních prací a Národní agentuře pro zemědělský výzkum za záštitu projektu QK1820389, v rámci kterého byla získána a analyzována data.

Změna zásob humusu v půdách po odvodnění

Souhrn

Hlavní zpracované téma této práce je rozbor vlivu využití půdy a způsobu managementu a polohy v prostoru na změny v obsahu organické hmoty v odvodňovaných půdách. Literární rešerše seznamuje čtenáře s problematikou a stěžejní rolí organické hmoty v půdě, vodním režimem půd a informuje o historických a současných trendech v oblasti odvodňování. V rámci projektu NAZV byl proveden nový půdní průzkum v okrese České Budějovice, na místě sond realizovaných v rámci Komplexního průzkumu půd, provedeného v 60. letech minulého století. Pro zpracování získaných dat byla využita technika virtuálního horizontu. Na jednotlivých příkladech pak byla popsána a porovnána změna v čase a vysvětlen vliv jednotlivých faktorů. Analýza dat a výstupy potvrdily, že na dlouhodobě odvodňovaném území došlo ke změně v obsahu organické hmoty v půdě a byl prokázán vliv land use a managementu. Přírůstek humusu a pozitivní změny byly zaznamenány především při využití území jako trvalý travní porost. V ostatních případech obsah organického uhlíku klesl. Významně se také změnila hloubka ornice a byly zaznamenány změny dalších vlastností půd, včetně pH, nasycení sorpčního komplexu, kationtové výměnné kapacity a obsahu jílu. Míra intenzity land managementu, především meliorací, však byla variabilní. Vzhledem k tomu, že se téma odvodňování týká velké části zemědělských půd, je třeba tuto problematiku dále zkoumat a rozvinout debatu o budoucích postupech a propojení hospodaření v návaznosti na koloběh uhlíku a vody v krajině.

Klíčová slova: humus, organický uhlík, odvodnění, meliorace, vodní režim půd

Změna zásob humusu v půdách po odvodnění

Summary

The main topic of this thesis is an analysis of a potential influence of soil utilization, management and location on organic carbon content in drained soils. Theoretical framework of this study covers various topics connected with an importance of soil organic carbon, water regime and informs the reader about historical and modern trends of drainage. As a part of the NAZV study, new soil research was arranged. The research took place in a district České Budějovice, in the same location where the soil probing during Systematic Soil Survey had been arranged in the 1960's. An experimental method called virtual soil horizon was used in order to describe a change in time and space and an influence of additional factors. Data analysis confirmed that the soil organic carbon in long term drained soils changed and that the change was influenced by land use and land management. An increase of humus was detected in soils which were used as a permanent grassland. The rest of the groups only showed a decrease in soil organic carbon content. The depth of a surface horizon also changed significantly. Other soil properties (pH, BS, CEC and clay content) also changed. The extent to which the amelioration was applied and the intensity of land management, varied. This issue should be discussed more, because a huge part of our land was drained in the past. Therefore the idea of connecting land management with soil organic carbon and water cycle could be explored more.

Keywords: humus, organic carbon, drainage, amelioration, soil water regime

Obsah

1 Úvod	1 -
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2 -
3 Literární rešerše	3 -
3.1 Organická složka půdy	3 -
3.1.1 Úvod do problematiky	3 -
3.1.2 Koloběh uhlíku	5 -
3.1.3 Humus – jeho složky a vliv na půdní úrodnost a růst rostlin.....	7 -
3.2 Voda a vodní režim v půdě	10 -
3.2.1 Koloběh vody v půdě.....	10 -
3.2.2 Úprava vodního režimu půd a jeho důsledky	11 -
3.3 Meliorace půd odvodněním	15 -
3.3.1 Historie a význam odvodňování půd	15 -
3.3.2 Historie odvodňování na území České republiky	17 -
3.3.3 Odvodňování na území ČR v současnosti	18 -
3.3.4 Typy drenážních systémů a jejich použití.....	20 -
3.3.5 Vliv odvodnění na obsah organického uhlíku v půdě.....	24 -
4 Materiál a metody	26 -
4.1 Popis zájmového území	26 -
4.1.1 Základní charakteristika.....	26 -
4.1.2 Klimatické podmínky	28 -
4.1.3 Geomorfologie a geologie	28 -
4.1.4 Hydrologické poměry	31 -
4.1.5 Rostlinstvo	32 -
4.1.6 Půdní poměry	32 -
Meliorace na Českobudějovicku	34 -
4.2 Datové podklady pro výzkum	34 -
4.2.1 Komplexní průzkum půd	35 -
4.3 Terénní průzkum v zájmovém území	37 -
4.3.1 Postup terénního průzkumu, jednotlivé fáze.....	37 -
4.4 Laboratorní práce	40 -
4.4.1 Postup laboratorních prací, jednotlivé technologické postupy	40 -
4.5 Zpracování dat	41 -
5 Výsledky	43 -
5.1 Vliv land use na obsah organického uhlíku	43 -
5.1.1 Změna obsahu organického uhlíku při změně land use v době KPP a v době nového průzkumu	43 -
5.2 Změna hloubky svrchního horizontu	49 -
5.3 Variabilita v obsahu organického uhlíku v prostoru	49 -

5.4	Vliv dalších vlastností půdy na obsah organického uhlíku	50 -
5.4.1	Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během KPP.....	51 -
5.4.2	Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během nového průzkumu	52 -
6	Diskuze	57 -
6.1	Změna vlastností půd v obou sledovaných obdobích.....	57 -
6.1.1	Změna obsahu organického uhlíku v půdách po odvodnění.....	57 -
6.1.2	Změna hloubky ornice	58 -
6.1.3	Změna jednotlivých vlastností půd a jejich vzájemné vztahy v obou sledovaných obdobích	59 -
7	Závěr.....	60 -
8	Seznam literatury	61 -
9	Seznam zkratk	65 -

1 Úvod

Jedním z dlouhodobých zásahů člověka do krajiny je meliorace půd, konkrétně její drenáž. Se zvyšujícími se nároky na zemědělství a produkci vzrůstá i potřeba přetvářet krajinu podle našich potřeb. Přeměna krajiny vlivem zemědělské činnosti je však přirozenou součástí lidského působení na Zemi. Intervence typu odvodnění můžeme zařadit do skupiny melioračních opatření, která jsou aplikována na více než třetině zemědělsky využívaného půdního pokryvu na území České republiky.

Jedním z důvodů, proč dochází k odvodňování půd, je snížení převlhčení půdy a z ní plynoucí zlepšení provzdušnění a optimalizace mineralizace organických látek. Z hlediska úrodnosti a úživnosti zemědělských ploch je obsah organického uhlíku jeden z nejdůležitějších formujících faktorů. Ačkoliv se organická hmota při dlouhodobém převlhčení půdy hůře mineralizuje, předpokládáme, že vliv na humusovou složku půdy nemusí být u odvodňovaných půd pouze jednostranný, ve smyslu pozitivního ovlivnění mineralizace. Do jaké míry tedy přispívají v minulosti aplikovaná meliorační opatření ke změně zásob humusu na odvodňovaném území?

Klimatické změny se v posledních letech projevují převážně v podobě delších suchých období a nárazových vln veder střídaných přívalovými dešti. Vzrůstá tak potřeba zlepšit vodní hospodářství v krajině. Avšak některé drenážní systémy mají nepříznivý vliv na kvalitu vody a intenzivně upravují přirozený vodní režim půd. Z tohoto hlediska je tedy problematika melioračních opatření a zemědělského managementu v závislosti na obsahu humusu a vody v půdě důležitým tématem.

Pro komplexní představení této problematiky je hlavním cílem práce vzájemně porovnat nově získaná data s historickými daty, získanými v rámci rozsáhlé vzorkovací kampaně Komplexního průzkumu půd, realizovaného v letech 1961-1971. Obě sady dat popisují půdní vzorky získané na sledovaném území v oblasti Českobudějovické pánve. Cílem práce je objasnit, jaký vliv má intenzivní odvodňování na změny v obsahu organického uhlíku v půdě. Kromě vlivu aplikovaných meliorací byl rovněž analyzován vliv změny ve využívání půdy v delším časovém horizontu.

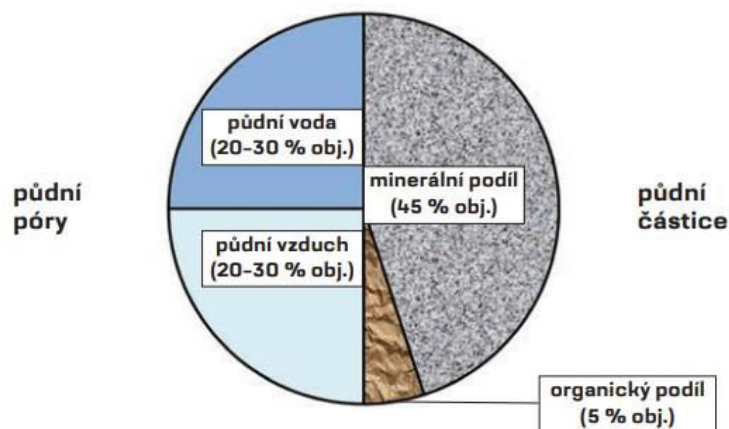
2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je na základě srovnání historických a aktuálních dat analyzovat intenzitu a faktory změn v obsahu organické hmoty v minulosti intenzivně odvodňovaných půd v oblasti Českobudějovicka.

Hypotézy:

H1: *Ve sledovaném období došlo v zájmovém území ke změně obsahu humusu v půdě.*

H2: *Míra změny obsahu humusu v půdě se liší v závislosti na způsobu využití půdy a jeho změně.*



Obrázek 2: Procentuální obsah složek půdy, zdroj: Šimek & Elhottová 2015

Organický uhlík (Cox) je nedílnou součástí orné půdy světa pokrývající více než 1500 milionů hektarů povrchu Země. Procentuální obsah organické hmoty v ornici a podorničí je velmi variabilní. Pohybuje se od několika jednotek až po desítky procent organického uhlíku (Lal et al. 1998). Na obrázku č. 2 je vyznačeno procentuální rozložení jednotlivých složek půdy, kde obsah organické složky půdy činí v průměru 5 % z celkového objemu půdy (Šimek & Elhottová 2015).

Také působení člověka na koloběh uhlíku je významné. Jedná se převážně o chemické či mechanické zásahy do půdy při zemědělské činnosti nebo při urbanizaci. Nastalé změny se projeví zejména na mikrobiální aktivitě, provzdušnění a zavodnění půdy, jejíž funkce, potažmo stabilita, je silně narušena. Takové zásahy ovlivňují úbytek i nerovnoměrný lokální rapidní nárůst organické hmoty. Cyklus uhlíku je pak následně těmito změnami ovlivňován (Lal et al. 1998).

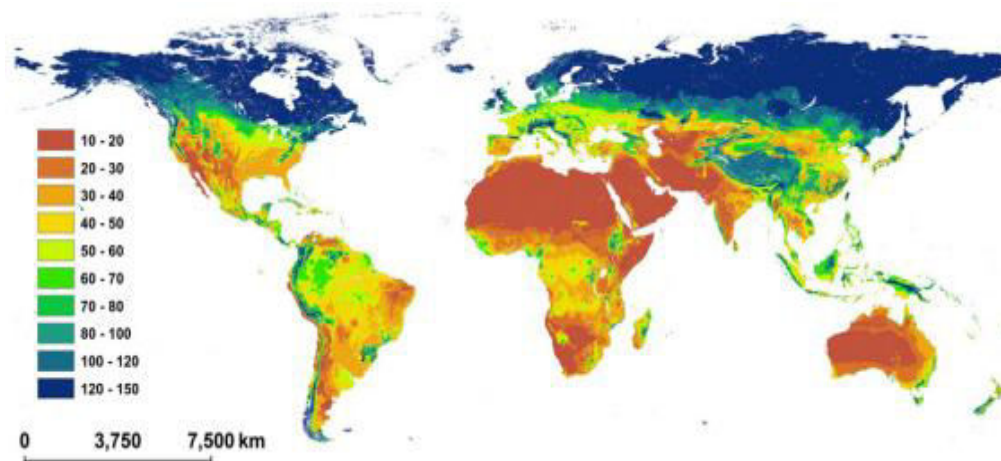
V tabulce 1 lze vidět množství organického uhlíku obsaženého v humusu v procentech. Hodnoty pohybující se okolo 2 % a vyšší považujeme za vhodné z hlediska úrodnosti a stability půdy (Tomášek 2007).

Tabulka 1 - Obsah humusu v půdě (%), zdroj: Tomášek 2007

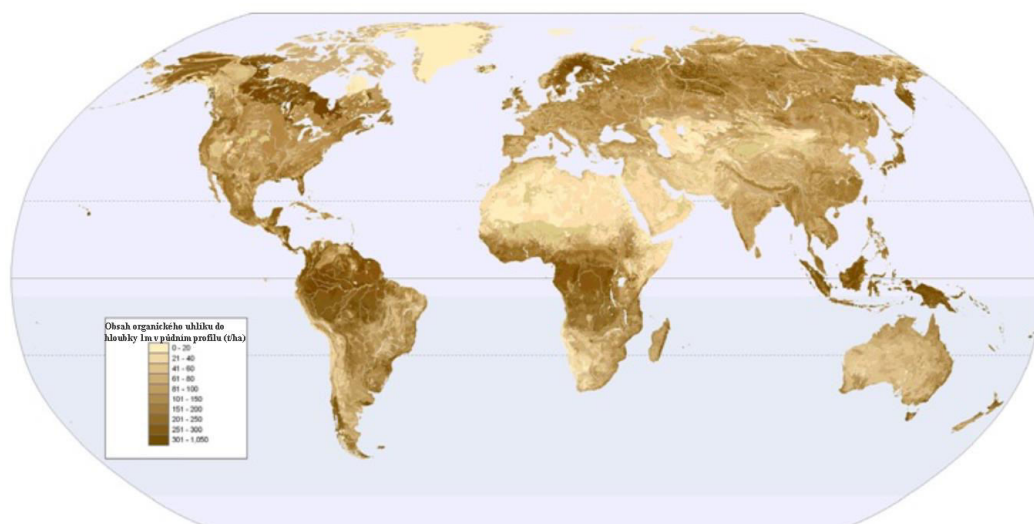
Obsah Cox (spalitelný uhlík) v humusu (%)	
velmi nízký	< 1 %
nízký	1-2 %
střední	2,1-3 %
vysoký	3,1-5 %
velmi vysoký	> 5 %

Zásoby organického uhlíku v půdách mnohonásobně převyšují množství obsažené v rostlinných tělech a atmosféře. Často je uváděna zásoba organického uhlíku v t/ha nebo g/kg. Zobrazení v mapách bývá zpracováno pro svrchní vrstvu půdy do 30 cm, nověji i pro hlubší partie půdy do 1 m. Globální zásoby organického uhlíku ve svrchní vrstvě půdy a ve

vrstvě do 1 m jsou znázorněny na obrázku č. 3 a č. 4 (Minasny et al. 2017; Scharlemann & Tanner 2014).



Obrázek 3: Zásoba organického uhlíku v t/ha v ornici, zdroj: Minasny et al. 2017



Obrázek 4 - Zásoba organického uhlíku v půdách do hloubky 1 m, uváděno v t/ha; zdroj: Scharlemann & Tanner 2014

3.1.2 Koloběh uhlíku

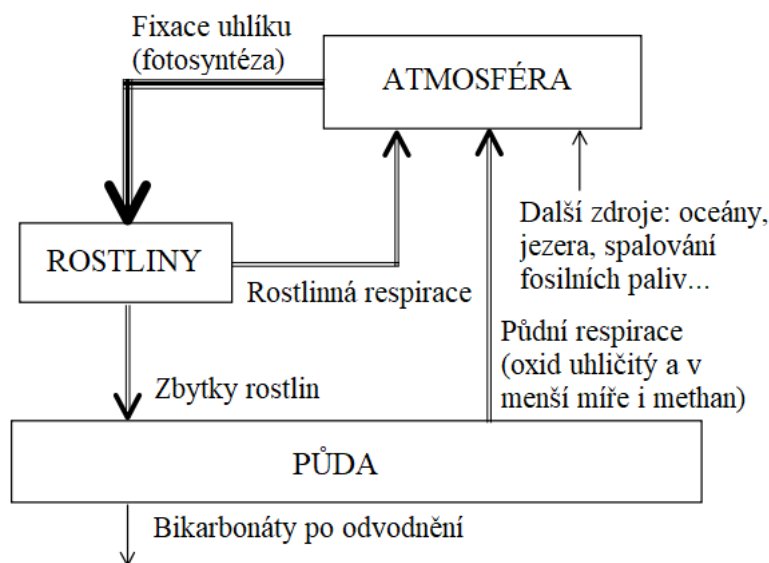
Funkční koloběh uhlíku je předpokladem pro život na Zemi, protože uhlík je jedna ze základních stavebních složek živých organismů. Vzhledem k tomuto faktu se koloběhu účastní rostliny, mikroorganismy, zvířata a lidé v součinnosti s atmosférou a neživými složkami přírody (Brady & Weil 2008).

Koloběh uhlíku podléhá kvantitativním a kvalitativním změnám organické hmoty. K úbytku dochází při půdní respiraci (v mnoha případech podpořen erozí) a ke zvýšení při převážně lokální aplikaci organických látek (např. hnojiv) nebo postupným rozkladem rostlinných a živočišných těl (Brady & Weil 2008).

Jak již bylo zmíněno, koloběh organické hmoty v půdě je velmi variabilní. Pro ilustraci uhlíkového cyklu lze využít např. kukuřičné pole v době vegetace. Díky fotosyntéze vyprodukuje tato zemědělská plodina okolo 17.500 kg/ha sušiny. Sklizenou kukuřicí je

následně krmen dobytek, který jako výsledek metabolizace produkuje do ovzduší CO_2 , představující asi polovinu přijatého uhlíku. Zbytek je v podobě hnoje opět využit. Část CO_2 zůstává v posklizňových zbytcích, které jsou dále rozkládány půdními organismy. Tak se začíná vyvíjet humusová vrstva obsahující organické látky v různých fázích rozkladu. Rychlost přeměny organické složky půdy v humus je proměnlivá a různí se díky variabilním vlastnostem půd. Stále však dochází k významnému úbytku organického uhlíku díky respiraci, erozi, vyluhování a vzniku karbonátů. Ztráty jsou závislé na všech zmíněných faktorech, ale dlouhodobě zemědělsky využívaná půda (např. půda dlouhodobě odvodňovaná) má k tomuto větší sklon (Brady & Weil 2008; Zhou et al. 2016).

Na obrázku č. 5 je zobrazeno zjednodušené schéma uhlíkového řetězce. Čím větší je grafické znázornění jednotlivých částí schématu, tím jsou pro celý koloběh důležitější.



Obrázek 5 - Grafické znázornění koloběhu uhlíku, zdroj: Porporato et al. 2003

Celý proces je iniciován rostlinami. Ty z atmosféry přijímají CO_2 , následně ho využijí pro fotosyntézu. Část energie rostliny přijímají a zbývající energie odchází v nezměněné podobě do atmosféry. Při rostlinném rozkladu se energie z rostlinných zbytků vrací zpět do atmosféry ve formě CO_2 a rozložená hmota se akumuluje a stává se součástí půdy, z níž se postupně opět uvolňuje zbytkové množství CO_2 a CH_4 . Ostatní zásoby CO_2 v půdě reagují za tvorby H_2CO_3 , karbonátů, bikarbonátů s příměsí Mg a Na. Rozpustné karbonáty jsou vymývány perkolující vodou. Ostatní sloučeniny jsou odstraňovány složitější cestou a často zůstávají v půdním profilu. Většina sloučenin se však po jejich rozkladu vrací zpět do atmosféry ve formě CO_2 . Jakýkoliv zásah do koloběhu uhlíku se projevuje jako narušení rovnováhy, tudíž se obvykle nejedná o pozitivní změnu. Vzhledem k tomu, že v půdě se nachází až dvakrát více CO_2 než ve vzduchu a vegetaci, je půdní fáze tohoto koloběhu klíčovým faktorem života na Zemi. Půdní organická hmota v rámci koloběhu uhlíku představuje rezervoár třech hlavních uhlíkových frakcí. První se nazývá *labilní uhlíková frakce (aktivní zásoba)*, která je složená z polysacharidů, mikrobiální biomasy a dobře rozložitelných organických látek s relativně vysokým poměrem uhlíku ku dusíku. Druhou součástí je *pasivní uhlík (pasivní zásoba)*, skládající se z hůře rozložitelné organické hmoty

tvořené huminem a huminovými kyselinami. Poslední složka *uhlíková frakce s pomalým koloběhem* má vysoké procentuální zastoupení ligninu a je velmi rezistentní vůči dekompozici (Brady & Weil 2008; Guimarães et al. 2013; Lal et al. 1997).

Rozklad organických látek, probíhající v rámci koloběhu uhlíku, je složen z následujících kroků, ve většině případů na sobě nezávislých. Rozklad můžeme rozdělit na anaerobní a aerobní. Záleží tedy, zda je kyslík dostupný a jaké mikroorganismy se rozkladu účastní. Pokud je kyslík přítomen, působí jako akceptor elektronů. Kolonie mikroorganismů rostou a začínají rozkládat jednotlivé látky, vzniká CO₂, část mikroorganismů odumírá a mineralizuje a uvolní se tak sulfáty a nitráty. Organická složka se mění v humus – koloidní komplex složený z ligninu a metamorfovaných organických látek. Přítomnost mikroorganismů je ve fázi mineralizace klíčová. Úspěšnost této fáze také závisí na dostatečné vlhkosti a stabilních teplotách, ideálně v mezích mírného klimatického pásu (Brady & Weil 2008; Guimarães et al. 2013; Lal et al. 1997).

Pokud kyslík není přítomen, je rozklad zpomalen a některé sloučeniny jsou rozloženy jen zčásti. V literatuře se lze setkat s těmito pojmy: *ulmifikace* – nekompletní rozklad probíhající bez přístupu vzduchu, jehož produktem je rašelina. Rašelina vzniká dekompozicí látek bílkovinné povahy a celulózy. Další z procesů probíhajících bez přístupu vzduchu je *karbonizace*, v češtině také známá pod pojmem uhelnatění, protože výstupním produktem je uhlí tvořené humusovou složkou s nižším obsahem biogenních prvků. Pokud dochází v jednotlivých vrstvách půdního profilu ke střídání aerobního a anaerobního rozkladu, nazýváme tuto fázi přeměny tzv. *humifikací*. Rozklad může být podpořen při neutrálním pH, příznivé vlhkosti půdy, dobrém provzdušnění a stabilní teplotě. Vzhledem ke změnám v přístupu vzdušného kyslíku nedochází pouze k rozkladu látek, ale i jejich syntéze. Mezi produkty patří organické kyseliny (mléčná, citrónová, jablečná), alkoholy, fenoly (vzniklé syntézou z ligninu), methan a humusové látky, jejichž koloběh je ze všech zmíněných produktů rozkladu nejdělsí. Proto se jedná o složku půdy vykazující nejmenší labilitu (Brady & Weil 2008; Lal et al. 1997).

Jako příklad rozkladu organické hmoty na jednotlivé složky lze uvést roční akumulaci a následnou degradaci 100 g organické hmoty. Dvě třetiny (cca 60-80 g) hmoty jsou oxidovány a přeměněny na CO₂, který vstupuje do atmosféry. Zbývá třetina hmoty (cca 20 g) zůstává v půdě, mění se v biomasu a stává se součástí humusu (Brady & Weil 2008).

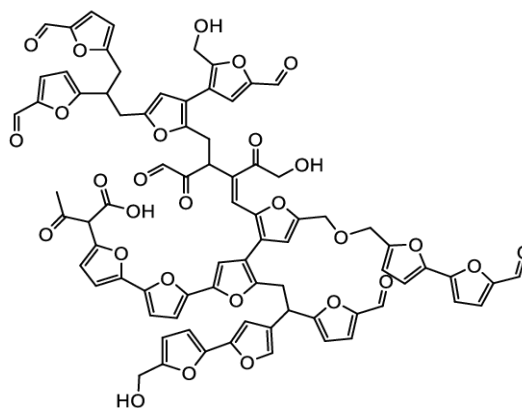
3.1.3 Humus – jeho složky a vliv na půdní úrodnost a růst rostlin

Humusová složka organické hmoty zahrnuje humus, jeho složky, včetně huminů, humátů, huminových kyselin a fulvokyselin. Z chemického a fyzikálního hlediska se jedná o heterogenní směs organických látek tvořenou mikromolekulami navzájem spojenými nekovalentními chemickými vazbami. Humus tvoří až 75 % obsahu organické hmoty. Jeho obsah v půdě má významný vliv na její úrodnost a zásobování rostlin živinami. S tímto souvisí podpora růstu rostlin díky optimalizaci přísunu dusíku, uhlíku a podpoře sekundárního metabolismu. Vyvážený obsah humusové složky v půdě zvyšuje účinnost využití makro a mikronutrientů a jejich distribuci (Pettit 2008; Nardi et al. 2016).

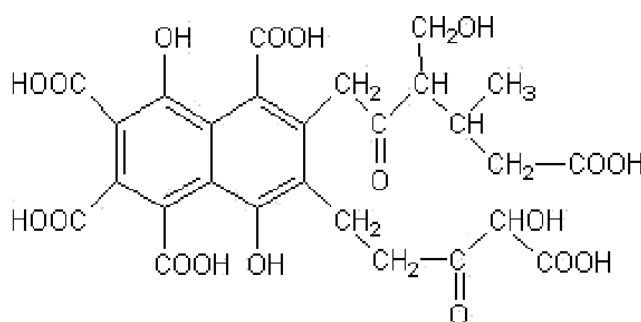
Půda obsahující vyvážený poměr níže zmíněných složek je půdou méně náchylnou k působení stresorů. Její produkční schopnost je zvýšená. Díky této skutečnosti lze o humusu

uvažovat jako o přirozeném hnojivu. Jednou z nejvýznamnějších vlastností humusové složky půdy je její schopnost stabilizovat půdní strukturu. Toto je umožněno díky dvěma funkčním mechanismům. Prvním mechanismem je zvýšená odolnost vůči mikrobiálnímu rozkladu díky chemické struktuře, která obsahuje četná aromatická jádra. Druhý mechanismus, projevující se zvýšenou afinitou k minerálním látkám, opět narušuje mikrobiální rozklad. Tímto je zvyšována stabilita a celkové zdraví půd. V případě, že je dlouhodobě snižován obsah humusové složky, např. nevhodným využíváním půd, půdy se hůře obhospodařují a jsou méně úrodné (Pettit 2008; Gerke 2018; Nardi et al. 2016).

Huminy (obrázek č. 6) jsou důležité pro retenci vody v půdě, upravují půdní strukturu, a tím i její stabilitu a úrodnost. Jedná se o barevně nejtmavší makromolekuly větších rozměrů nerozpustné v zásadách i kyselinách. Jsou velmi odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu. Mají velkou schopnost na sebe vázat minerální látky. V současnosti se výzkumu této složky půdy věnuje více odborníků, protože huminy představují více než 50% obsahu organického uhlíku v půdě a jejich role v celkovém koloběhu uhlíku je tedy významná (Pettit 2008; Rice 2001).



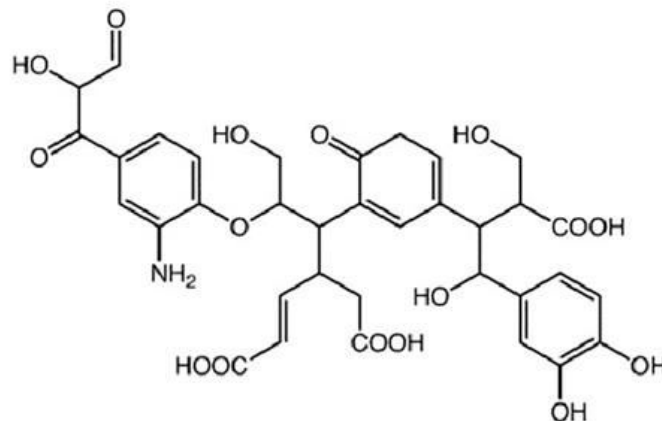
Obrázek 6 - Chemická struktura huminu, zdroj: Wang et al. 2016



Obrázek 7 - Chemická struktura fulvokyselin, zdroj: Buffle 1977

Fulvokyseliny (obrázek č. 7) jsou na rozdíl od huminů rozpustné ve vodě při jakémkoliv pH. Jejich molekuly mají poměrně malé rozměry, a proto velmi dobře přestupují do kořenových systémů, listů a stonků. Jedná se o nejsvětlejší složku humusu. Přenáší stopové prvky z povrchu až k jednotlivým buňkám rostlinných pletiv. Mohou pak být využity jako stimulatory růstu v podobě postřiků obsahující fulvokyseliny ve formě chelátů (Pettit 2008).

Huminové kyseliny jsou typické variabilními chemickými vlastnostmi, jelikož se jedná o polymery s různým počtem vazeb, často s navázanými aromatickými jádry (obrázek č. 8). Tyto kyseliny jsou specifické tím, že dokážou na svůj povrch vázat jílové minerály a vytvářet tak stabilní komplexy. Proto jsou významné iontoměniče a chelatotvorné látky (Pettit 2008).



Obrázek 8 - Chemická struktura huminových kyselin, zdroj: Fayiz 2012

Z níže uvedené tabulky vyplývá, že poměr zastoupených kyselin v humusu má významný vliv na celkovou úrodnost a stabilitu půdy. Nejvíce příznivé podmínky vykazovaly půdy s vyšším poměrem huminových kyselin ku fulvokyselinám (Tomášek 2007).

Tabulka 2 - Poměr zastoupených huminových kyselin ku fulvokyselinám v humusu; zdroj: Tomášek 2007

Poměr	Výstup
Méně než 1	Nepříznivé
1,0-1,1	Středně příznivé
> 1,1	Velmi příznivé

Množství zastoupených jednotlivých složek humusu v půdě ovlivňuje výslednou barvu a její intenzitu, chemickou aktivitu, pH, rozpustnost a obsah biogenních prvků. Půda s vysokým obsahem fulvokyselin se jeví světlá, díky kyselejšímu pH a poklesu v obsahu kyslíku. V půdě s vyšším obsahem fulvokyselin polymerace probíhá v menší míře a vykazuje menší molekulární hmotnost. Půdu nasycenou huminy charakterizuje velmi tmavá barva, pH obvykle vyšší než 7 a vyšší molekulární hmotnost (Guimaräes et al. 2013; Lal et al. 1997).



Obrázek 9 - Zjednodušené schéma variability vlastností jednotlivých složek humusu, zdroj: Stevenson 1994

Humáty jsou soli huminové kyseliny nebo fulvokyseliny. Pro každou půdu jsou specifické a jedinečné, díky schopnosti vázat různé typy a formy minerálů. K tomuto jevu dochází díky disociaci vodíkového iontu. Vzhledem k tomu, že většina výše zmíněných látek má rozměrný povrch a působí jako iontoměniče, lze tvrdit, že všechny mají společnou jednu důležitou vlastnost, a to poutat vodu o objemu až sedmkrát vyšším než je jejich vlastní objem. Zadržovaná voda je pak nezastupitelným médiem pro přenos živin nutných pro správný vývoj a růst plodin. Další funkce zahrnují: neutralizace pH v půdě, stabilizace půdních enzymů, zamezení nadměrnému vypařování vody, stimulační efekt pro zvýšení vstřebávání dusíku, fosforu a draslíku rostlinami nebo pozitivní vliv na růst semen (Pettit 2008; Hodges 2010).

Mimo již zmíněné složky se zbývajících 25 % obsahu humusu skládá z ostatních biomolekul strukturálně a chemicky odlišných. Převážně se jedná o polysacharidy, polymery podobné svou strukturou sacharidům, proteiny a organické kyseliny (Brady & Weil 2008).

3.2 Voda a vodní režim v půdě

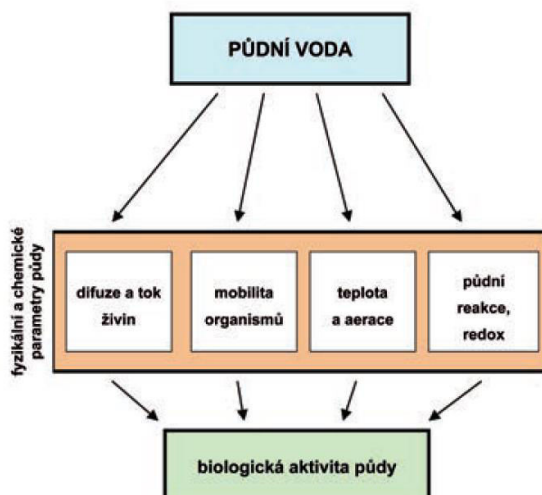
3.2.1 Koloběh vody v půdě

Jeden z předpokladů optimálního vývoje a růstu plodin na zemědělských plochách je vhodné hospodaření s vodou a sledování vodního režimu půd. Nejdůležitějšími úpravami vodního režimu půd jsou: zavlažování (irigace) nebo opačný postup – odvodňování (drenáž). Vodní režim půd sestává ze čtyř fází: evaporace, transpirace, infiltrace a vnitřní drenáže (Singh et al. 1998).

Voda, která se přeměnila na vodní páru (proces evaporace a transpirace) se ze zemského povrchu nebo povrchu rostlin přesouvá do atmosféry, kde se postupně transformuje v oblaky. Při fyzikálních změnách v atmosféře se voda nacházející se v oblacích začne kondenzovat a v podobě kapek dopadá na zemský povrch. Půda vodu, která nestekla po povrchu, zčásti vstřebává a ta je dále distribuována v půdním profilu. Přibližně polovina z celého objemu srážkové vody je následně odvedena mimo půdní profil pomocí přirozené nebo řízené drenáže. Směr pohybu vody a její schopnost infiltrace je ovlivněna reliéfem, fyzikálně chemickými vlastnostmi půdy a konkrétním využitím dané plochy. Část takto odvedené vody se vrací zpět kapilárním zdvihem. Na tomto komplexním procesu se podílí samotná půda, jejíž vlastnosti ovlivňují retenci vody a přenos jednotlivých látek půdním profilem. Obecně dobře odvodňované půdy jsou více stabilní než půdy s kolísavým a

nekontrolovaným koloběhem vody. Množství sladké vody v půdě je druhé největší po zásobě vod v jezerech (Singh et al. 1998; Brady & Weil 2008).

Na obrázku č. 10 je vyobrazeno schéma vlivu vody přítomné v půdě na některé půdní procesy.



Obrázek 10 - Zjednodušené schéma vlivu půdní vody na aktivity v půdě; zdroj: Šimek & Elhottová 2015

3.2.2 Úprava vodního režimu půd a jeho důsledky

Voda je považována za základní faktor nutný ke správné funkci půd jakožto zemědělských ploch, avšak jako problematický se jeví její nedostatek či přebytek. Obě situace lze v mnoha případech řešit vhodnými úpravami, a to zavlažováním nebo odvodněním. V této kapitole se budeme věnovat převážně odvodňování (Brady & Weil 2008).

Výkyvy ve vodním režimu jsou jedním z nejčastějších důvodů, proč se lze na malé ploše setkat s velkými rozdíly v obsahu organických látek u pozorovaných půd. Vodní režim půd je také významně ovlivňován atmosférickými srážkami, hladinou podzemní vody, geografickou polohou sledované plochy a jejím reliéfem. Neméně důležité jsou i faktory jako půdní struktura, zrnitost a land use. Vodou nasycené, špatně provzdušněné půdy jsou obecně spíše hůře využitelné pro zemědělské účely. Hlavními důvody jsou zhoršená úrodnost půd, zhoršená manipulace se zemědělskou technikou, vodní stres rostlin projevující se např. uhníváním kořínků a silnější kapilární zdvih narušující půdní strukturu a stabilitu. Z výše zmíněných důvodů je správně aplikované odvodnění vhodné. Jednu z výjimek však tvoří mokřadní společenství. Takové ekosystémy jsou trvale nasyceny vodou, která tvoří základ stability celého systému. Mezi přínosy umělého odvodnění můžeme zařadit stabilizaci půd po stránce fyzikální i chemické, zvýšení produkce a odolnosti plodin, rychlejší prohřívání půdy, snížení tvorby metanu a dusíkatých sloučenin a snížení rizika zaselování (Brady & Weil 2008).

S drenážními sítěmi různých typů se lze setkat v průměru na více než 25 % zemědělských ploch v České republice. Z hlediska množství aplikovaných meliorací jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými kraji. Tyto meliorace výrazně upravují vodní režim půd

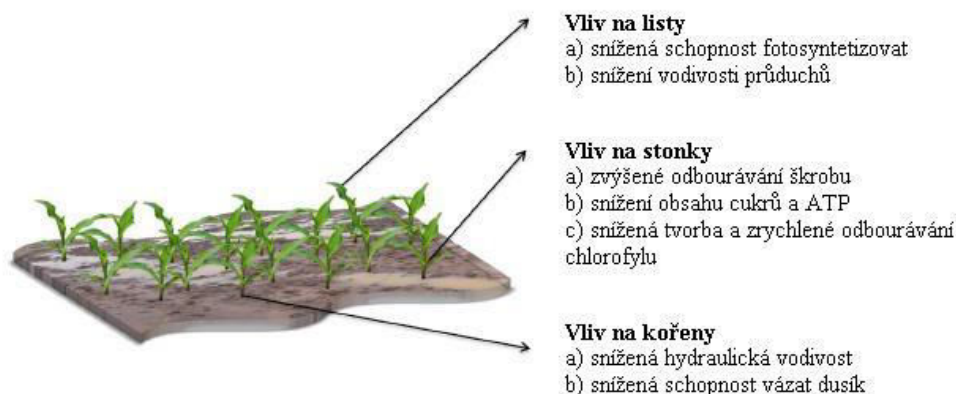
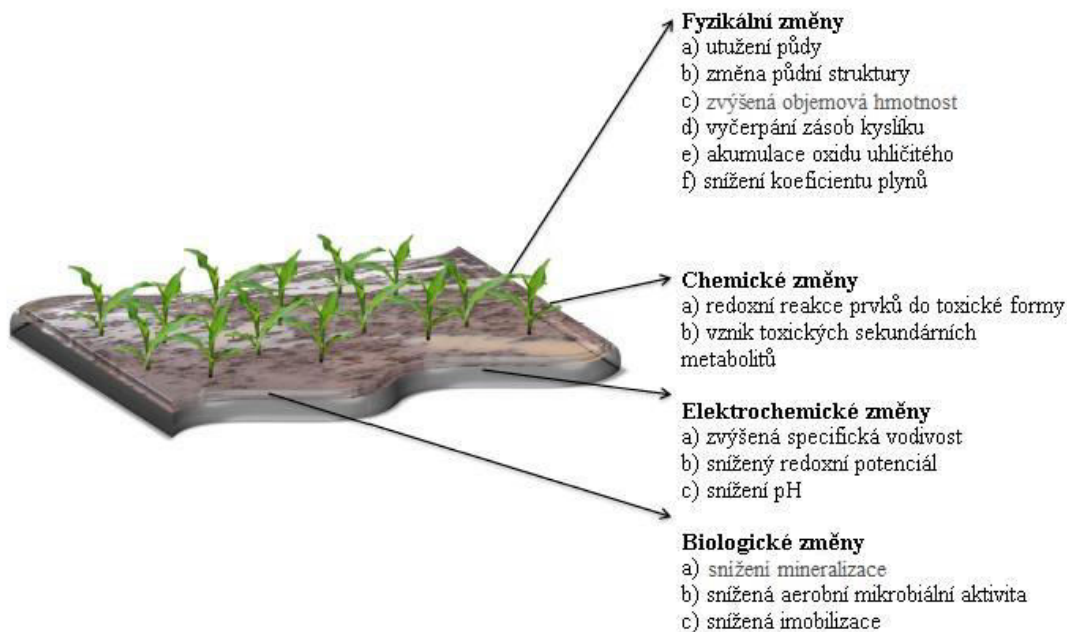
podle požadavků zemědělce. Z hlediska stability vodního režimu ovlivňují výšku podzemní vody, míru výparu a půdní vlhkost (Soukup 2006; Vopravil et al. 2008).

Na vodní režim půd působí také umístění drenážních kanálků (kapacita, hloubka, rozestupy, množství) a regulace odvodňování v daném místě. Za zásadní lze považovat změny pH, elektrické vodivosti a změnu v obsahu iontů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , N-NO_3^- , N-NH_3 , P-PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) (Soukup 2006; Vopravil et al. 2008).

Z výše zmíněného vyplývá, že vodní režim půd může být ve vyšší míře ovlivňován antropogenní činností. Nejčastěji tomu tak je, jedná-li se o nevhodná meliorační opatření. Tento lidský zásah se pak může podílet na vzrůstu stresu následně působícího na rostliny a půdní organismy, které se musí přizpůsobit nově vzniklým podmínkám se zvýšenou incidencí nepravidelného přísunu vody. Snižuje se tak významně absorpce živin rostlinami kvůli omezení přestupu iontů přes kořenový systém. Čím více vodní režim kolísá, tím je dostupnost živin horší. Dochází k tomu, že se většina minerálů přesouvá do kořenového systému z listů, ve kterých se např. mění i poměr C:N, kdy se mnohonásobně snižuje příjem uhlíku vůči dusíku (Singh & Singh 2004).

V mnohých případech je lidská intervence nezbytná. Například v oblastech s vysokým úhrnem dešťových srážek, kde vodní režim extrémně kolísá. Zde je nutné přikročit k výstavbě drenážních odtokových rýh. Periodické převlhčení půdy z důvodu přívalových dešťů má za následek sníženou propustnost a riziko utužení půdy, která se pak z hlediska zemědělského využití stává méně úrodnou a hůře obhospodařovatelnou (Bucur & Moca 2011).

Manik et al. (2019) ve své publikaci vysvětluje problematiku zamokřování a jeho vliv na změnu vlastností půdy a růst rostlin, (obrázek č.7). Na úrovni půdních vlastností dochází ke změnám chemickým, fyzikálním, elektrochemickým i biologickým. Růst rostlin je negativně ovlivněn od kořenů až po listy (Manik et al. 2019).



Obrázek 11 - Důsledky dlouhodobého převlhčení půd, zdroj: Manik et al. 2019

Z historických pramenů získáváme informace o existenci a praktikování melioračních opatření již v dobách starověkého Egypta a antického Řecka. Ve většině případů úprava půdních režimů souvisela s potřebou zvýšení produkce i v oblastech se zvýšeným výskytem méně úrodných (např. trvale převlhčených půd) či dříve neobhospodařovaných půd. Taková technická rekultivace zahrnuje drenáže půd. Často byly hydraulické inženýrské sítě zároveň sítěmi irigačními – závlahovými. Dlouholetý vývoj a zdokonalování práce s vodním režimem půd nadále pokračuje (Maslow 2009).

V poslední době však vzrůstá potřeba změny přístupu k melioracím, protože stále nejsme schopni plně porozumět vodnímu režimu půd a často tak dochází kvůli antropogenní činnosti k degradaci půd. Určité formy opatření v zemědělství pak nemůžeme považovat za dlouhodobě udržitelné. Dalším faktorem, který ovlivňuje použitelnost drenáží a z toho vyplývající změny vodního režimu, je stále se snižující objem srážek a postupující změny klimatu (Porporato et al. 2003; Soukup 2006).

Změna klimatu a s ní spojené výkyvy srážek jsou často vyzdvihovaným tématem v akademických i laických kruzích. Méně často se však na tuto problematiku pohlíží z hlediska pedologického. Důsledky dlouhodobě nevyvážených srážek a prodlužujícího se období sucha střídaného přívalovými dešti lze již dnes pozorovat na mnoha místech po celém světě. Evropa není výjimkou. Kvůli nepředvídatelnosti a zvýšené incidenci období přívalových dešťů se rozšiřují oblasti se sezónně převlhčenými půdami. Oblasti jsou typické půdním prostředím s velmi sníženým obsahem kyslíku a v některých hloubkách půdního profilu není kyslík vůbec přítomen. To má za následek změnu chemismu půdy. Mění se redoxní potenciál řady prvků (Mn, Fe) a vznikají sekundární potenciálně fytotoxické metabolity (ethylen, acetaldehyd, těkavé organické kyseliny, reaktivní formy kyslíku a dusíku). Převlhčení však bývá pouze dočasné. V současné době je řešen převážně nedostatek vláhy a zvýšená potřeba zadržovat vodu v krajině. Předpokládá se, že celkový vliv, jak přívalových dešťů, tak období sucha, na pedosféru a zároveň vodní režim půdy, bude v budoucnu také silně působit na kvalitu a funkčnost dalších složek životního prostředí. Jisté je, že nevyrovnanost srážek negativně ovlivňuje dostupnost a kvalitu podzemní i povrchové vody. Na mnoha místech, Českou republiku nevyjímaje, jsou tedy jakékoliv meliorační stavby zaměřené na odvodnění nežádoucí. Celá problematika tohoto tématu se tedy častěji dostává také mezi širokou veřejnost (Šimunic et al. 2019; Manik et al. 2019; Kulhavý 2020).

Dalším problémem kromě množství srážek je jejich distribuce a vsakování do půdy. Dlouhodobě vysychající oblasti s pozměněnými vlastnostmi (chemickými a fyzikálními) půd neabsorbují dostatečné množství vody a při přívalovém dešti se zvyšuje odtok vody z povrchu (Farkas et al. 2014).

Primárním důsledkem je pak nedostatečná produktivita dané plochy (pokud slouží jako plocha zemědělská) pramenící ze snížené celkové produktivity ekosystému. Ke změně vodního režimu vlivem teplotních a srážkových změn dochází také mimo zemědělské plochy. Zasaženy jsou lesy, louky i lidská obydlí s travnatou plochou (Farkas et al. 2014; Kulhavý & Fučík 2014).

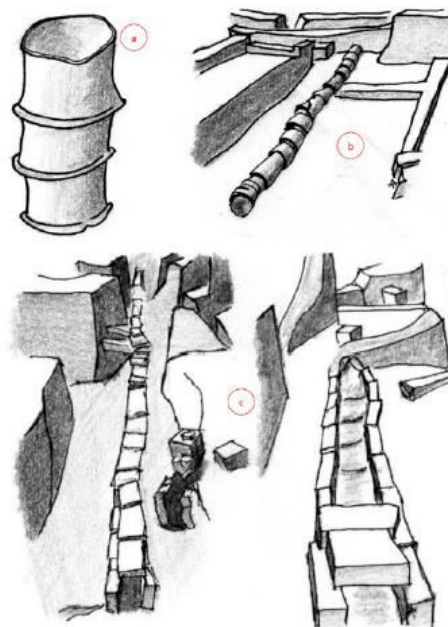
3.3 Meliorace půd odvodněním

V jedné z přechozích kapitol bylo již téma drenáže zmíněno, avšak objasnění této antropogenní aktivity, upravující vodní režim zemědělsky využívaných půd, bylo zkrácené. Kapitola Meliorace půd odvodněním rozvíjí podrobněji některé zásadní aspekty této činnosti.

3.3.1 Historie a význam odvodňování půd

Odvodňování půd v historickém kontextu můžeme vnímat jako antropogenní činnost, která je součástí zemědělských aktivit člověka na Zemi již od jejich počátku. Z dochovaných pramenů vyplývá, že dlouholeté zkušenosti s přizpůsobováním vodního režimu půd měli Íránci již 4000 let před Kristem, Egypťané, Číňané, obyvatelé tehdejší Mezopotámie nebo antičtí zemědělci z doby helénské. Vývoj technik se neustále zdokonaloval a měnil se i pohled člověka na obhospodařované plochy. S rostoucím zájmem o nové technologie pak vývoj postupoval velmi rychle, avšak původní funkční princip a indikace pro zahájení odvodňování se výrazně nezměnily. Absence odvodňovacích aktivit v rozsáhlých oblastech se silně zavodněnými půdami naopak v důsledku mohla vést až k závažnému snížení potravinové soběstačnosti obyvatelstva a hladomorům. Takto je některými autory vysvětlován například zánik sumérské civilizace (Valipour et al. 2020).

Díky četným archeologickým výzkumům v oblasti Hamadánu a jihozápadního Íránu bylo zjištěno, že již v letech 8000-4800 před Kristem byly využívány systémy přívodných a odvodných kanálů postavených patrně v době neolitu. Irigační a zároveň drenážní síť trojúhelníkového tvaru o hloubce 24 cm je považována za jednu z prvních na světě. Dalším nalezištěm bylo město Choga Mish, kde byla objevena soustava koryt vytvořených z vypálených hliněných cihel (Tamburrino 2010). Na obrázku č. 12 lze vidět schématické zobrazení nalezených odvodňovacích kanálů s trubkami z pálené hlíny.

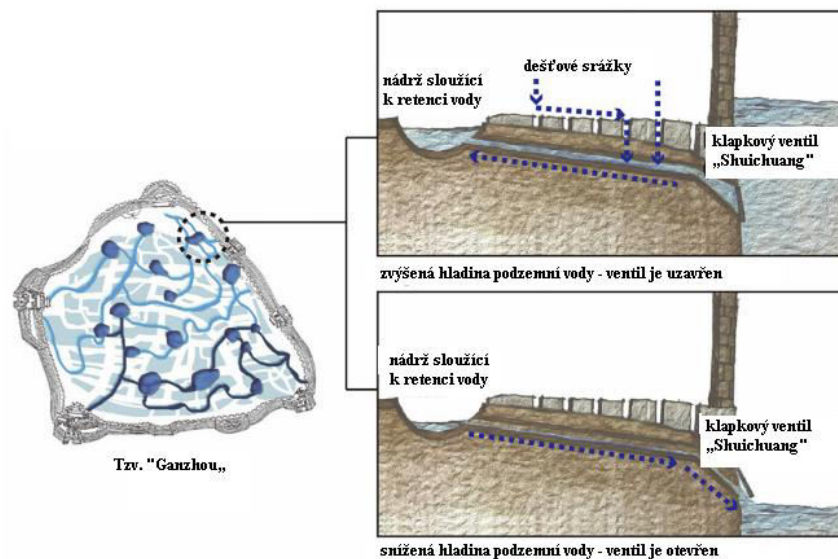


Obrázek 12 - Schéma odvodňovacích kanálů nalezených v Íránu, zdroj: Valipour et al. 2020

Jako pozitivní příklad dobrého hospodaření můžeme uvést také civilizaci mínojskou. Kombinace teplého a suchého klimatu zvyšuje potřebu udržení vody v krajině. Proto již v době rozvoje civilizace na ostrově Kréta byl v rámci budování Knóssu a dalších měst, např. v oblasti Lassithi, součástí rozměrný komplex tzv. linií, tedy systém navzájem propojených rovných trubek o různém spádu svědčící o tehdejších dobrých znalostech hydrauliky. Civilizace antického Řecka a Říma navázaly na funkční starobylé techniky a pouze zvětšily jejich rozsah a efektivitu. Díky těmto zásahům do vodního režimu půd nedocházelo ani v době helénské k vyčerpání zdrojů a kolapsu (Papadopoulos 2012).

Kromě Řeků měli výborné znalosti o vodním režimu půd Egypťané v čele s faraonem Menim, který započal stavbu rozsáhlých zavlažovacích sítí z důvodu ochrany měst před záplavami. Zemědělství mělo v okolí delty řeky Nil vždy významnou roli. Proto v období Staré říše vznikla na tomto území sofistikovaná soustava hrází, jež rozdělila řeku na jednotlivá povodí a zátoky (Lewis 2010).

V Číně již v době 200 před Kristem vznikl koncept odvodňování kombinovaného se zavlažováním, což vedlo ke stabilizaci tehdejších zemědělských ploch využívaných především k pěstování rýže. Jedním z důvodů, proč se na území Číny rozšiřovaly tyto meliorace, byla stabilizace vodního režimu půd po nárazových monzunových deštích. Odvodňovací kanály tak sloužily primárně jako preventivní prvky proti záplavám a zároveň jako zásobárna vody během období sucha. Ve spisech z dob vládnoucí dynastie Jin je zřejmé, že Číňané používali pro jejich pojmenování slovo „Quan“ popisující soubor drenážních kanálků vedoucích pod povrchem zemědělských ploch a navazujících na systém postupně se rozšiřujících kanálů propojených s hlavním přítokem řeky. Jednalo se o náročné projekty vedené tehdejší vládou na celonárodní úrovni. S realizací menších projektů pro jednotlivé zemědělce se začalo až později, v době vlády dynastií Xining a Quing. Jeden z významných projektů byl zrealizován v oblasti Ganzhou pod názvem „Shuichuang“ (viz obrázek č.13) (Chen 2005; Cun et al. 2019).



Obrázek 13 - Schéma odvodňovacího systému Shuichuang v oblasti Ganzhou, zdroj: Cun et al. 2019

Kromě Asie, Evropy a Afriky k rozkvětu hospodaření s vodními zdroji došlo na území Střední Ameriky, konkrétně Belize. Mayové dokázali postavit impozantní systém visutých teras zavlažovaných a zároveň odvodňovaných pomocí vody, kterou tamější obyvatelé získávali převážně ze srážek a vhodně ji pak distribuovali do jednotlivých částí celého komplexu (Valipour et al. 2020).

Původní primitivní drenážní rýhy byly nahrazeny vydlážděnými koryty nebo hydraulickými systémy trubek umístěných v různé hloubce pod povrchem. I v dobách renesance a osvícenství bylo toto odvětví nadále rozvíjeno, ale k významným změnám nedocházelo. Velký rozkvět nastal v období průmyslové revoluce a na začátku 20. století, kdy byl ve zvýšené míře kladen důraz na výkonnost zemědělství a vývoj jeho jednotlivých odvětví. Lze konstatovat, že vývoj se nezastavil, docházelo dále k pokrokům, ale spíše spojených se změnou používaných materiálů, ze kterých byly drenážní systémy vyráběny. Příkladem může být první použití cementu v polovině 19. století, jakožto vhodné alternativy hliněných trubek. Posledních 150 let dochází k nahrazování opotřebovaných součástí odvodňovacího systému plasty a plošné digitalizaci systémů. Zvyšuje se globální potřeba maximálního využití dostupných vodních zdrojů a zachování udržitelnosti těchto metod (Maslow 2009; Valipour et al. 2020).

Významný důvod, proč je odvodňování využíváno po staletí, je jeho schopnost vytvořit vhodné podmínky pro hospodaření. Z trvale zaplavované oblasti lze získat úrodné a po stránce chemicko-fyzikální příznivé plochy pro zemědělskou činnost. Odvodňovací systémy staré stovky let jsou dále využívány na území Holandska, Belgie, Německa, Finska nebo Bangladěše. Nejčastějším důvodem, proč bylo na území těchto států zvoleno toto meliorační opatření, je ochrana obyvatel před záplavami a potřeba zvýšení potravinové soběstačnosti v oblastech s omezenými zdroji. Trvalým i sezónním převlhčením docházelo k poklesu činnosti mikroorganismů v půdě, tudíž omezení humifikace a vzniku méně kvalitní organické složky půdy (Maslow 2009).

3.3.2 Historie odvodňování na území České republiky

Bylo již zmíněno, že určitá forma drenáží na různých úrovních byla globálně aplikována již v minulosti. V České republice se plošná meliorační opatření začala častěji aplikovat až v 19. století. Do té doby se forma drenáží podobala spíše lokálním zásahům jednotlivých zemědělců. Uspořádání tehdejších drenážních systémů připomínalo anglická a německá dlážděná korýtka. Technicky se jedná o primitivní, avšak relativně účinný způsob odvodňování (Kulhavý et al. 2007).

Česká republika je situována v oblasti mírného klimatického pásu, s pravidelně se střídajícími ročními obdobími. V zimě, na počátku jara a v létě se však občasně vyskytují přívalové deště a v různých nadmořských výškách kumulace sněhových srážek a jejich následné tání. Vše má za následek periodické zavodňování, které má vliv na celkový koloběh vody v půdě (Kulhavý et al. 2007).

Proto se i přes příznivější podmínky začala aplikovat meliorační opatření nejprve především v nížinných oblastech na Moravě a v pěstitelských oblastech západních a jižních Čech, kde došlo i k odvodňování mokřadů. Intenzivnějším výzkumem v této oblasti se na konci 19. století věnoval prof. Kopecký. Pomohl tak zlepšit kategorizaci půd podle

zrnitostního složení a textury. Zvolení správné metody odvodnění pak bylo snažší, protože byla dopodrobna řešena vododržnost jednotlivých půd v návaznosti na jejich fyzikální vlastnosti (Kulhavý et al. 2007).

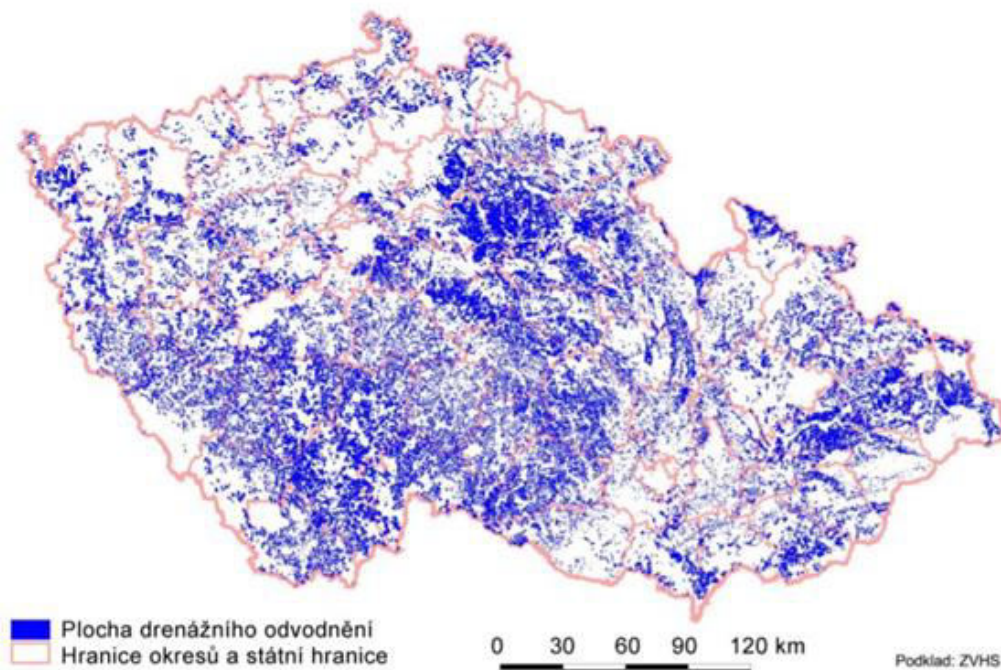
Výzkum pokračoval dále ve 20. století, kdy byla vybudována většina odvodňovacích systémů. Nejprve se meliorační opatření aplikovala v intenzivně zemědělsky využívaných nížinách na Moravě. Takto se postupovalo převážně v době před první světovou válkou a v mezidobí mezi světovými válkami. Zmíněné období bylo typické zvýšenou iniciativou zemědělských spolků a podporou státu. Největší rozkvět v projektování a realizaci odvodňovacích systémů však nastal po nástupu komunistického režimu na území dnešní České republiky. Rapidně se zvýšila poptávka po zajištění potravinové soběstačnosti. Technologický rozvoj v zemědělství vyústil v masivní aplikaci plošných melioračních opatření. Intenzivní zemědělské obhospodařování se rozšířilo také v méně úrodných a okrajových oblastech. Zavodnění tamějších půd bylo způsobeno především průsakem podzemních vod a odtokem a následnou stagnací vody z vyšších nadmořských výšek. Méně úrodné půdy byly hlinité až jílovité, tudíž vodní režim byl tímto ovlivněn a management těchto půd byl obtížnější (Kulhavý et al. 2007).

V 70. letech 20. století stále rostla intenzita zemědělské výroby. Při budování nových drenážních systémů byly využity nové poznatky o hydraulice. K odvodňování byla připojena možnost zavlažování a zadržování vody. Celková kolektivizace zemědělství, vyvlastnění pozemků a propojení státního řízení se zemědělskou výrobou vedlo ke vzniku rozsáhlých, mnohdy nevyhovujících, odvodňovacích komplexů. Často byl při projektování a výstavbě opomenut faktor udržitelnosti a vhodnosti umístění v krajině. Mnohé meliorační zásahy absolutně nerespektovaly hranice jednotlivých pozemků a ráz krajiny. Dalším problémem se stala četná absence projektové dokumentace a mapování jednotlivých zásahů na pozemcích. Existují však mnozí odborníci, kteří tvrdí, že intenzivní meliorace nejsou problémem, ale potřebným zásahem pro zlepšení kvality půdy a kvality života lidí žijících v okolí a konzumujících plodiny vypěstované na meliorovaných plochách. Přírozená mozaikovitost a biodiverzita krajiny byla intenzivními zásahy narušena. Důsledky historických zásahů do krajiny, probíhající během komunistického režimu, stále můžeme detekovat a měřitelným způsobem zhodnotit (Kulhavý et al. 2007).

3.3.3 Odvodňování na území ČR v současnosti

Státem zkonfiskované zemědělské plochy byly po pádu komunistického režimu v 90. letech 20. století restituovány. Bývalým majitelům tak byly navráceny pozemky se všemi úpravami, které byly od roku 1948 do roku 1989 plošně aplikovány. Nynější majitelé jsou tedy zároveň vlastníci odvodňovacích systémů. Často s tímto však nebyly seznámeni, a tak velké množství drenážních systémů postupně ztrácí schopnost půdy odvodňovat a nadále chátrají. Zemědělská vodohospodářská správa eviduje k dnešnímu dni více než 1 milion hektarů odvodněných ploch půdy. Od roku 1990 do současnosti nebyly budovány nové odvodňovací systémy ve větším měřítku. Kvůli nedostatečnému mapování a vedení databází o jednotlivých melioračních opatřeních však nejsou z větší části obnovovány ani drenáže staré (Kulhavý et al. 2007).

V roce 2010 zpracoval Kulhavý et al. popisnou mapu aplikovaných drenážních opatření na území celé České republiky. Ke zpracování využili data dostupná z databáze Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd (VÚMOP); obrázek č. 14).



Obrázek 14 : Mapa drenážního odvodnění na území České republiky; zdroj: Kulhavý et al. 2010

Podle Tlapákové (2013) lze zpětně hydromeliorační stavby efektivně zmapovat pomocí dálkového průzkumu Země (DPZ) a analýzu provést v geostatistických programech. Krajina je pak zmapována z hlediska vlivu odvodňovacích opatření. Data slouží jako podklad pro budoucí úpravy. Metoda DPZ v kombinaci s GIS byla již v tomto případě mnohokrát využita v praxi (Tlapáková et al. 2013).

Aby nedocházelo ke zbytečnému zániku mnoha melioračních systémů, bylo uzákoněno, že úpravy půdního režimu musí být evidovány a postupně digitalizovány. Mnoho informací lze dohledat ve veřejném registru půdy. Na webových stránkách poskytuje VÚMOP přístup do Informačního systému melioračních staveb. Dostupná data v Informačním systému jsou neustále doplňována a jsou čerpána ze Zemědělské vodohospodářské zprávy s četnými aktualizacemi. Cenným zdrojem informací je také momentálně digitalizovaná sbírka dat z Komplexního průzkumu půd (KPP). Pro účely této práce byla použita data jak z původních fyzických zdrojů KPP, tak z digitalizované podoby databáze (Kulhavý et al. 2007; Zádorová et al. 2020; VÚMOP 2021; Digitalizovaná forma KPP, dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=app>; LPIS, dostupné z: <https://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>).

Členství České republiky v Evropské unii ovlivňuje současný a budoucí trend na poli agrotechnických zásahů do půdního pokryvu. Je rozšířena všeobecná snaha o zvyšování povědomí o vlivu melioračních opatření na životní prostředí. Usiluje se o plošnou evidenci a

digitalizaci. Často řešeným tématem je vliv odvodňování na životní prostředí – především vliv na zásobu a jakost povrchové a podzemní vody, erozi a lokální klima (Kulhavý et al. 2007; Kulhavý & Soukup 2010).

Vzhledem k úbytkům srážek a obdobím přívalových dešťů, souvisejícím se změnou klimatu, je dnešní přístup k aplikaci melioračních opatření odlišný než v minulosti. Hlavním cílem by měla být regulace a úprava staveb jak povrchového, tak drenážního odvodnění. Rekonstrukce, modernizace či změna funkce odvodňovacích staveb by mohla pomoci ke stabilizaci množství vody v krajině (Kulhavý & Soukup 2010).

Odborníci uvažují o přestavbě, modernizaci a rozšíření využití hydromelioračních staveb. V dokumentu zveřejněném Ministerstvem zemědělství v roce 2020 bylo doporučeno do roku 2030 postupovat v rizikových oblastech následovně, resp. využít čtyři možnosti úpravy systémů (Kulhavý 2020; příloha tiskové zprávy MZe ČR červen 2020).

- 1) Plošně rekonstruovat hydromeliorační stavby
- 2) Přidat ke stávajícím funkcím funkci zadržování vody
- 3) Odstranit nevyhovující hydromeliorační stavby
- 4) Přidat k současným odvodňovacím systémům mokřady nebo retenční nádrže

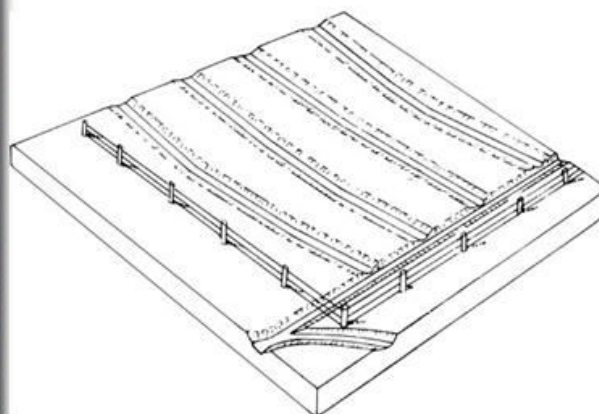
Přetrvávajícím problémem je nadále vlastnictví jednotlivých pozemků, na kterých se hydromeliorační stavby nachází. Současně je řešena otázka dotací, příspěvků, znovuoobnovení vodních družstev a zvýšení povědomí společnosti o této problematice (Kulhavý 2020).

3.3.4 Typy drenážních systémů a jejich použití

Technologický vývoj hydromelioračních staveb je značný, protože probíhá již tisíce let. Proto je v současnosti možné se setkat s různými variacemi drenážních systémů (Valipour et al. 2020; Manik et al. 2019).

1. Povrchová drenáž

Jedná se o jednoduchou, efektivní a levnou aplikaci opatření v povrchové vrstvě půdy. Spočívá v odvádění přebytečné vody z povrchu odvodňované plochy pomocí vybudovaných systémů kanálů a trubek z pálené hlíny či plastu nebo bočních a polních příkopů (*příkopové odvodnění*). Jednotlivé metody lze kombinovat, např. propojením trubkové drenáže s přidavnými odtokovými rýhami. Metody jsou aplikovány na malém území i systematicky na větších plochách. Používají se *lžičkové odvodné kanály*, *kanály ve tvaru písmene W* a *kanály ovlivňující zpětné vsakování*. Použití a úspěšnost této metody je limitovaná sníženým vlivem na boční proud vody a oblast v těsné blízkosti odvodňovacích kanálků (Manik et al. 2019; Balram & Jagadish 2015; Fausey 2005).

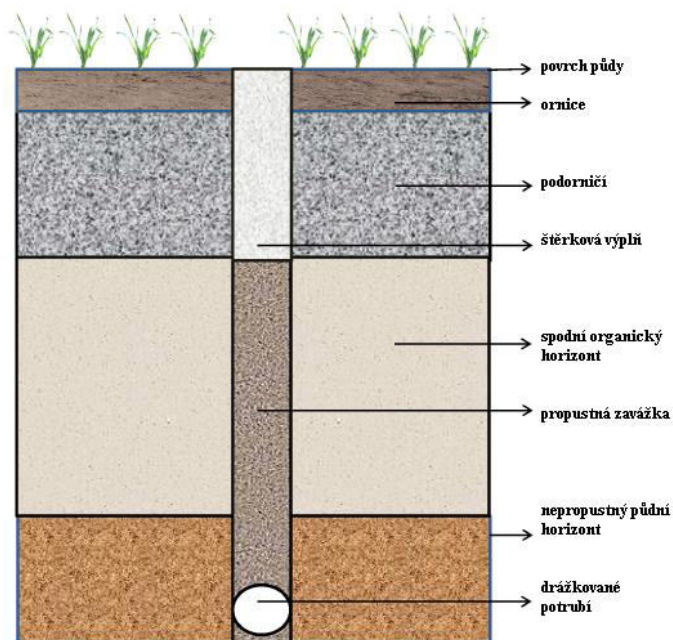


Obrázek 15 - Povrchový (někdy též nazývaný francouzský) systém odvodňování, zdroj: Balram & Jagadish 2015; Fausey 2005

2. Podpovrchová drenáž

V oblastech s přirozeně hrubší a utuženou půdní strukturou nebo s rychlým průtokem vody z výše situovaných míst je častou volbou podpovrchová drenáž. Napomáhá snížit hladinu podzemní vody a pozitivně ovlivňuje vrstvu půdy v oblasti kořenů rostlin. V Evropě je až 50 % drenážních systémů postaveno právě na tomto principu. Hloubka, do které jsou následně umístěny odvodňovací trubice, musí odpovídat topografii, vlastnostem půdy a individuálním potřebám odvodnění. Podpovrchové odvodňovací systémy můžeme rozdělit do více kategorií: *horizontální trubkové drenáže*, *vertikální podpovrchové drenáže*, *krtčí drenáže* (Manik et al. 2019).

Horizontální trubková drenáž pomáhá odvádět přebytečnou vodu z místa prokořenění rostlin. Celá konstrukce se skládá ze systému perforovaných trubek z plastu nebo pálené hlíny, které jsou navzájem propojeny pod povrchem. Kromě těchto materiálů se používá také štěrk na dosypání prostoru nad trubkami v oblastech s nižší hladinou podzemní vody a utuženými půdami. Tato drenáž vhodně upravuje hladinu podzemní a povrchové vody na území s menší incidencí sezónního převlhčení a s aktivním odtokem. Na obrázku č. 16 je vyobrazeno schéma horizontálního odvodňovacího systému na řezu půdním profilem (Manik et al. 2019).



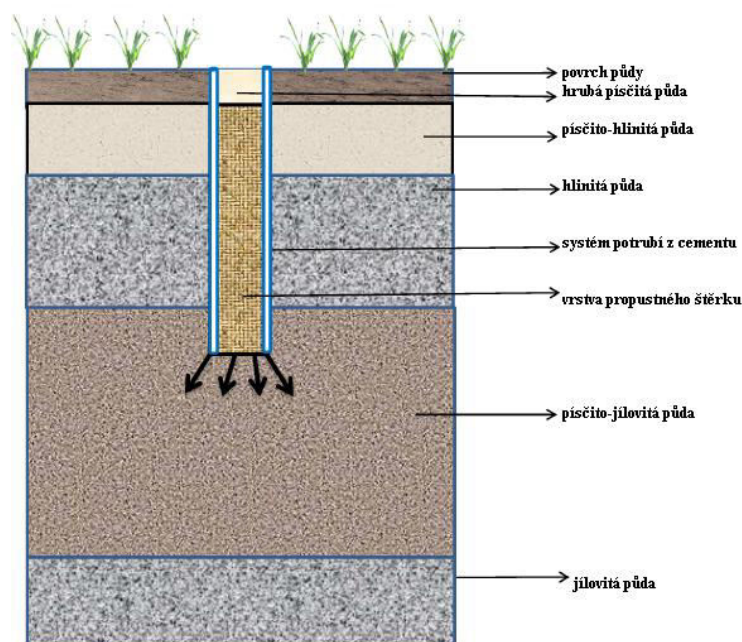
Obrázek 16 - Horizontální trubkový odvodňovací systém, zdroj: Manik et al. 2019

Na obrázku č. 17 je vyobrazen zapuštěný drenážní systém trubek ze zemědělských ploch v oblasti Lesnovských mokřadů.



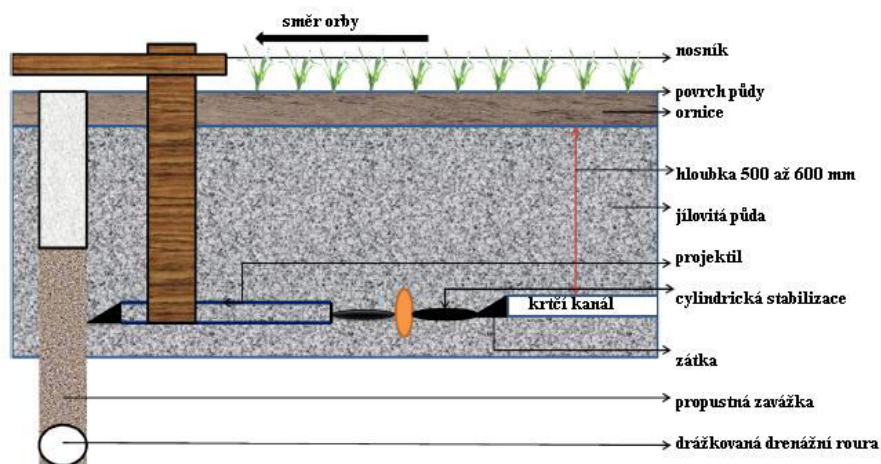
Obrázek 17 - Podpovrchový drenážní systém, zdroj: Kovaříková 2020

Vertikální podpovrchová drenáž je využívána pro ovlivnění a kontrolu vzlínání hladiny podzemní vody – hladina podzemní vody klesá v porovnání s ostatními systémy lépe a do větší hloubky. Výhoda technologie spočívá v nižší finanční náročnosti (ve fázi instalace) a možnosti eliminovat části systému, které jsou volně otevřené. Na obrázku č. 18 lze vidět řez půdním profilem s aplikovanou hydromeliorací tohoto typu (Manik et al. 2019).



Obrázek 18 - Vertikální odvodňovací systém, zdroj: Manik et al. 2019

Dalším typem podpovrchové drenáže je tzv. *krtčí drenáž*. Technologie odvodňování spočívá v těsném uložení odvodňovacích trubek vedle sebe, v maximální hloubce 0,6 m pod povrchem a použití např. ostrého pluhu pro vytvoření dlouhého a hlubokého odvodňovacího příkopu, který následně odvodňuje v součinnosti s perforovanými rourami. Často jsou aplikovány v oblastech s hůře propustnými půdami, např. s jílovitým zrnitostním složením. Propojují se také s dlážděnými otevřenými koryty. Finanční náročnost je nízká, ale do pěti let je nutné celý systém revitalizovat, aby nadále plnil svou funkci. Na obrázku č. 19 je zobrazeno schéma krtčí drenáže s použitím kombinované techniky (Manik et al. 2019).

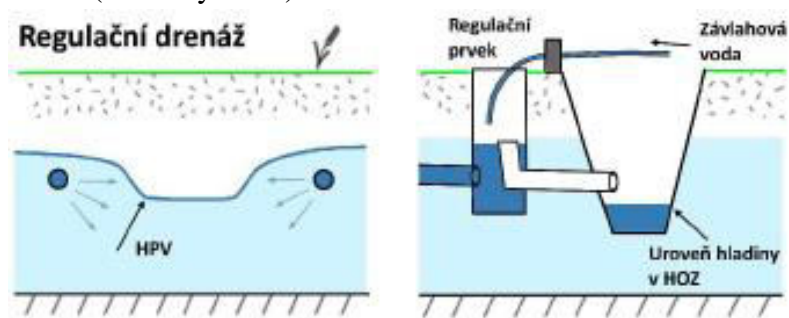


Obrázek 19 - Schéma krtčí drenáže, zdroj: Manik et al. 2019

3. Speciální druhy odvodňovacích systémů

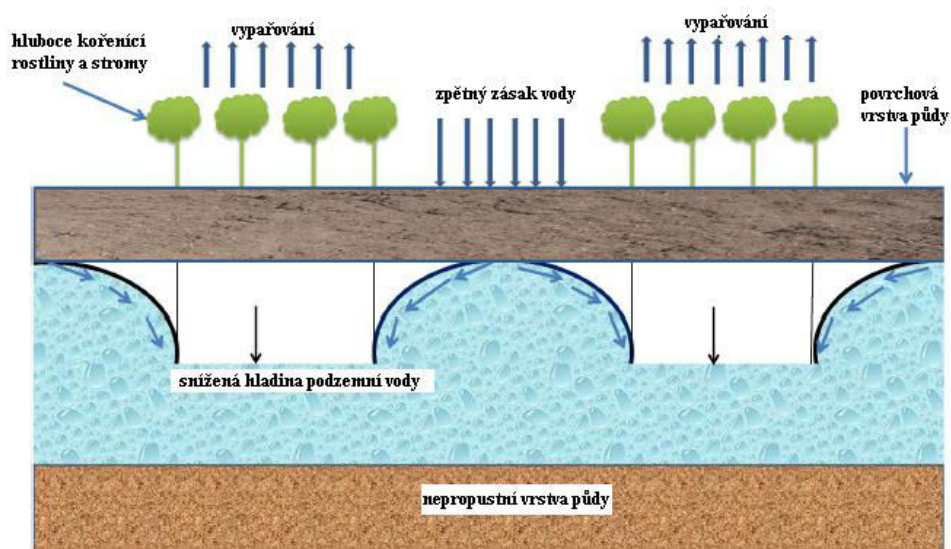
V návaznosti na turbulentní změny, ke kterým v poslední době dochází z hlediska zásob vody v krajině, je možné odvodňovací systémy modernizovat a využít jejich potenciál pro současné odvodňování a zároveň zavlažování. Kombinované systémy drenáží efektivně snižují hladinu podzemní vody, okolní prostředí se nepřevlhčuje, protože je přebytečná voda

odváděna do jímky sloužící pro závlahy v období sucha. Schéma *regulační drenáže* je možné vidět na obrázku č. 20 (Kulhavý 2019).



Obrázek 20 - Schéma regulační drenáže, zdroj: Kulhavý 2019

Vzhledem k faktu, že budování rozsáhlých odvodňovacích systémů probíhá mnoho let, je v současnosti více kladen důraz na udržitelnost aplikovaných opatření. Zvýšil se tlak na vytvoření odvodňovacích systémů, které by využívaly potenciál hluboko kořenicích rostlin a stromů, jako nárazníkových systémů. Toho lze docílit při tzv. *bio-drenáži*. Podle Manik et al. (2019) se po pěti letech aplikace bio-drenáže výrazně zlepšily podmínky z hlediska přístupu kyslíku a živin v půdě. Díky introdukci lučních rostlin a stromů se zvýšenou tolerancí k převlhčeným půdám a propojením technologie s konvenčním zemědělstvím se zvýšila produktivita a pestrost ekosystému. Příklad takového modelu je zobrazen na obrázku č. 21 (Manik et al. 2019).



Obrázek 21 - Bio-drenáž, zdroj: Manik et al. 2019

3.3.5 Vliv odvodnění na obsah organického uhlíku v půdě

Jedním ze sledovaných a diskutovaných témat je vliv zásahu v podobě drenáže na vliv obsahu humusu v půdě. Je potvrzeno, že intenzivní antropogenní činností je ovlivněna stabilita a koloběh látek, tedy i tvorba humusu a následná distribuce organických látek v půdě (Meersmans et al. 2009).

Rozsáhlé odvodňování půd mění fyzikální i chemické vlastnosti půdy v mnoha ohledech. Důležité jsou nastalé změny upravující obsah půdního Cox, respektive obsah humusu a humusových látek. Vliv drenáží na koloběh organického uhlíku v půdě je stále ústředním sledovaným faktorem v mnoha studiích zabývajících se antropogenním působením na krajinu. Obecně se předpokládá, že stagnace vody zvyšuje míru akumulace půdní organické hmoty, která z chemického hlediska podléhá pomalejší anaerobní mineralizaci. Půdy se tak stávají méně úrodnými a fyzikálně chemické vlastnosti se zhoršují (Abid 2008).

V severní Belgii probíhal od 60. let do roku 2006 sběr dat porovnávající obsah organického uhlíku v různých hloubkách půdy při rozdílných podmínkách (půda neodvodňovaná, odvodňovaná) a odlišném zemědělském využití (různě hluboká orba, odlišné osetí). Z výsledků vyplývá, že zjištěný pokles v obsahu Cox je důsledkem nedostatečně řízeného odvodňování v kombinaci s hlubokou orbou. Avšak i hydromorfnní půda, na které nebyla drenáž obecně aplikována, vykazovala sestupný trend v obsahu organického uhlíku (Meersmans et al. 2009).

Na území Ruska v Moskevské oblasti probíhal sběr dat porovnávající obsah humusu v půdě po odvodnění. Průzkum trval 25 let, protože první drenážní sítě byly vybudovány v roce 1987. Na zmíněném území se tímto postupem měla eliminovat zrychlená degradace humusu způsobená trvalým převlhčením v depresních polohách. Byly však zaznamenány nepříznivé změny. Sestupný trend v obsahu humusu vykazovaly především podzoly bez povrchového oglejení. U jílovitých podzolů byla humusová složka degradována pomaleji. Autorka studie však dodává, že dalším působícím faktorem byla absence aplikace organických hnojiv (Ovchinnikova 2018).

V minulosti nebyla odvodňována pouze již dříve využívaná zemědělská plocha, ale také rašeliniště, jejichž obsah organických látek je vysoký. V Číně v oblasti Zoige byl v roce 2016 proveden průzkum na pěti stanovištích (tři odvodňované, dvě neodvodňované). Ze získaných dat bylo zjištěno, že obsah Cox v povrchové vrstvě neodvodňované půdy je v porovnání s povrchovou vrstvou odvodněné půdy signifikantně vyšší. V hlubších vrstvách však výsledky byly opačné (Zhou et al. 2016).

V roce 2014 byl vyhodnocen dlouhodobý pokus pod záštitou univerzity v Ohio v USA. Sledované kukuřičné pole bylo rozděleno na více částí s odlišným způsobem meliorace a managementu půdy a výsledky byly získávány ve třech hloubkách v půdním profilu. Obsah Cox byl odvodněním ovlivněn nepříliš výrazně, větší vliv měl různý typ obdělávání (orba a bezorebné technologie) (Kumar et al. 2014).

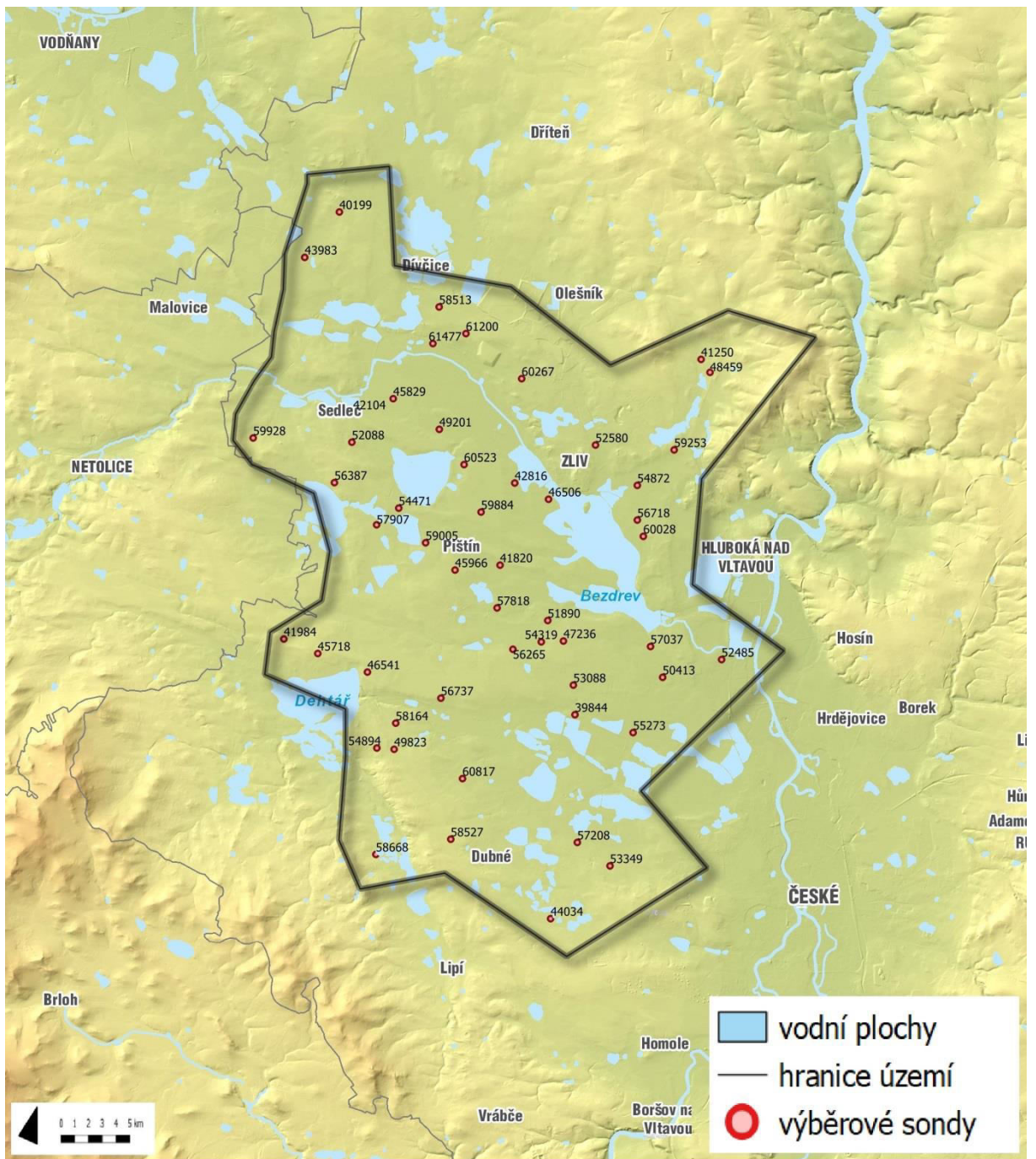
Kromě vlivu na změnu množství obsahu organické hmoty v půdě působí zemědělské drenáže pozitivně proti zasolování půd. Zároveň však snižují hladinu podzemní vody a způsobují zhoršené odbourávání dusičnanového dusíku (Valipour et al. 2020).

4 Materiál a metody

4.1 Popis zájmového území

4.1.1 Základní charakteristika

Sledované území (obrázek č. 22) leží v okrese České Budějovice. Celý okres se nachází ve střední a jihovýchodní části Jihočeského kraje. Jedná se o plochu čítající více než 158 555 hektarů, z toho 92 214 hektarů tvoří zemědělské plochy. Českobudějovicko patří mezi oblasti se střední hustotou zalidnění (110 obyvatel na 1 km²). Je zde evidováno 107 obcí. Okres má podlouhlý tvar a protékají jím řeky Malše, Vltava, Lužnice, Blanice a Stropnice. Nejvyšším bodem je vrch Vysoká (1033 m.n.m) ležící v severní části okresu, v Novohradských horách. Naproti tomu je za nejnižší bod Českobudějovicka považována nádrž Orlík. Zájmové území se rozkládá severozápadně od krajského města České Budějovice. V blízkosti provedeného půdního průzkumu se nachází město Hluboká nad Vltavou a mnoho obcí s vlastním bývalým JZD – Dívčice, Sedlec, Zliv, Čejkovice či Pištín. Oblast je typická četným výskytem rozsáhlých vodních ploch (rybník Dehtář a Bezdrev) a menších vodních toků (Komplexní průzkum zemědělských půd ČSSR 1968; Penížek 2019; CENIA).



Obrázek 22 - Topografická mapa vybraného území, autor: Lea Svobodová; zdroj: CENIA (dostupné z: <http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA>)

4.1.2 Klimatické podmínky

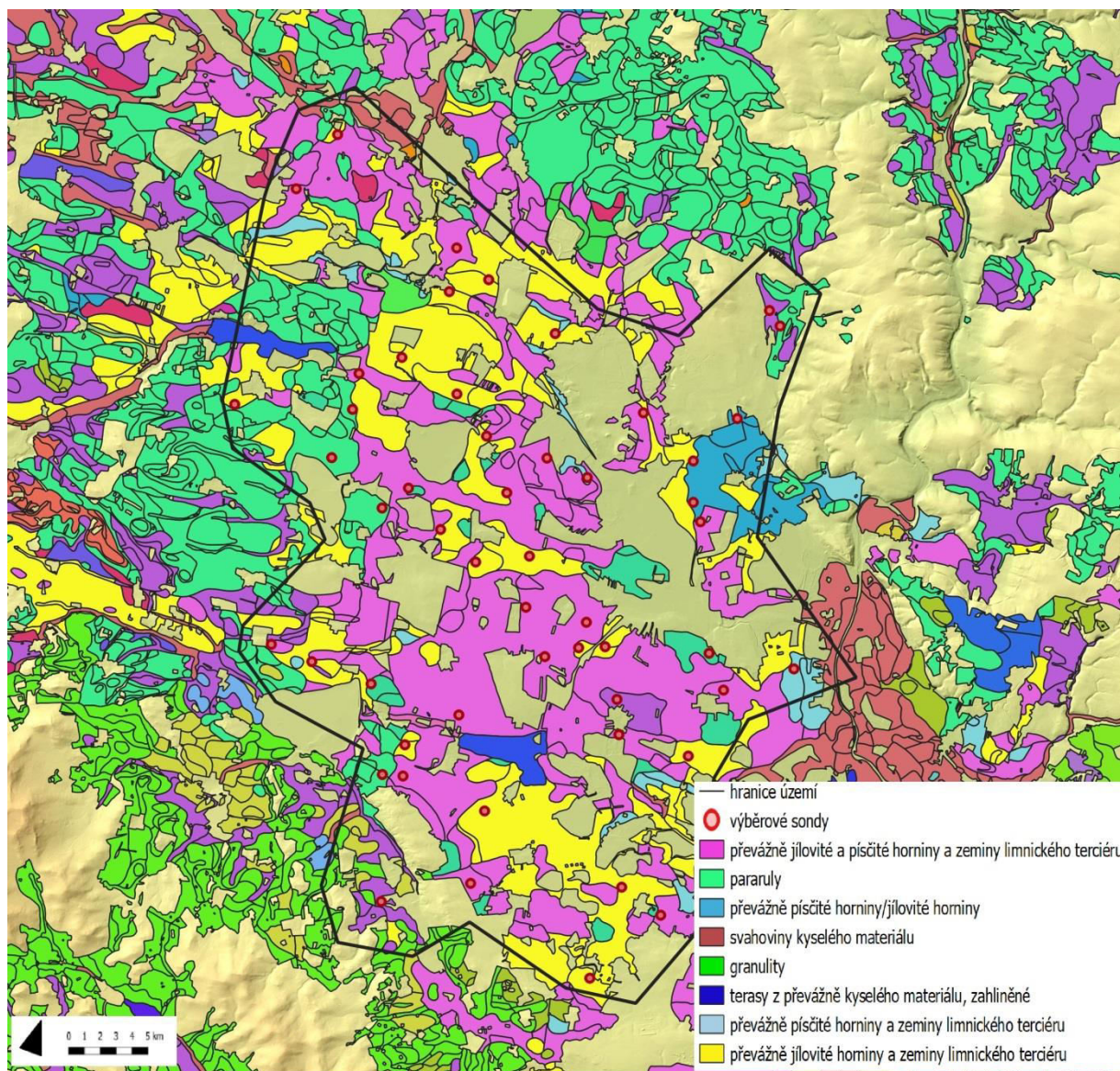
Oblast patří do klimatického pásu B – mírně teplý. Nejčastější zástupci tohoto pásu jsou zde B₃, B₅, B₈ a B₁₀. Tyto pásy jsou typické mírnou a kratší zimou a teplým létem. Roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 597 – 692 mm srážek včetně období mimo vegetaci. Nejvyšší úhrny srážek byly zaznamenány v Novohradských horách a Třeboňské pánvi. Nedostatek srážek je dlouhodobým problémem v okolí Týna nad Vltavou (Němeček et al. 1967; web Cenia, dostupné z: <http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA>).

4.1.3 Geomorfologie a geologie

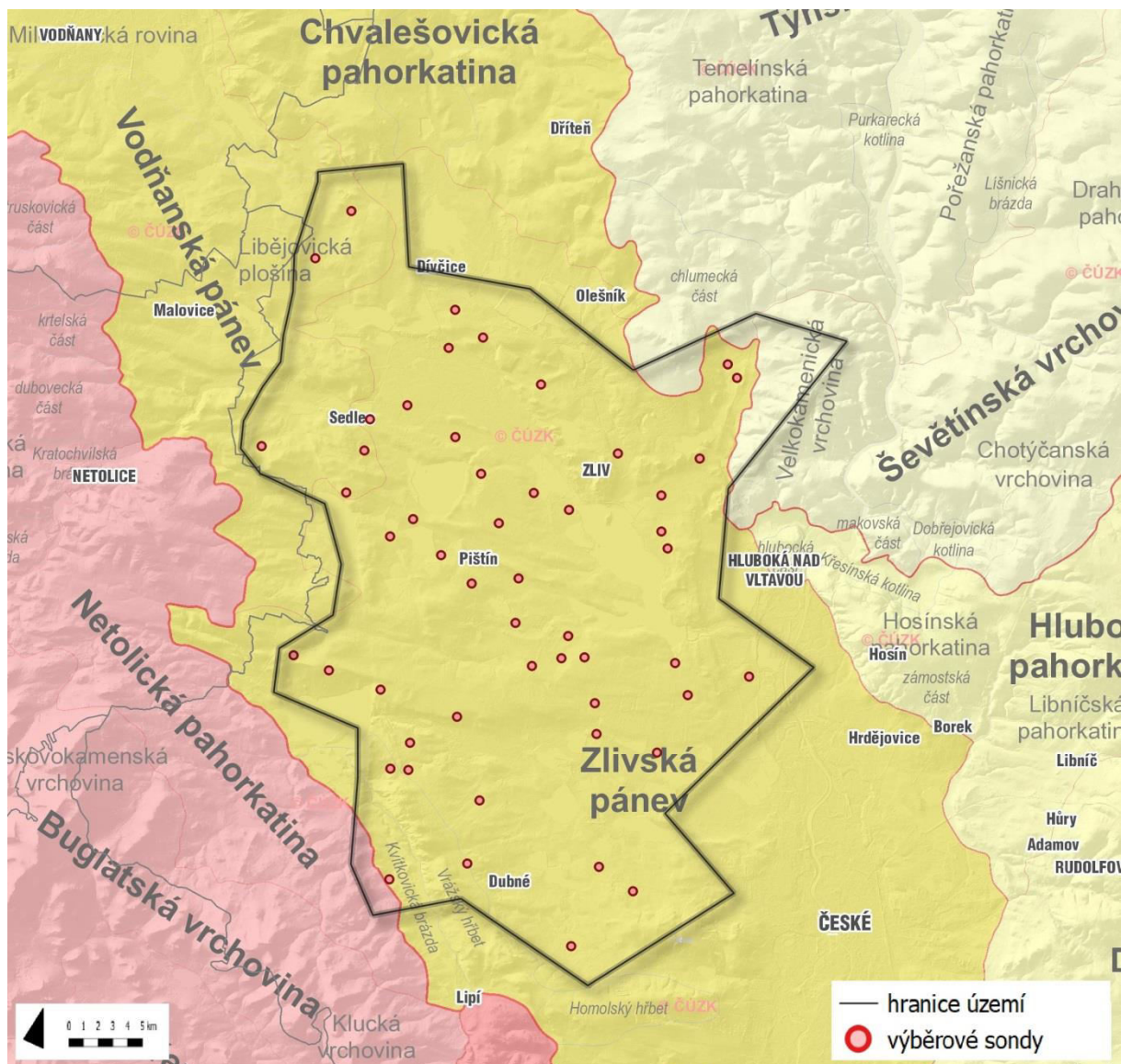
Z hlediska geomorfologie docházelo na tomto území k největšímu rozvoji během prvohor a třetihor. Velká členitost území je důsledkem prvohorních procesů. V období třetihor vznikly oblasti tvořené převážně jezerními usazeninami v nižší nadmořské výšce s malou členitostí povrchu. Kromě jezerních usazenin lze v nižších polohách okresu nalézt naváté sprašové pokryvy a svahoviny. Rovinné plochy jsou typické usazenými nivními naplaveninami, ze kterých následně vznikly hydromorfní půdy. Vrchoviny a pahorkatiny tvoří obvykle pevné horniny – žula, pararula, ortorula, zvětraliny svoru a hadce. Nejvyšší potenciál z hlediska úrodnosti mají půdotvorné substráty jako jsou sprašové pokryvy a dále svahoviny, pokud nejsou souvisle převlhčovány. Terciární usazeniny a křídové substráty mají tendence nasávat větší množství vody a tím pádem se převlhčovat (Němeček et al. 1967; Penížek 2019).

Celou oblast Českobudějovicka lze podle charakteru povrchu rozdělit na více celků, do nichž řadíme např. Českobudějovickou pánev, Bechyňskou pahorkatinu, Kaplickou vrchovinu, Novohradské hory nebo Úvalská blata. Depresní oblasti (Českobudějovická pánev, Blatská pánev) jsou tvořeny především jílovci, pískovci a terciárními sedimenty. Podkladem teras Vltavy, vzniklých v období pliocénu a pleistocénu, jsou písčité šterky. Líšovský práh ležící východně od Českobudějovické pánve můžeme považovat za okrajový bod oblasti jejíž geologický podklad se skládá z hornin patřících do skupiny moldanubikum (granodiorit, pararula, amfibolit, granit) (Němeček et al. 1967; Penížek 2019).

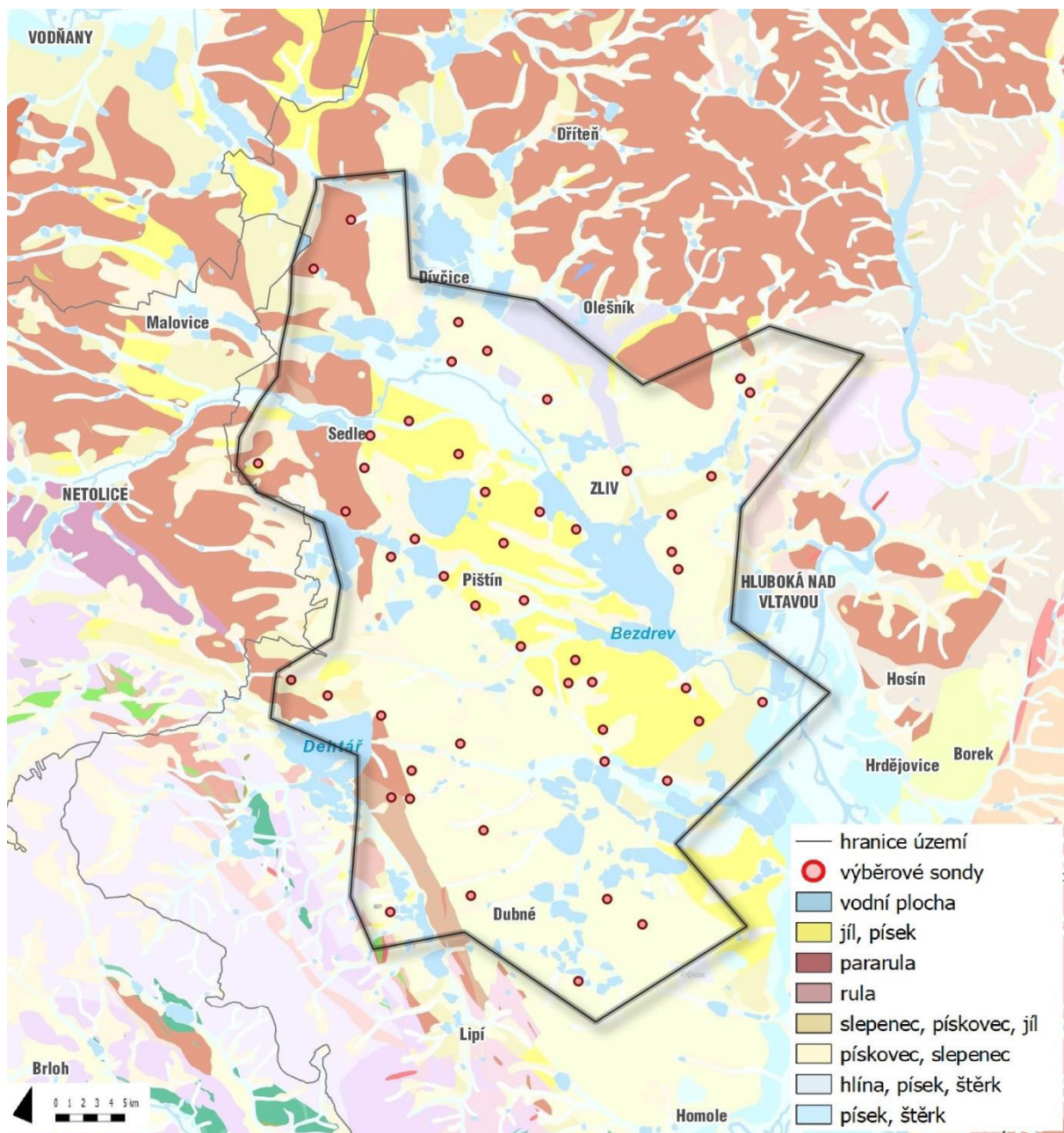
Konkrétní místo odběru půdních vzorků se nachází zčásti v oblasti Zlivské a Vodňanské pánve. Některé půdní sondy leží na území Libějovické plošiny a Kvítkovické brázdy. Vzorky byly odebrány převážně v níže položených oblastech, které dlouhodobě vykazovaly tendenci k převlhčení. Vše je znázorněno v mapě, s vybranými geomorfologickými jednotkami, přiložené níže (obrázek č. 24).



Obrázek 23 - Mapa půdních substrátů v dané lokalitě, autor: Lea Svobodová; zdroj: KPP, Němeček et al. 1967



Obrázek 24 - Mapa vybraného území s vyznačenými geomorfologickými jednotkami, autor: Lea Svobodová; zdroj: ČÚZK (dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(25203ptj23ao3rubyyxio5ng\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-GEOMORF&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3144](https://geoportal.cuzk.cz/(S(25203ptj23ao3rubyyxio5ng))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-GEOMORF&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3144))



Obrázek 25 – Geologická mapa území, autor: Lea Svobodová; zdroj: Česká geologická služba, Geologická mapa 1:50 000, (dostupné z: https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa50/MapServer/WMSServer)

4.1.4 Hydrologické poměry

Hydrologické podmínky okresu závisí na atmosférických srážkách během roku a jejich součinnost s různými půdotvornými substráty a rozmanitou členitostí povrchu. Jak již bylo zmíněno, terciární sedimenty mají nejvyšší tendenci vázat vodu. Ostatní horniny mají vyšší propustnost pro vodu, ale nižší vododržnost. Z pohledu reliéfu je zásak vody ve vyšších polohách nižší. Množství vody v nižších polohách na odtoku se tedy zvyšuje. Naopak vyšší míra oglejení a glejových procesů v terénních depresích svědčí o malém odtoku a stagnaci vody. Intenzivní působení těchto procesů je evidováno v povodí Vltavy a Malše, které oblastí

protékají. Českobudějovicko je charakteristické velkým množstvím vodních ploch, hlavně rybníků a nádrží, mezi něž můžeme zařadit např. nádrž Římov, nádrž Humenice, rybník Dvořiště, rybník Bošilecký, rybník Bezdrev či rybník Dehtář. Řeka Stropnice zajišťuje stabilní přítok a zásobuje podzemní vody (Němeček et al. 1967).

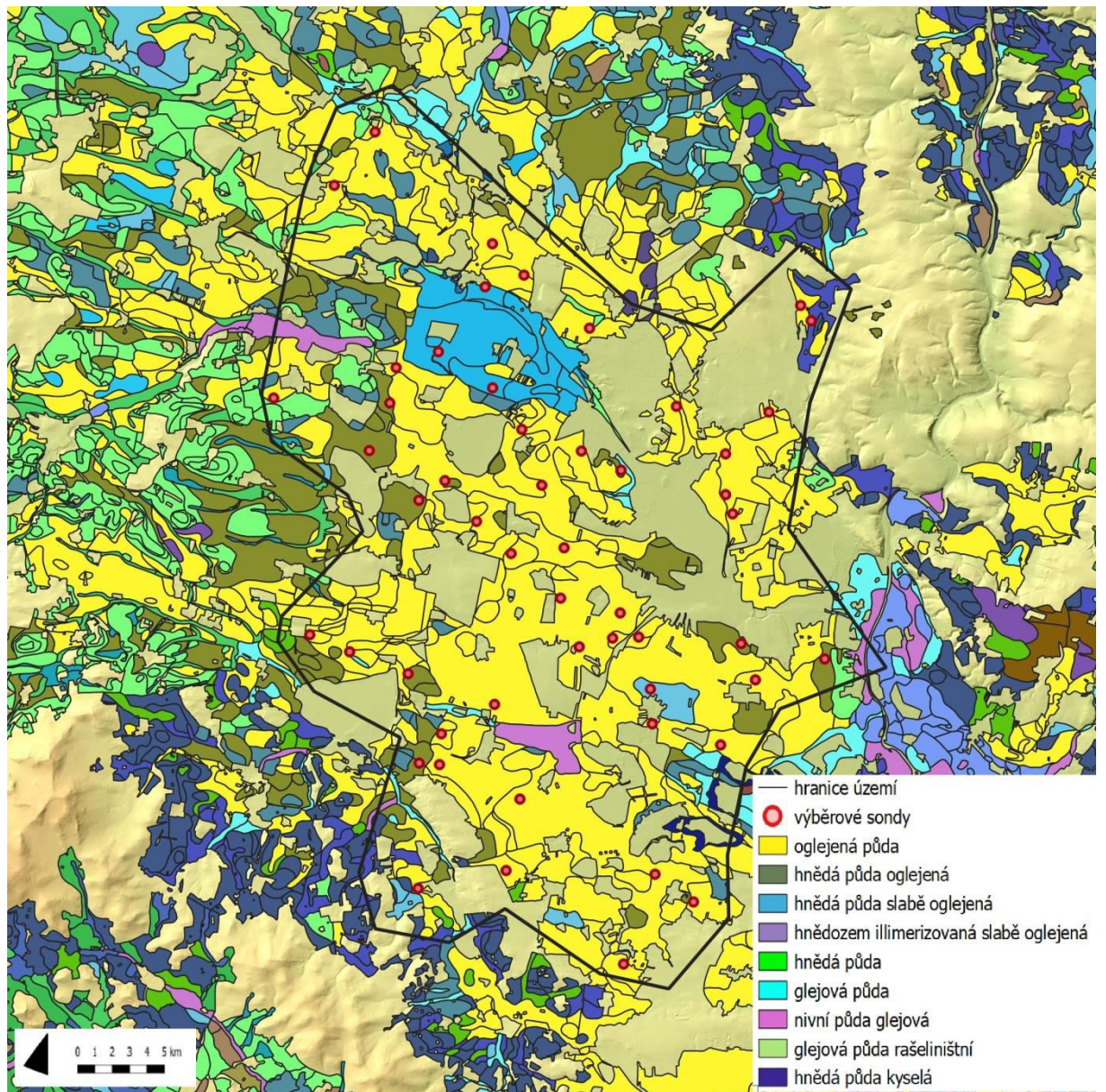
4.1.5 Rostlinstvo

Původní místní flora sestávala převážně z porostu dubů a buků. Postupně byly vymýceny některé úseky lesní plochy a vznikly tak široké pokryvy orné půdy. V současné době se rostlinstvo tohoto kraje skládá ze zemědělských plodin a lučních travin (bojínek luční, lipnice obecná, psárka luční). Hlavní porost na vlhčích a zamokřených půdách pak tvoří ostřice, pryskyřník prudký, upolín, rdesno obojživelné a lipnice bahenní. Flora je rozmanitá a řada květin je řazena mezi ohrožené druhy, např. bublinatka vícekvětá, střevíčník pantoflíček, prha arnika nebo hrachor bahenní. Mimořádně pestrá je vegetace rašelinišť a slatinišť. Současný lesní porost, pokrývající 32 % plochy Českobudějovicka, tvoří olšiny, doubravy, bory a habřiny. Zastoupeny jsou také smrk a jedle. Za hranicemi lesů je vegetace tvořena loukami (bezkolencové, pcháčové) a trávníky. Pěstovanými plodinami v této oblasti jsou především zrniny – pšenice, žito, ječmen a víceleté pícniny. Vegetační období na území okresu začíná na konci března a trvá více než 210 dní (Němeček et al. 1967; Albrecht 2003).

4.1.6 Půdní poměry

Nejčastěji se vyskytujícími půdními typy v okrese jsou gleje, pseudogleje a kambizemě. Západní část okresu a oblast okolo Českých Budějovic tvoří kambizemě modální a oglejené. Směrem k Novohradskému podhůří se zvyšuje výskyt kambizemě dystrické. V Novohradských horách se vyskytují kryptopodzoly. Dále se zde lze setkat s luvizemí oglejenou. Východní část okresu je tvořena hnědozemí luvizemní, v určitých zónách přecházející, v luvizem oglejenou. Pseudoglej glejový a další hydromorfní půdy (glej histický, glej pelický) lze lokalizovat bezprostředně v blízkosti koryt Vltavy a Malše a soustav rybníků. Část Třeboňské pánve ležící jihovýchodně v tomto okrese tvoří histické, luvické a glejové pseudogleje. Kromě již zmíněných půdních typů jsou v okrese zastoupeny také organozemě, rankery a litozemě (Němeček et al. 1967; Penížek 2019).

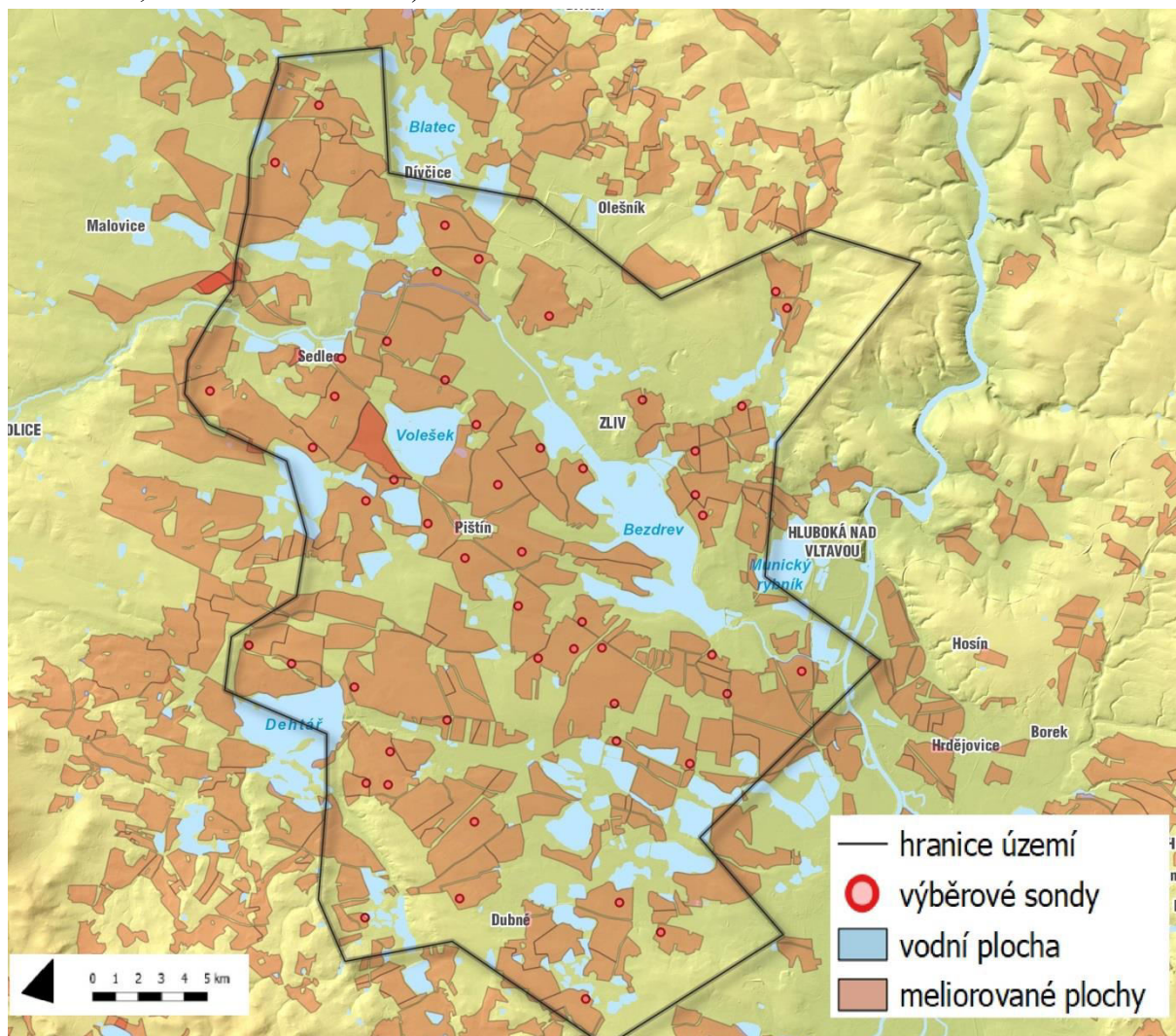
Mezi půdy, které byly v oblasti v minulosti velice často odvodňovány, patří půdy oglejené, které jsou druhé nejčastěji se vyskytující (35,23%) v tomto okrese v Třeboňské pánvi, Budějovické pánvi a na Blatech. Zmíněné oblasti jsou spíše vlhké, s vyšším úhrnem ročních srážek (590-700 mm) a teplotou okolo 8°C. Půdy lze nalézt v nižších terénních polohách, převážně v místech se sníženým odtokem vody. Díky stagnaci povrchové vody v terénních depresích je hlavním půdotvorným procesem oglejení. V půdním profilu jsou pak znatelné barevné změny způsobené střídáním oxidace a redukce (mramorování). Zrnitost jednotlivých půdních horizontů je variabilní, obvykle smíšená hlinitopísčítá/písčitohlinitá. Jedná se o půdy s nepříznivými fyzikálními i chemickými vlastnostmi díky nedostatečnému okysličení a zhoršené propustnosti. Rychlost transformace organických látek v humus je dlouhodobou stagnací vody značně narušena. Půda nedrží teplo a přirozené vysoušení je zpomaleno. Tyto půdy jsou kyselé (pH 3,6-5,5). Hlavními půdotvornými procesy, které se zde podílí na vývoji půd, jsou glejový proces, oglejení a zvětrávání (Němeček et al. 1967; Penížek



Obrázek 26 - Půdní mapa vybraného území s využitím podkladu Komplexního průzkumu půd;
 Němeček et al. 1967

Meliorace na Českobudějovicku

V oblasti Českobudějovicka bylo od roku 1961 do roku 1967 prováděno rozsáhlé odvodnění. Odvodněno tak bylo 1577 hektarů, tj. 24,6 % povrchu zemědělských ploch. V dnešní době však stále odvodňování v některých oblastech probíhá. Budování nových odvodňovacích systémů však není v porovnání s minulostí tak významné. Spíše se jedná o udržovací péči stávajících odvodňovacích soustav a zpětné vyhledávání a mapování (Kulhavý et al. 2007; Němeček et al. 1967).



Obrázek 27 - : Mapa zobrazující aplikovaná meliorační opatření v oblasti Českobudějovické pánve, autor: Lea Svobodová; zdroj: Němeček et al. 1967

4.2 Datové podklady pro výzkum

Hlavním cílem této práce je porovnat stav vybraných půdních specifíků získaných během našeho výzkumu s daty, která byla v letech 1961-1967 získána během Komplexního průzkumu půd ČSSR (KPP). Proto je zde přiložen úvod do problematiky, převážně z pohledu půdního průzkumu, analýzy a výstupy pro jednotlivé správní celky. Aby výsledky našeho

výzkumu byly relevantní, zaměřili jsme se na to, aby naše postupy byly srovnatelné s postupy uvedenými v celé metodice a průvodních zprávách KPP.

4.2.1 Komplexní průzkum půd

Jednalo se o plošný, státem vedený a zaštiťovaný výzkum vedoucí ke zjištění stavu zemědělských půd na území ČSSR s mapovými a agronomickými výstupy pro zlepšení hospodaření a výnosů, včetně návrhů opatření, která by v daných oblastech měla pro tyto účely být aplikována. Celkem tak bylo na území tehdejšího Československa analyzováno více než 7 milionů hektarů zemědělské půdy (Němeček et al. 1967).

Metodika celého průzkumu byla sepsána do třech ucelených vydání. Průzkum byl prováděn v jednotlivých správních okresech s výstupem v podobě okresních zpráv a zpráv pro jednotlivá JZD s rekognoskační území a doporučenými postupy. Celkově bylo vykopáno okolo 700 tisíc půdních sond. Půdní sondy se dělily do třech skupin – *základní* (kopané do hloubky 120 cm), *výběrové* a *speciální* (kopané do hloubky 150 cm). U jednotlivých sond bylo sledováno rozvrstvení půdního profilu (u základních půdních sond pouze do hloubky ornice a podorničí) a popsány půdní horizonty a jednotlivé přechody mezi nimi. Byly určeny všechny znaky půdy, včetně barvy, zrnitosti, půdní struktury a konzistence půdy, výskytu novotvarů či dalších specifických znaků, vlhkosti a pórovitosti. Sledováno bylo také množství skeletu, prokořenění, biologická aktivita a přítomnost rozpustných solí (Němeček et al. 1967).

Následná laboratorní analýza se pak lišila podle druhu půdní sondy. U *základních* sond byla sledována půdní reakce a textura (jílnaté částice) v ornici a podorničí. U *výběrových* sond byl, kromě výše zmíněného, sledován obsah CaCO_3 a obsah humusu, kompletní zrnitost, sorpční vlastnosti a obsah živin v jednotlivých půdních horizontech. *Speciální* sondy byly laboratorně analyzovány všemi zmíněnými způsoby a navíc byly u nich popsány fyzikální charakteristiky. Veškerá data byla použita pro tvorbu průvodních zpráv pro státní podniky a jejich oblast a dále pro celé okresy. Součástí byly půdní mapy, mapy půdních substrátů, kartogramy nápravných opatření i kartogramy skeletovitosti a zamokření (Němeček et al. 1967).

V okrese České Budějovice, konkrétně v námi vybrané lokalitě, se nacházela v době KPP četná zemědělská družstva dohlížející na tehdejší místní hospodaření, včetně úpravy vodního režimu půd. V oblasti evidujeme JZD Dívčice, Čejkovice, Radošovice, Pištín, Haklovy Dvory, Chrášťany, Dubné, Žabovřesky, Sedlec a Zliv. Vybraná JZD byla specifická výskytem hydromorfních půd, a tudíž i aplikovaným odvodňováním. Většina ploch byla využívána z větší části jako orná půda a procentuálně menší část zabíraly louky, sady a pastviny. Tyto informace budou následně využity při našem výzkumu v sekci porovnávání vlivu land use na obsah organického uhlíku v půdě (Němeček et al. 1967; Digitalizované mapy KPP na stránkách VÚMOP, dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=account>).

Celá databáze KPP je dnes přístupná na webových stránkách (VÚMOP) v digitalizované formě. Pro účely této diplomové práce bylo čerpáno i z této databáze a zároveň z fyzických kopií originálních vydání průvodních zpráv KPP. Cílem bylo harmonizovat získaná archivní data, přepsat množství půdních polních záznamů do digitální formy a vytvořit z nich ucelený soubor přehledných tabulek v programu Excel, aby v budoucnu mohly být využity pro porovnání námi získaných dat na sledovaném území.

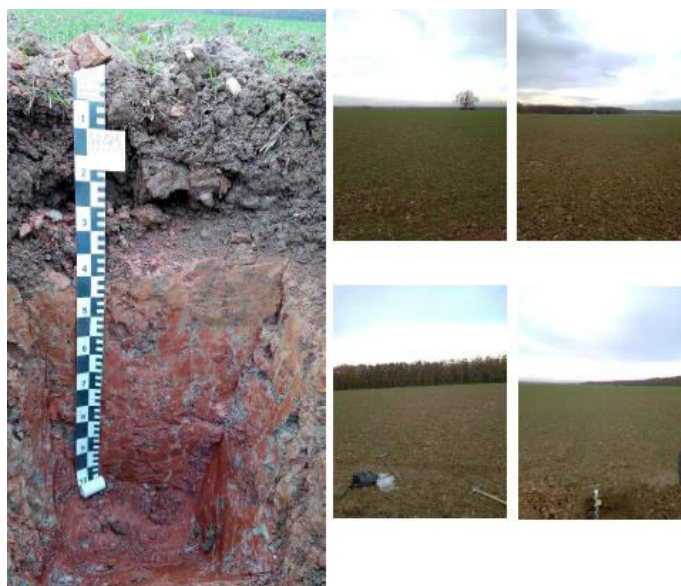
Zároveň byla využita data KPP také pro tvorbu mapových podkladů sledovaného území (viz půdní mapa, mapa půdních substrátů a aplikovaných melioračních opatření v kapitole 4.1) (Němeček et al. 1967; Aplikace KPP od VÚMOP, dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=account>).

4.3 Terénní průzkum v zájmovém území

4.3.1 Postup terénního průzkumu, jednotlivé fáze

Terénní průzkum probíhal pod záštitou Národní agentury pro zemědělský výzkum, v rámci projektu NAZV QK1820389 - „Vytvoření podrobných aktuálních map půdních vlastností ČR na základě dat Komplexního průzkumu půd a metod digitálního mapování půd“. Oblast Českobudějovicka byla vybrána z důvodu odvodnění aplikovaného na velkých plochách půdy. Díky tomuto je pravděpodobnost četných změn z hlediska chemického a fyzikálního považována za zvýšenou. V této práci jsme se zaměřili na sledování změn především v obsahu organického uhlíku. V době KPP bylo v oblasti sledovaného území odebráno 50 výběrových sond. Aby však mohla být data z KPP porovnána se současným stavem, bylo třeba, díky četným změnám, které na území proběhly od roku 1969, přizpůsobit postup celého výzkumu. Změnila se hloubka horizontů, způsob obhospodařování půdy (změny z orné půdy na trvalé travní porosty a naopak) a používání zemědělské techniky.

Celkově byly v období září – listopad 2019 odebrány vzorky ze 48 (z celkového plánovaného počtu 50) sond kopírujících umístění sond z období KPP. Pro dodržení přesnosti byla využita digitalizovaná data z KPP přenesená do navigace Garmin GPS MAP 66s. Výkop sond byl proveden na okraj půdního substrátu v oblasti o rozloze 160 km². Byla zhotovena patřičná fotodokumentace půdního profilu a dané lokality (obrázek č. 28).



Obrázek 28 - Fotografie půdního profilu (pseudoglej s patrným mramorováním) a okolí místa výkopu; foto: V. Penížek

Byly popsány jednotlivé diagnostické horizonty a rozvrstvení půdního profilu, 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 (Němček et al. 2011). Na obrázku č. 29 je vidět polní půdní záznam ke konkrétní půdní sondě (č. 53088), který byl na místě zhotoven. Polní záznamy byly sestaveny tak, aby měly srovnatelnou výpovědní hodnotu jako polní záznamy zhotovené při Komplexním průzkumu půd v letech 1967-1969 (obrázek č. 30).

Schématický náčrt průřezu terénu

POLNÍ PŮDNÍ ZÁZNAM

Sonda č.: **53088**

Datum: _____ Lokalizace: _____

Poloha (meso-mikoreliéf): **POVIJA** mm

Rostlinný kryt a jeho stav: **požoraný TTP**

Stručná agronomická charakteristika půdy

Uhlíkatý od: _____ cm

Podzem. vody: _____ cm

Návrh Opatření

Mateční hornina: **G3c**

Provedené meliorace: _____

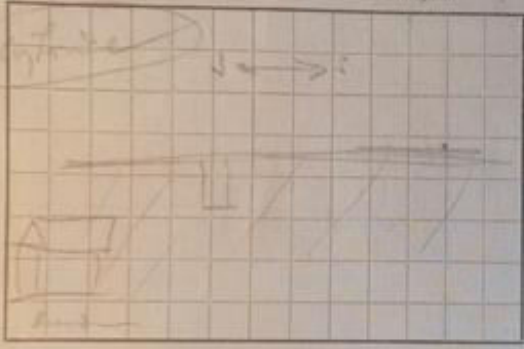
Půdorzálek

Půdní typ _____

Náves/Úmíst	Hor. index	Horizont	Barva	Struktura	Zrnitost (druh)	skeletovitost	Vlhkost/konzistence	Novotvary / příměsí / jiné znaky a vlastnosti	Vsázky (tloušťka)
25	Ad			Hrud.	H	/	drobná	kašiny	①
42	A			Hrud.	H	/	tvrda	gubivá hr. brachy	②
60	En			sl. polyedr.	H		tvrda	hr. brachy	③
85	Bm			polyedr.	JV	/	plast.	agrop. křída stáhn. sl. poslabky hr. macerová	④
	Cg			skála	J	/	plast.	-	

Obrázek 29 - První a druhá strana polního záznamu kopírující postup při KPP

Schematický náčrt průběhu terénu nadm. výška: _____



EXPEDIČNÍ SKUPINA PRO PRŮZKUM PŮD
oddělení pro pedologický průzkum
SUCHBĚL u Prahy, u Kapličky 997

53088

Polní půdní záznam

Směsice: V-5 Sekce: _____
Datum: (7-20) Místo: 700 Vyšehrad
Číslo (označ.) horny: _____ nastalí stavež
Půdní (meso-mikrorelief): plošina s výhledem
příkopem - vlnitá

Číslo (označ.) kříží a jeho stav (jehle): jehle (příkop)

Číslo (označ.) (číslo): _____
Podzemní voda: _____
Matečná hornina (oděru zvrstvení): BSC
Provedené zvláštnosti (výsledky): malomocná

Označení půdy: 1P₁ B₁
Tl. cívka - půdní profil vyfotografován

Provedl: _____
Pracovník: _____

Hĺbková polní profila	Hĺbkový postických horizontů	Morfologický popis genetických horizontů					Výška (hloubka) v cm	
		barva	struktura	drob	vláknovitost (sílňovitost, emulsičnost)	výhled horizontů		horizontový, pruhový, žilovitý a vlnitý
30	Orb	červená, světlá	drufková	f	slabá, jemná	slabá	pruhovitý, střípaný na drobné kousky, jemná vláknovitost, výhledový	12
30-40	Orb	světlá, světlá	drufková	f	-	slabá	pruhovitý, střípaný na drobné kousky, jemná vláknovitost, výhledový	30
40-50	Orb	světlá, světlá	drufková	f-jk	-	slabá	pruhovitý, střípaný na drobné kousky, jemná vláknovitost, výhledový	50
50-70	Orb	světlá, světlá	drufková	jk	-	slabá	pruhovitý, střípaný na drobné kousky, jemná vláknovitost, výhledový	80
70-100	Orb	světlá, světlá	drufková	jk-píseč + Hrp	-	slabá	pruhovitý, střípaný na drobné kousky, jemná vláknovitost, výhledový	140

Obrázek 30 - První a druhá strana polního půdního záznamu jedné ze sond sledované během Komplexního půdního průzkumu

Z každé sondy byly z jednotlivých vymezených horizontů odebrány porušené vzorky. Okolo každé základní sondy ve vzdálenosti 20 metrů byly pro popis lokální půdní variability provedeny čtyři další vpichy podle čtyř světových stran. Tyto porušené vzorky z ornice a podorničí (celkem získané ze 48 kopaných a 192 vpichových sond) byly umístěny do neprodyšných pytlíků. 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

Ve specializovaných laboratořích VÚMOP a na katedře Pedologie a ochrany půd ČZU byly vzorky zpracovány (ČSN EN ISO 11464 (836160), 2011) a laboratorně analyzovány stejnými postupy, které byly použity při KPP. Níže jsou jednotlivé postupy uvedeny a stručně popsány.

- **Stanovení organického uhlíku**
Byla použita metoda mokrého spalování při teplotě 125°C v přítomnosti chromsírové směsi. Dalším krokem je titrace Mohrovou solí (ČSN ISO 10694 (836410), 1998).
- **Stanovení uhličitánů**
Metoda spočívá v rozkladu vzorku při reakci s HCl. Dalším krokem je manometrické měření CO₂ (ČSN EN ISO 10693 (836375), 2015).
- **Stanovení zrnitosti**
Jednotlivé vzorky byly při varu podle typu půdy rozpuštěny odlišnými činidly v různých kombinacích (hexametafosforečnan sodný, HCl, NaOH) a následně pipetovány (ČSN EN ISO 17892-4 (721007), 2017).
- **Půdní reakce**
Při stanovování *aktivní půdní reakce* byla vytvořena suspenze z vody a vzorku půdy o poměru 1 : 2,5. *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).
- **Kationtová výměnná kapacita**
Ke stanovení KVK byla použita metoda tzv. indexového iontu, za použití vytěšňovacího roztoku BaCl₂ při pH 8,2. Zároveň je z části roztoku stanoven titrací HCl i výměnný vodík (ČSN EN ISO 11260 (836225), 2018).
- **Nasycení sorpčního komplexu**
Nasycenost 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 et al. 1967; Sirový et al. 1967).

4.5 Zpracování dat

Archivní data z KPP byla převedena přepisem půdních polních záznamů do digitální formy. K tomuto byl využit software Excel. Následně byly vytvořeny souhrnné tabulky s výsledky laboratorních měření pro jednotlivé půdní sondy. Stejným způsobem byla zpracována data získaná z polního půdního průzkumu provedeného v rámci projektu NAZV, aby následně mohla být provedena statistická analýza porovnávací výsledky z let 1967-1969 s daty současnými. Aby však archivní i současná sada dat mohla být vzájemně porovnána, byl vytvořen pro horizonty tzv. virtuální půdní profil, umožňující zhodnotit nastalé změny v ornici a podorničí, zejména z hlediska změny mocnosti horizontů, změny využití půdy a chybějících dat popisujících hlubší horizonty v databázi KPP. Data byla zpracována pouze po svrchní humózní horizont (s výjimkou analýzy variability dat). Princip virtuálního půdního profilu spočívá v transformaci dat z vrstev původních půdních profilů KPP do dvou vrstev virtuálních horizontů. Hodnoty těchto dvou vrstev byly vypočteny podle následující rovnice (Žižala et al. 2020).

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

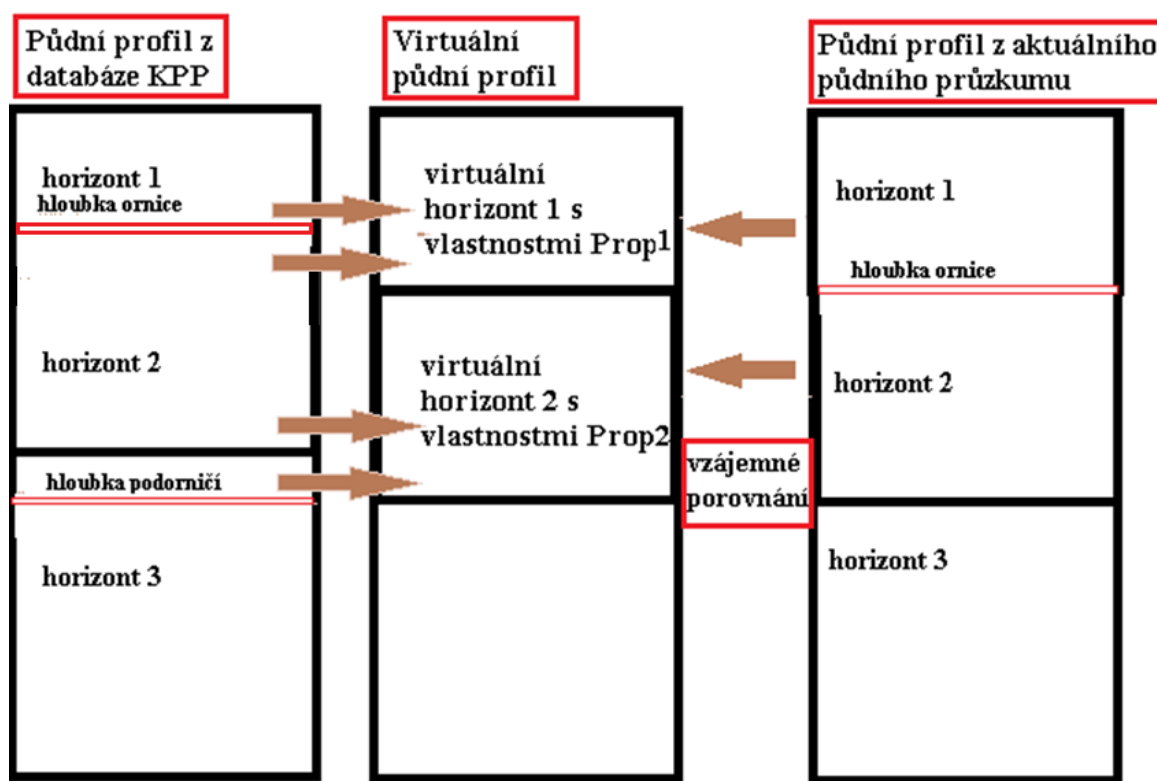
$Prop_a$ značí směšnou hodnotu pro porovnání s horizontem z nového terénního průzkumu

$MassA$ značí mocnost horizontu z databáze KPP v hloubce, ve které byl popsán horizont z nového terénního průzkumu

$MassB$ značí mocnost horizontu z nového terénního průzkumu

$PartVal_i$ značí hodnotu vlastnosti horizontu z databáze KPP

Na obrázku č. 31 je znázorněno schéma přenosu dat z horizontu z databáze KPP do tzv. virtuálního horizontu a systém porovnání s aktuálně sledovaným horizontem z nového terénního průzkumu.



Obrázek 31 - Schématické znázornění postupu při tvorbě virtuálního půdního profilu, zdroj: Žížala et al. 2020

Vytvoření virtuálního půdního profilu tak zjednodušuje celý proces a umožňuje srovnávat dvě sady dat s odlišnou stratografií profilu či s chybějícími daty.

Součástí metodiky bylo také zpracování četného množství map z mapových podkladů z Komplexního průzkumu půd, aktuálního půdního průzkumu a volně dostupných dat ze serverů (převážně CENIA, ČÚZK, VÚMOP). Vše bylo zpracováno v prostředí programu QGIS a následně upraveno v grafickém programu Gimp.

Základní popisná statistika, analýza rozptylu, korelační analýza a analýza hlavních komponent pro obě sady dat byly zpracovány pomocí programu Statistica. Popisná statistika umožnila popsat soubor dat z hlediska průměrů, maxima, minima a variačního koeficientu. Navazovala na ní podrobnější analýza rozptylů (ANOVA) – v případě našich dat byla využita neparametrická obdoba této analýzy. Pro analýzu vztahů jednotlivých proměnných pak byla využita korelační analýza a následně byla graficky znázorněna pomocí analýzy hlavních komponent. Během všech analýz se jednalo především o zhodnocení základních vlastností dat z KPP a dat ze současného výzkumu a vzájemné porovnání. Pro ilustraci většiny výsledků bylo využito grafické znázornění pomocí grafů.

5 Výsledky

5.1 Vliv land use na obsah organického uhlíku

5.1.1 Změna obsahu organického uhlíku při změně land use v době KPP a v době nového průzkumu

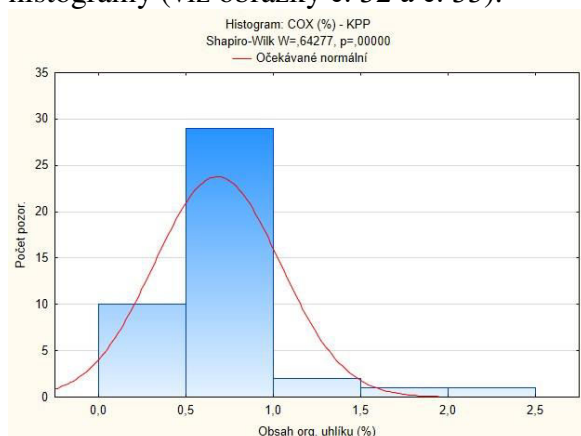
Tabulka 3 obsahuje popisné kvantitativní zhodnocení dat pojednávajících o obsahu organického uhlíku (v %) získaných v době Komplexního průzkumu půd a při novém průzkumu. Jsou zde také uvedeny hodnoty zvláště pro jednotlivé typy land use.

Tabulka 3 - Popisná statistika obsahu organického uhlíku získaného z dat KPP a nového průzkumu (souhrnně a podle využití půdy)

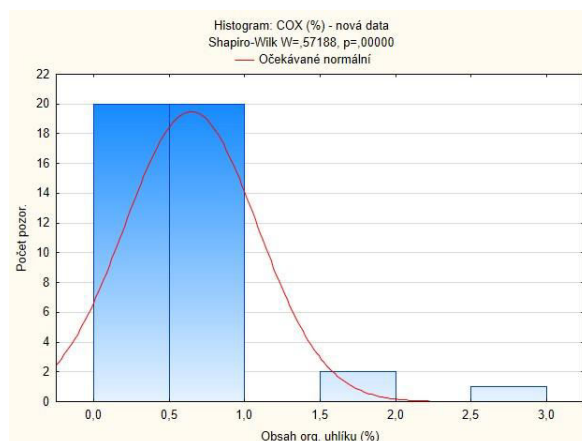
Proměnná	Popisné statistiky – Obsah organického uhlíku z dat KPP a nových dat - shrnutí							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch	Var.koef.
Cox (%) - KPP	43	0,68	0,60	0,35	2,37	0,13	0,36	0,52
Cox (%) - nová data	43	0,64	0,54	0,32	2,92	0,19	0,44	0,68
Cox (%) - pro OP - data KPP	37	0,62	0,60	0,35	2,37	0,10	0,32	0,51
Cox (%) - pro TTP - data KPP	6	0,99	0,91	0,54	1,66	0,21	0,45	0,45
Cox (%) - pro OP - nová data	37	0,56	0,50	0,32	1,54	0,05	0,22	0,39
Cox (%) - pro TTP - nová data	6	1,16	0,75	0,42	2,92	0,89	0,94	0,81

Vzorek z doby KPP obsahoval 43 proměnných, v době nového průzkumu také. Průměrný obsah Cox bez rozlišení využití půd dosahoval v době KPP 0,68 %, v současném období mírně klesl na 0,64 %. Průměrná hodnota u orné půdy klesla z původní hodnoty 0,6 % na 0,56 %. V případě TTP vzrostl průměr z 0,99 % na 1,16 %. Variační koeficient vyjadřuje rozptýlení hodnot v souboru. Variační koeficient vyšší než 50 % (0,5 a vyšší), svědčící o vyšší míře rozptýlení hodnot v souboru, byl zaznamenán u většiny souborů (mimo obsahu Cox KPP pro OP a obsahu organického uhlíku pro TTP u dat nových).

Dále byla provedena rozšiřující analýza normality dat. K tomuto účelu byly použity histogramy (viz obrázky č. 32 a č. 33).



Obrázek 33 - Histogram rozložení dat - obsah org. uhlíku (%) v době KPP



Obrázek 32 - Histogram rozložení dat - obsah org. uhlíku (%) v době nového průzkumu

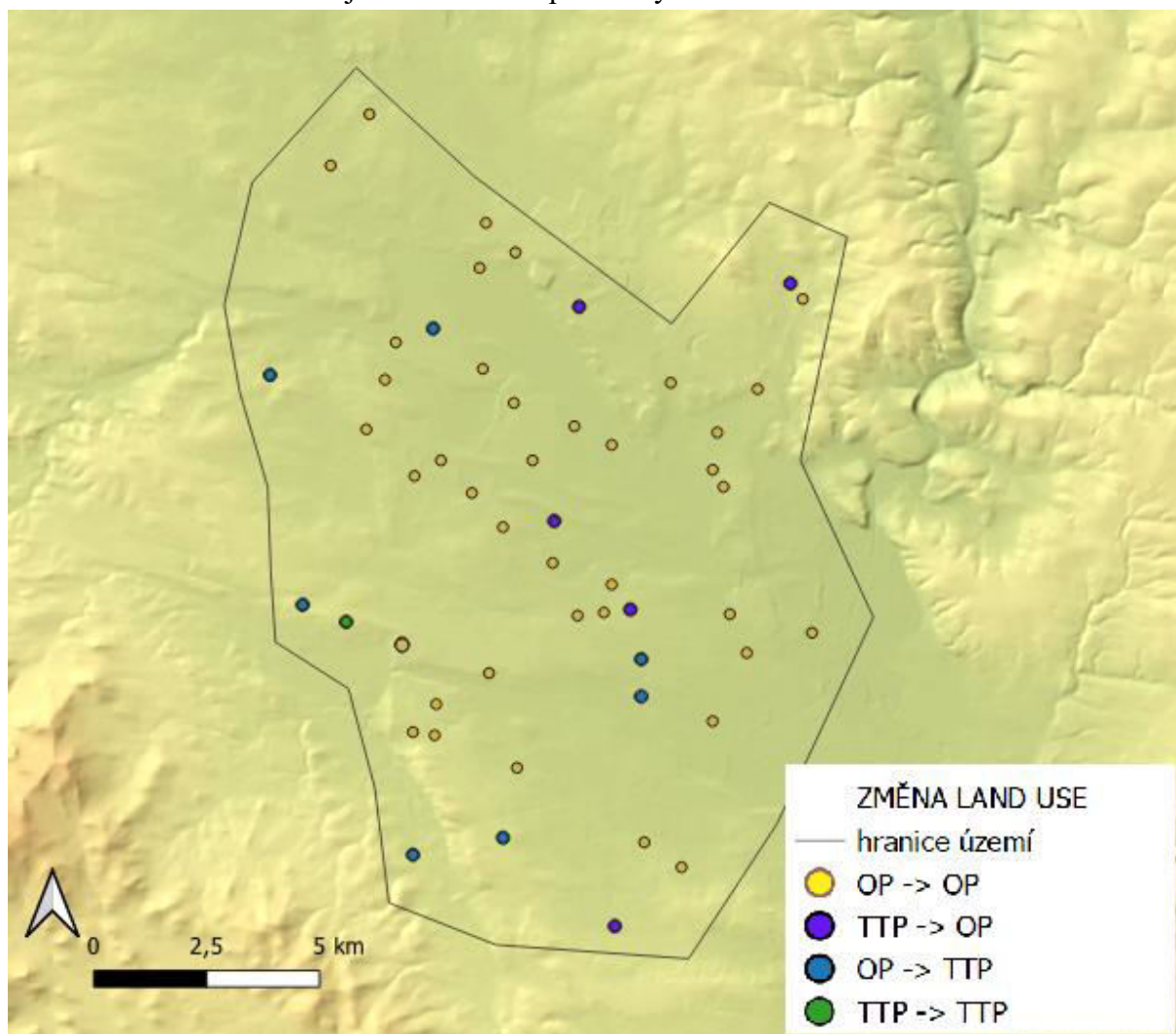
Z histogramů vyplývá, že rozložení dat ani v jednom případě nesplňuje požadavky normálního rozdělení. Hodnota p u Shapiro-Wilkova testu je nižší než hodnota $p = 0,05$. Díky tomu zamítáme nulovou hypotézu, že data pochází z normálního rozložení. Proto byly pro další analýzu dat využity neparametrické testy.

Na sledovaném území došlo v obou časových obdobích ke změně land use (viz tabulka 4). Ve většině případů (32) byla zachována orná půda. V šesti případech byla orná půda přeměněna na trvalý travní porost (TTP). Změna z TTP na ornou půdu proběhla v pěti případech a v jednom případě TTP bylo zachováno (obrázek č. 34).

Tabulka 4 - Změna land use na sledovaném území

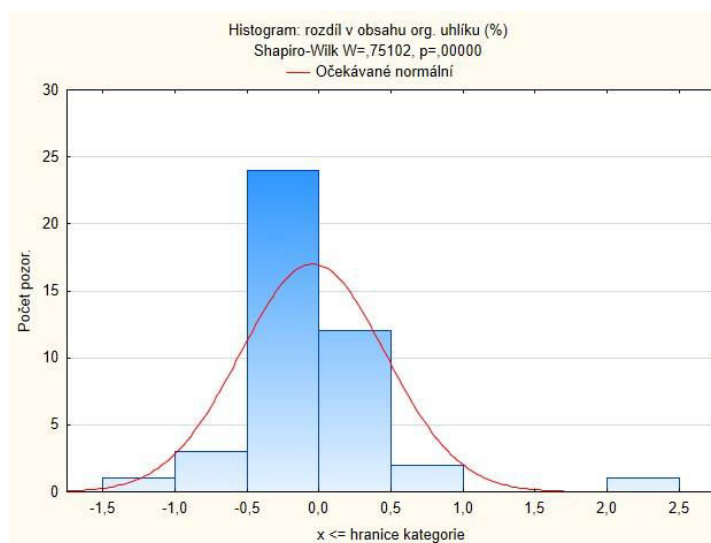
Změna land use	Počet proměnných
OP -> OP	32
OP -> TTP	6
TTP -> TTP	1
TTP -> OP	5

Na obrázku č. 34 je zobrazena mapa změny land use na sledovaném území.



Obrázek 34 - Změna land use na sledovaném území; zdroj: Němeček et al. 1967; autorka práce

Kromě souborů dat u jednotlivých časových období byl rovněž hodnocen rozdíl hodnot Cox mezi daty KPP a novými daty. Prvním krokem je opět test normality dat. Na obrázku č. 35 lze vidět histogram a výsledky Shapiro-Wilkova testu. Data nemají normální rozložení.



Obrázek 35 - Histogram obsahu Cox (%) - rozdíl dat

Ačkoliv na základě proběhlých testů nepředpokládáme normalitu dat, byl použit také Wilcoxonův test (tabulka 5) zkoumající, zda je rozdělení dat kolem mediánu symetrické, v případě obou sad dat popisující obsah Cox. Přijímáme hypotézu, že rozdělení dat je symetrické kolem mediánu, protože hodnota $p > 0,05$.

Tabulka 5 - Výsledky Wilcoxonova párového testu pro obsah org. uhlíku - data KPP + nová data

Dvojice proměnných	Wilcoxonův párový test; Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,0500$			
	Počet platných	T	Z	p-hodn.
COX (%) - KPP & COX (%) - nová data	42	300,00	1,89	0,04

Pro analýzu rozptylu hodnot byla zvolena neparametrická Kruskal-Wallisova ANOVA. Tabulka 6 obsahuje výstupy z této analýzy pro všechny sady dat popisující obsah Cox při změně land use.

Tabulka 6 - Soubor výsledků Kruskal-Wallisovy ANOVY pro všechny sady dat

Závislá: Cox (%) - data KPP	Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; Cox (%) - data KPP; Nezávislá proměnná : Land use - data KPP Kruskal-Wallisův test: $H(1, N=43) = 4,065723$ $p = ,0438$			
	Kód	Počet platných	Součet pořadí	Prům. Pořadí
OP	102	37	756,50	20,44
TTP	103	6	189,50	31,58

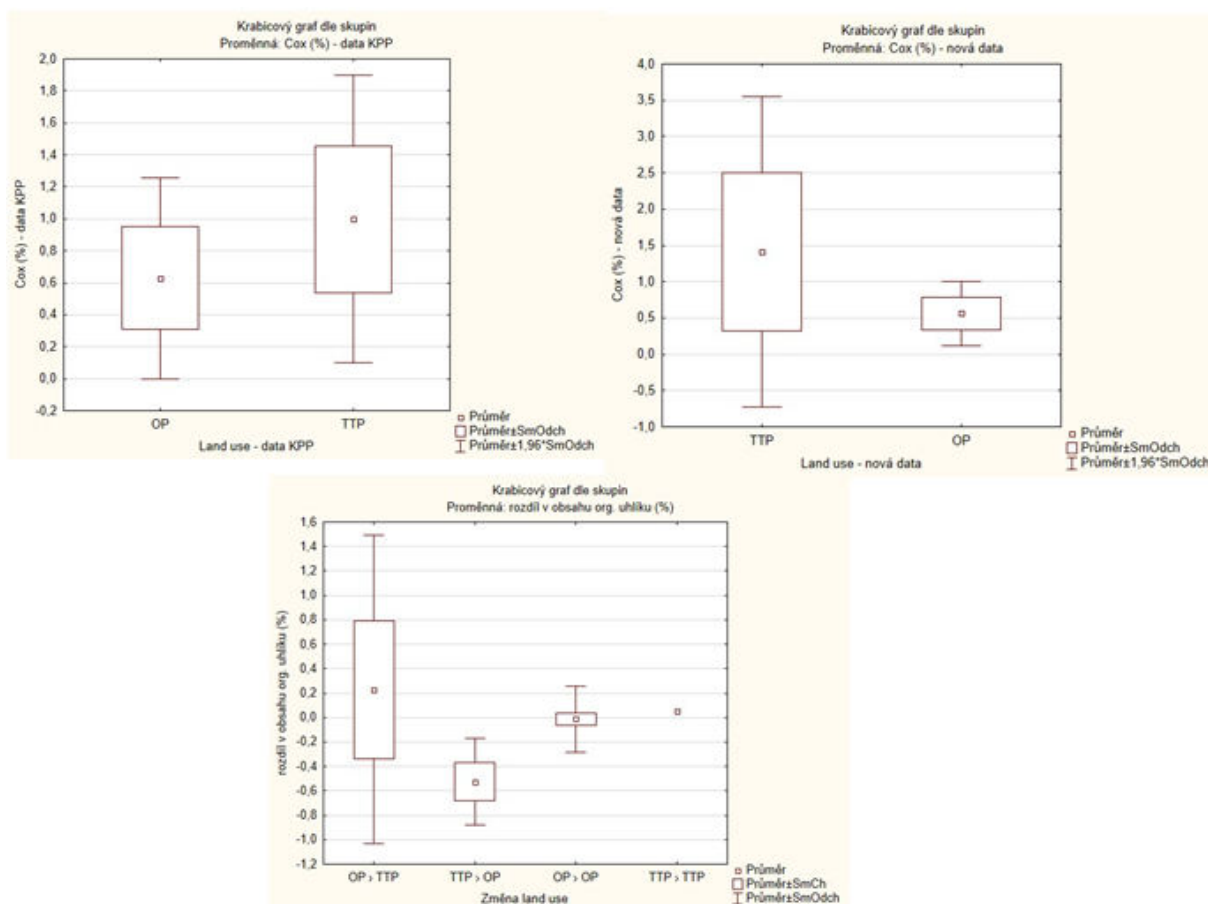
Závislá: Cox (%) - nová data	Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; Cox (%) - nová data; Nezávislá proměnná : Land use - nová data Kruskal-Wallisův test: $H(1, N=44) = 5,724225$ $p = ,0167$			
	Kód	Počet platných	Součet pořadí	Prům. Pořadí
TTP	102	7	232,00	33,14
OP	103	37	758,00	20,48

Závislá: rozdíl v obsahu org. uhlíku (%)	Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; rozdíl v obsahu org. uhlíku (%) (data_2022) Nezávislá proměnná : Změna land use Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=43) = 9,004460$ $p = ,0292$			
	Kód	Počet platných	Součet pořadí	Prům. Pořadí
OP > TTP	1	5	112,00	22,40
TTP > OP	2	5	33,00	6,60
OP > OP	3	32	769,00	24,03
TTP > TTP	4	1	32,00	32,00

V případě dat archivních (KPP) a dat nových, analyzovaných samostatně, vychází $p < 0,05$. Lze tedy v obou případech zamítnout nulovou hypotézu, předpokládající, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými skupinami při odlišném land use. Při analýze rozdílu obsahu Cox v jednotlivých obdobích a při konkrétní změně land use na sledovaném území p hodnota dosáhla 0,0292. Je tedy přítomen statisticky významný rozdíl mezi skupinami. Pro zjištění, o jaké skupiny se jedná, byl proveden další test porovnávání p hodnot (viz následující tabulka). Signifikantní rozdíl byl zaznamenán mezi skupinou OP -> OP a skupinou TTP -> OP. Tento vztah průměrů skupin je zobrazen na následujícím obrázku s krabicovými diagramy (obrázek č. 36).

Tabulka 7 - Rozšíření Kruskal-Wallisovy ANOVY pro skupiny rozdílů dat při odlišném land use

Závislá: rozdíl v obsahu org. uhlíku (%)	Vicenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); rozdíl v obsahu org. uhlíku (%) (data_2022) Nezávislá proměnná : Změna land use Kruskal-Wallisův test: H (3, N= 43) =9,004460 p =,0292			
	OP > TTP R:22,400	TTP > OP R:6,6000	OP > OP R:24,031	TTP > TTP R:32,000
OP > TTP		0,27	1,00	1,00
TTP > OP	0,27		0,02	0,38
OP > OP	1,00	0,02		1,00
TTP > TTP	1,00	0,38	1,00	

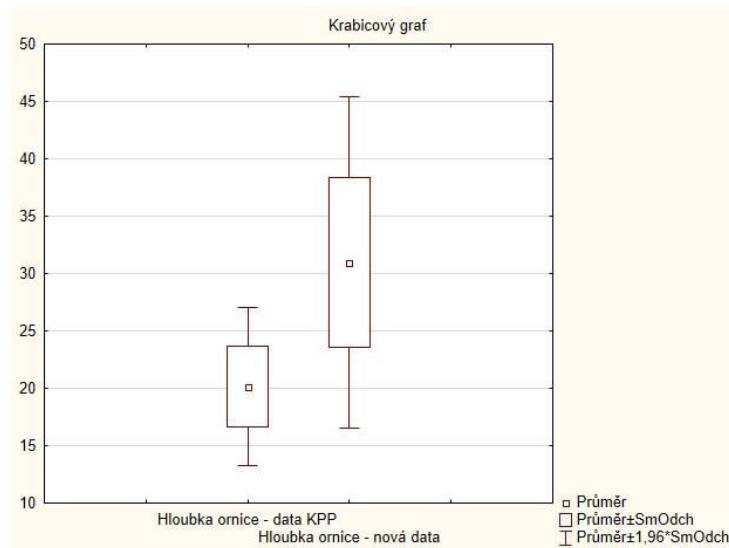


Obrázek 36 - Krabicové diagramy průměrů všech skupin dat

Z grafů je patrný výrazně vyšší obsah Cox ve vzorcích z TTP v porovnání se vzorky z orné půdy, a to v obou sledovaných obdobích. V případě změny land use (viz spodní graf uprostřed) došlo ke zvýšení obsahu Cox v případě převodu orné půdy na TTP (v průměru o 0,29 %), při opačné změně land use naopak dochází k poklesu obsahu Cox (v průměru o 0,52 %). V případě shodného land use dochází mezi obdobími k minimální změně (0,05 %). Prokazatelný přírůstek v obsahu Cox tak nastal pouze v případě změny z orné půdy na trvalý travní porost. Samostatnou skupinou (TTP -> TTP), pouze s jednou proměnnou do celkového výčtu zahrnujeme, ale z hlediska nízkého počtu proměnných není signifikantní.

5.2 Změna hloubky svrchního horizontu

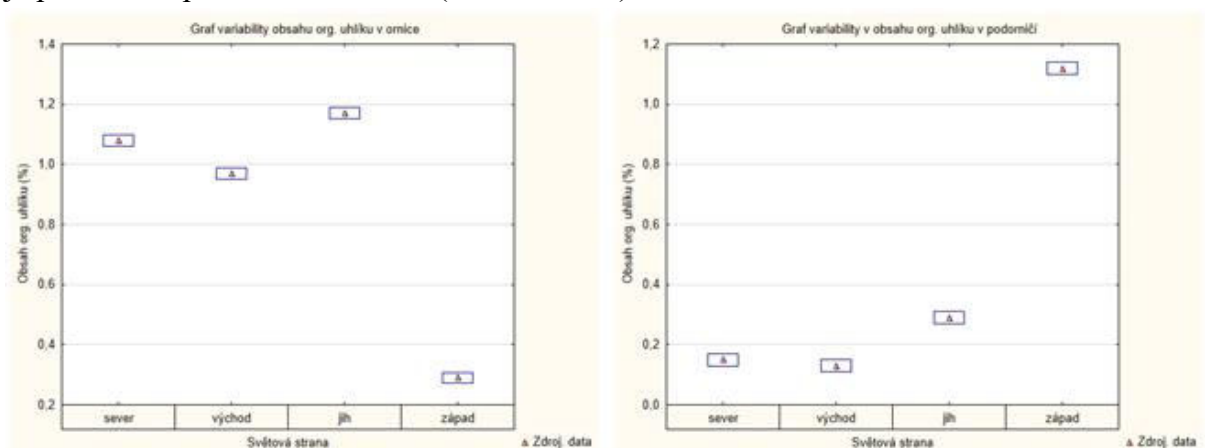
Předpokládáme, že při změně land use došlo na sledovaném území ke změně v obsahu organického uhlíku a zároveň ke změně hloubky svrchního horizontu. Ta skutečně prošla mezi sledovanými obdobími výraznou proměnou (obrázek č. 37), kdy průměrné hodnoty hloubky svrchního horizontu vzrostly z 20 cm (KPP) na 32 cm (nová data).



Obrázek 37 - Krabicový diagram - porovnání hloubky ornice

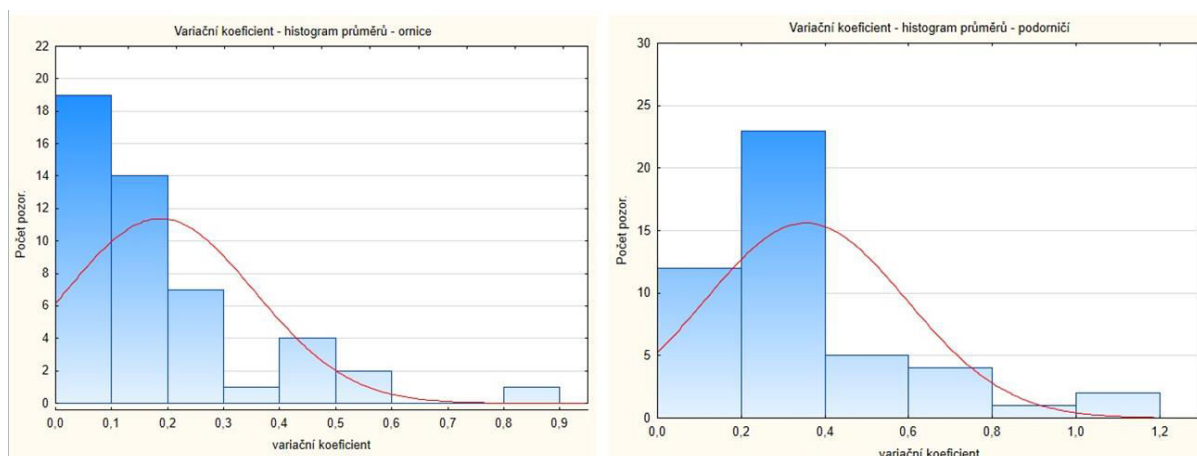
5.3 Variabilita v obsahu organického uhlíku v prostoru

Prostorová variabilita v obsahu Cox byla sledována ve čtyřech světových směrech a ve dvou hloubkách půdního profilu – v ornici (resp. ve svrchním horizontu v případě TTP) a podorničí (v případě TTP v podpovrchovém horizontu). Příklad prostorové variability hodnot je představen pro sondu č. 39844 (obrázek č. 38).



Obrázek 38 - Krabicové diagramy obsahu organického uhlíku v ornici (graf vlevo) a podorničí (graf vpravo) ze čtyř světových stran v sondě č. 39844

Variabilitu hodnot Cox v ornici a podorničí ukazuje obrázek č. 39.



Obrázek 39 - Grafické zobrazení rozložení variačních koeficientů v ornici (graf vlevo) a podorničí (graf vpravo)

V horizontu A (ornice) je variabilita malá, s průměrem variačních koeficientů obsahu Cox 0,18. V případě podpovrchového horizontu je variabilita dvojnásobně vyšší. Průměr variačních koeficientů pro tento horizont vychází 0,35.

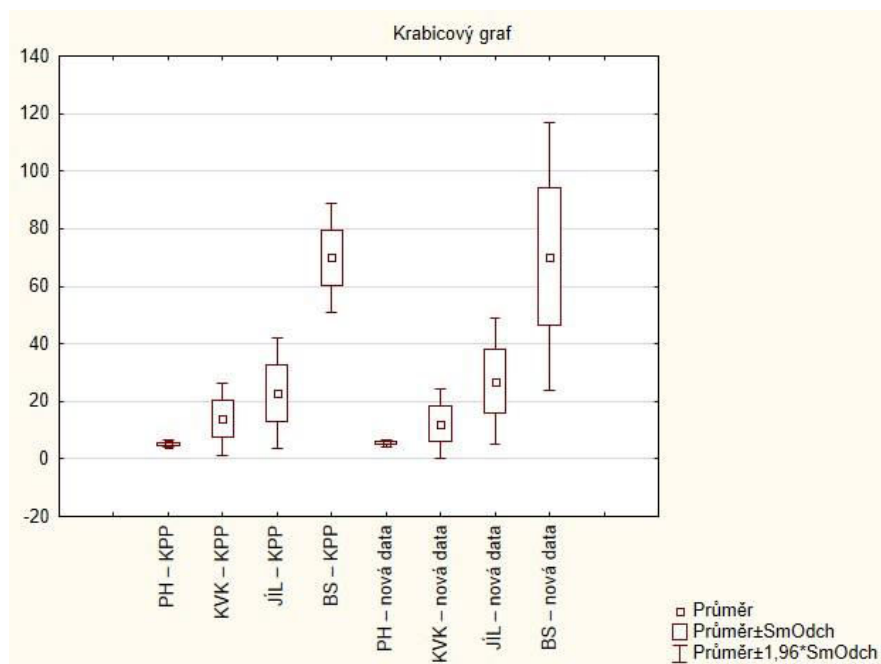
5.4 Vliv dalších vlastností půdy na obsah organického uhlíku

Při výzkumu byly sledovány další vlastnosti jednotlivých vzorků půdy. Mezi ně patří pH, kationtová výměnná kapacita (KVK), nasycení sorpčního komplexu (BS) a obsah jílu. V tabulce 8 lze vidět popisné statistiky těchto dat.

Tabulka 8 - Popisná statistika vybraných vlastností odebraných vzorků půdy

Proměnná	Popisná statistika – pH, KVK, obsah jílu a bazická saturace – shrnutí dat							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
pH - data KPP	44	5,23	5,15	4,12	6,45	0,35	0,59	0,11
KVK (mg/kg) - data KPP	44	13,97	12,75	4,72	37,20	41,02	6,40	0,45
Jíl (%) - data KPP	44	22,83	21,80	3,23	43,86	94,08	9,69	0,42
BS (%) - data KPP	44	69,87	69,37	47,68	86,44	94,85	9,73	0,13
pH - nová data	23	5,61	5,81	4,21	6,66	0,38	0,62	0,11
KVK (mg/kg) - nová data	44	12,33	11,61	3,00	42,52	37,20	6,09	0,49
Jíl (%) - nová data	44	26,70	25,05	8,69	56,67	125,94	11,22	0,42
BS (%) - nová data	44	70,95	65,25	28,50	100,00	572,49	23,92	0,33

Z hlediska počtu měření se pohybuje většina dat v normě, kromě pH, kdy sada nových dat měla výrazně menší počet měření než data získaná při KPP. U pH, obsahu jílu a BS byla průměrná hodnota vyšší při nových měřeních. V případě KVK tomu je naopak. Medián se zvýšil při novém měření u pH a jílu. U KVK a BS došlo v porovnání s měřením během KPP k poklesu. V případě obsahu jílu a pH vzrostla od doby měření KPP minimální i maximální naměřená hodnota. U KVK minimální hodnota naměřená během nového průzkumu klesla, ale maximální hodnota vzrostla. V případě BS se minimální hodnota naměřená při novém měření snížila, ale maximální hodnota se významně zvýšila. Variační koeficient u všech dat nepřesahuje hranici 50 %. Jedná se tedy o sady dat s menší variabilitou. Pro grafické znázornění byly využity krabicové diagramy se zvýrazněnými průměry.



Obrázek 40 - Krabicový diagram - zobrazení dat (jíl (%), pH, KVK (mg/kg), BS(%)) z hlediska průměrů

V rámci rozšířené analýzy byla zpracována data z předchozích kapitol a byly sledovány jejich vzájemné vztahy.

5.4.1 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během KPP

Vzhledem k vyššímu počtu nevyvážených dat byla pro analýzu všech dat zvolena neparametrická metoda. Následující tabulka obsahuje výsledky Spearmanovy korelace pro jednotlivé vlastnosti z dat získaných v době KPP.

Tabulka 9 - Spearmanovy korelace pro data získaná během KPP - vzájemné korelace vlastností

Proměnná	Spearmanovy korelace; Označ. korelace jsou významné na hl. $p < 0,05000$					
	Cox - data KPP	pH - data KPP	KVK - data KPP	Jíl - data KPP	BS - data KPP	Hloubka ornice - data KPP
Cox - data KPP	1,00	-0,23	0,31	0,40	-0,15	-0,35
pH - data KPP	-0,23	1,00	-0,22	-0,52	0,67	0,33
KVK - data KPP	0,31	-0,22	1,00	0,46	0,05	-0,07
Jíl - data KPP	0,40	-0,52	0,46	1,00	-0,17	-0,33
BS - data KPP	-0,15	0,67	0,05	-0,17	1,00	0,24
Hloubka ornice - data KPP	-0,35	0,33	-0,07	-0,33	0,24	1,00

Nejblíže přímé korelaci byla bazická saturace a pH, kationtová výměnná kapacita vůči obsahu jílu, KVK vůči obsahu Cox a obsah Cox vůči obsahu jílu. Záporná korelace byla zjištěna mezi hloubkou ornice a obsahem Cox v půdě, mezi hloubkou ornice a obsahem jílu a mezi obsahem jílu a pH. Korelační koeficient nejblíže nule byl zjištěn mezi KVK a BS a mezi hloubkou ornice a KVK. V případě dalších kombinací vztahů proměnných korelační koeficienty vzájemný vztah nepotvrzovaly, ani nevyvracely.

5.4.2 Vazby mezi jednotlivými vlastnostmi půdních sond naměřených během nového průzkumu

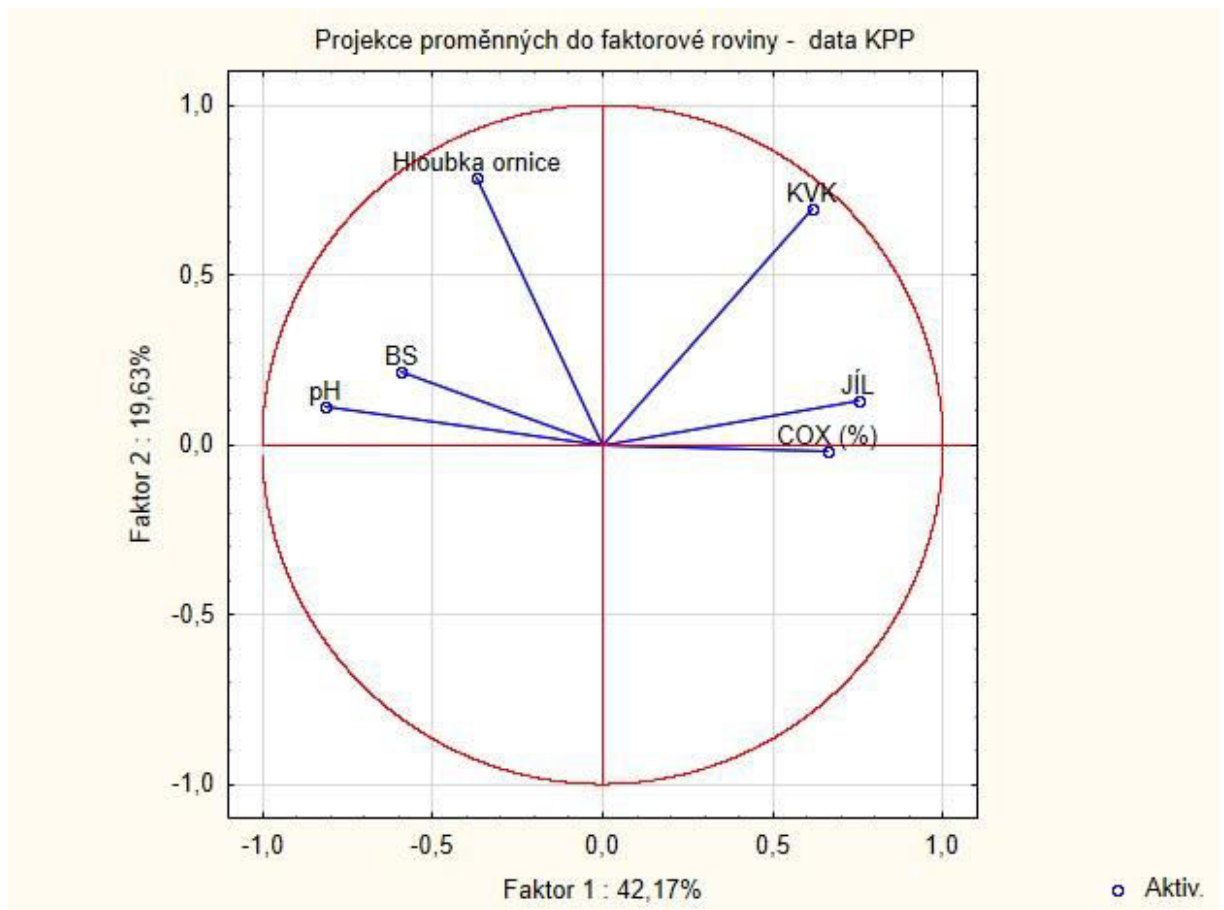
Následující tabulka obsahuje výsledky Spearmanovy korelace pro vybraná data.

Tabulka 10 - Spearmanovy korelace pro data z nového průzkumu - vzájemná korelace vlastností

Proměnná	Spearmanovy korelace; Označ. korelace jsou významné na hl. $p < ,05000$					
	Cox - nová data	pH - nová data	KVK - nová data	Jíl - nová data	BS - nová data	Hloubka ornice - nová data
Cox - nová data	1,00	0,07	0,45	0,21	0,06	-0,28
pH - nová data	0,07	1,00	-0,19	-0,31	0,30	0,00
KVK - nová data	0,45	-0,19	1,00	0,51	0,41	-0,19
Jíl - nová data	0,21	-0,31	0,51	1,00	0,16	0,05
BS - nová data	0,06	0,30	0,41	0,16	1,00	-0,11
Hloubka ornice - nová data	-0,28	0,00	-0,19	0,05	-0,11	1,00

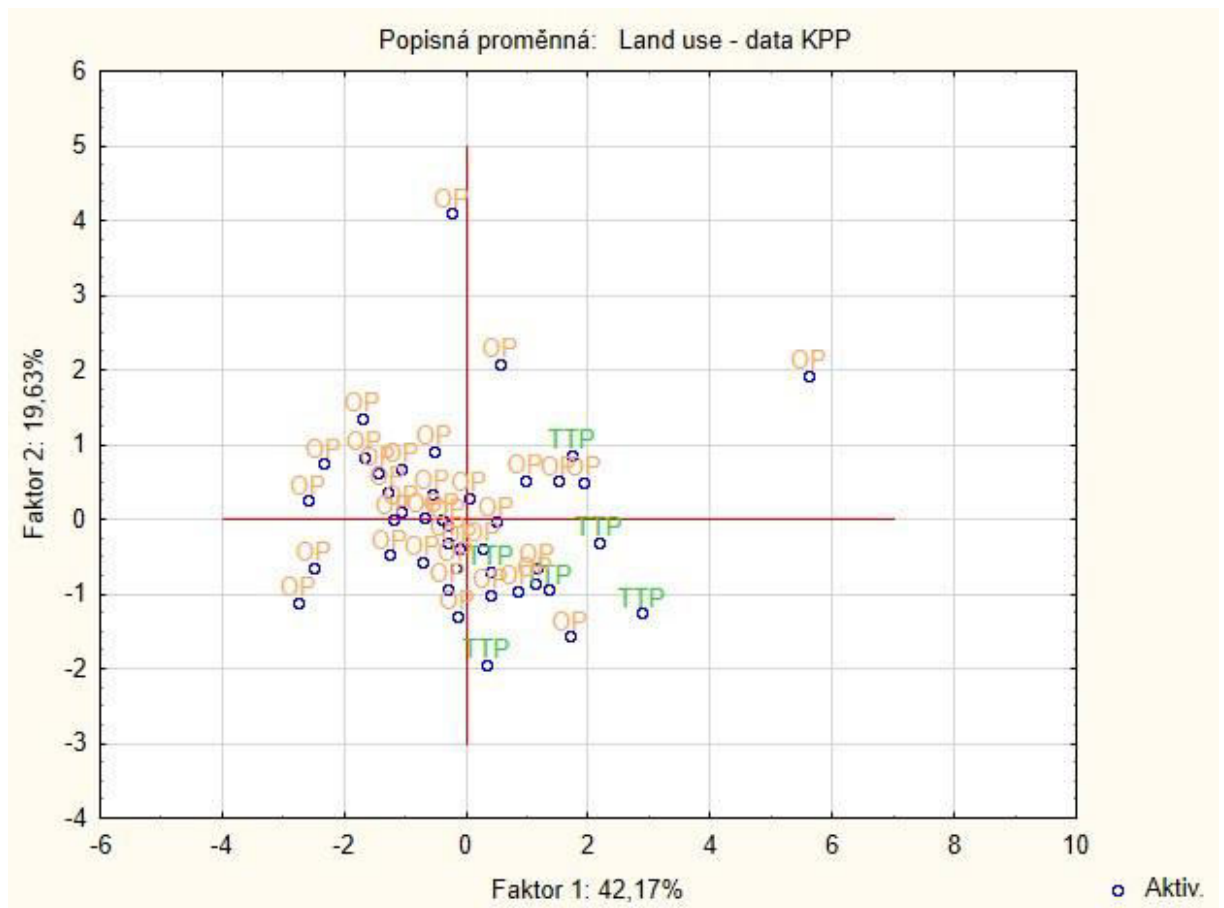
Přímá korelace, tedy potvrzená závislost, byla zaznamenána ve třech případech – mezi obsahem Cox a KVK a obsahem jílu a KVK a mezi KVK a bazickou saturací. V jednom případě byly hodnoty korelačního koeficientu rovné nule – mezi pH a hloubkou ornice. Významná nepřímá korelace nebyla zaznamenána.

Graficky jsou znázorněny vztahy mezi jednotlivými proměnnými pomocí analýzy hlavních komponent (PCA; obrázky 41-44). V případě dat KPP vysvětlují první a druhá komponenta celkem 61,8 % variability souboru, v případě nových dat je to 63,59 %.



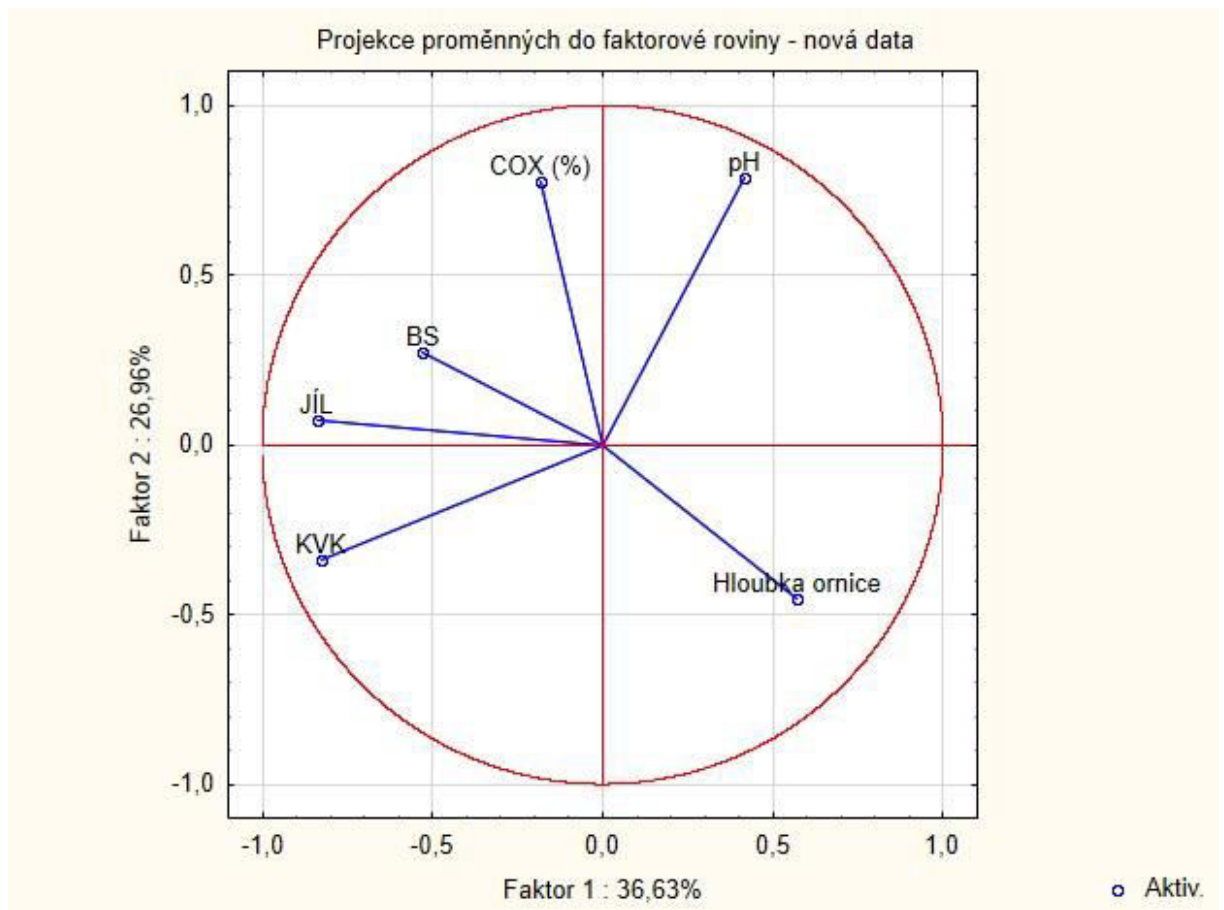
Obrázek 41 - Grafické znázornění PCA analýzy pro data KPP – znázornění bez land use

Čím menší úhel svírají jednotlivé vektory proměnných, tím je mezi nimi těsnější vztah. V případě KPP je těsný vztah patrný mezi obsahem jílu a obsahem Cox, dále mezi BS a pH. Nepřímá korelace je mezi obsahem Cox a pH a obsahem jílu a pH. Méně silné nepřímé korelace lze vidět mezi hloubkou ornice a obsahem Cox, hloubkou ornice a obsahem jílu a obsahem jílu a pH. Významnou proměnnou, díky blízkosti k obvodu kružnice, jsou hloubka ornice, KVK a pH. Proměnné byly rozděleny do dvou skupin – BS, pH, obsah jílu a obsah Cox korelují s první komponentou (pozitivně, resp. negativně), hloubka ornice a KVK pozitivně koreluje s druhou komponentou.



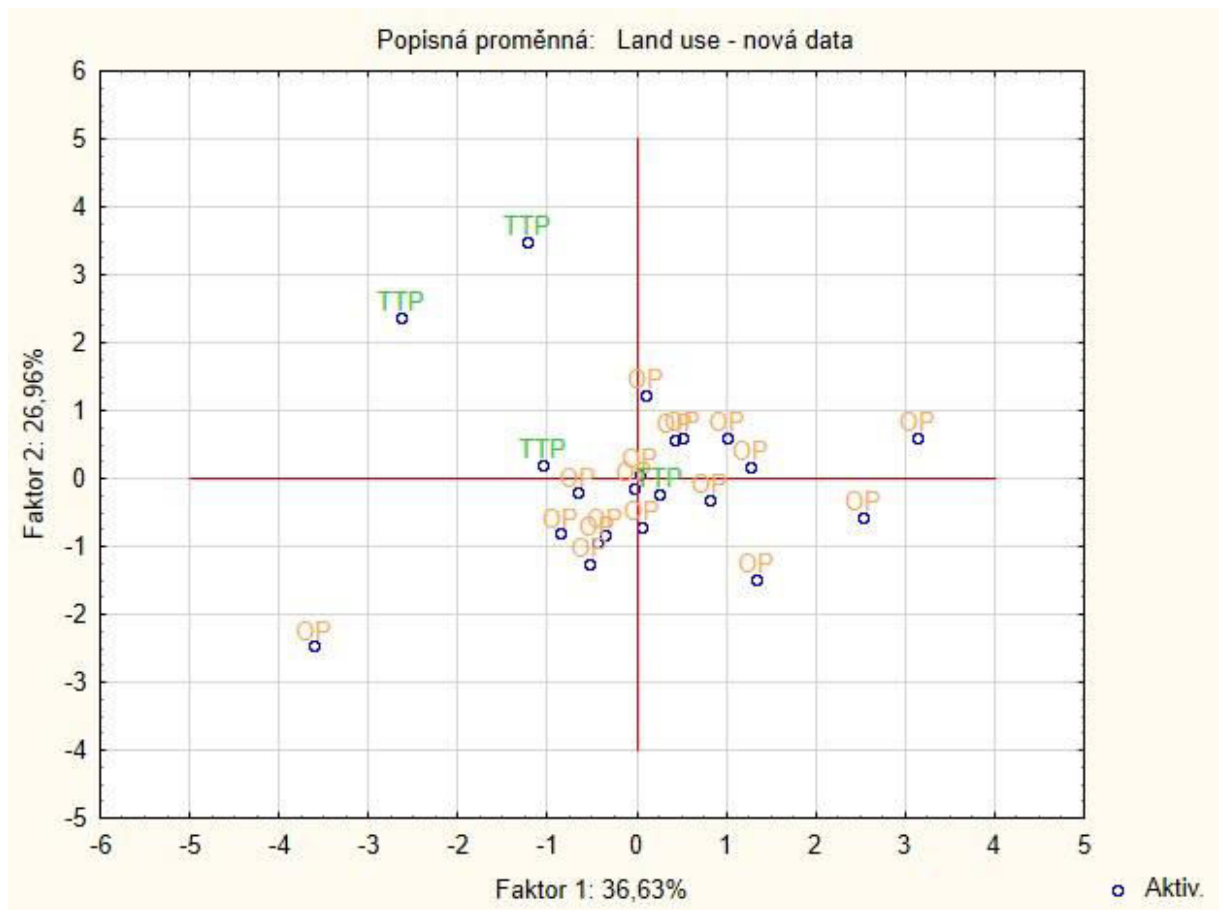
Obrázek 42 - Faktorové souřadnice případů - vliv land use v době KPP

Z grafu faktorových souřadnic případů (obrázek č. 42) je patrné, že první komponenta poměrně dobře diferencuje hodnoty dle příslušnosti k land use. Dle umístěných proměnných typu TTP můžeme potvrdit pozitivní vliv land use typu TTP na obsah Cox, obsah jílu a KVK. Shluky případů ze skupiny orné půdy ukazují těsnější vazbu na hloubku ornice, pH a BS.



Obrázek 43 - Grafické znázornění PCA analýzy pro nová data – znázornění land use (kategorická proměnná)

V případě nových dat spolu koreluje méně proměnných a korelace nejsou tak výrazné. Opět lze proměnné rozdělit do dvou skupin, které spolu těsně souvisí – KVK, obsah jílu, BS korelují s první komponentou. Na grafickém zobrazení faktorů jednotlivých případů (obrázek č. 44) je zobrazen vztah land use vůči jednotlivým proměnným.



Obrázek 44 – Faktorové souřadnice případů – vliv land use, nová data

Lze vidět, že land use typu TTP opět pozitivně ovlivňuje soubor proměnných v levém horním rohu – tedy i obsah organického uhlíku. Land use typu orná půda vykazuje větší varibilitu a rozptyl dat. Tato skupina má větší vliv na hloubku ornice, hodnotu pH a KVK.

6 Diskuze

6.1 Změna vlastností půd v obou sledovaných obdobích

6.1.1 Změna obsahu organického uhlíku v půdách po odvodnění

Průměrný obsah organického uhlíku, bez rozlišení podle hospodaření na dané ploše, v porovnání s daty KPP, mírně klesl z 0,68 % na 0,64 %. Podobný průzkum na odvodňovaných půdách probíhal v severovýchodní části Rumunska. Bylo zjištěno, že obsah Cox, v meliorovaných půdách, klesl až o 4 % od prvního měření před 18 lety. Autoři článku toto připisují vlivu řízené intenzivní kultivace, a tím zapříčiněné urychlené mineralizaci organické hmoty a její následný úbytek (Bucur & Moca 2011). Ovchinikova (2018) prezentovala svou studii zkoumající dlouhodobý vliv odvodňování půd na obsah Cox a výsledky potvrdily rychlý pokles. Stejný trend v poklesu Cox, výhradně v povrchovém horizontu, potvrdily výsledky studie od Kumara et al. (2014). Při porovnání dat KPP a dat z nového průzkumu z roku 2017, získaných na území odvodňovaných půd v blízkosti Krásné Hory na Příbramsku, byl také zaznamenán mírný pokles průměrného obsahu Cox v povrchovém horizontu (Čermák 2020).

Na území, kde půda byla kontinuálně orána, průměrný obsah Cox v ornici klesl, z 0,62 % na 0,56 %. Liu & Wang došli k podobnému závěru. Dle jejich průzkumu je příčinou snížení obsahu organických látek v ornici jejich neustále provzdušňování zemědělskou technikou a transport do hlubších vrstev půdního profilu (Liu & Wang 2006). Dalšími faktory, které přispívají ke snížení obsahu Cox v intenzivně oraných půdách, jsou intenzivní mikrobiální aktivita, zvýšené prokypření a utužování (Abid & Lal 2008). Pokles množství organické hmoty v hluboce orané a zároveň intenzivně odvodňované půdě potvrzuje také studie z roku 2009 (Meersmans et al. 2009). Čermák (2020) ve své práci uvedl, že obsah Cox ve virtuálním povrchovém horizontu, pod kontinuálně oranými půdami, mírně vzrostl. Toto přisuzuje zaorávání organických zbytků po období sklizně.

V případě sledovaného zájmového území lze uvažovat několik důvodů těchto změn – i) prohloubení orby a tedy částečné naorávání vnitřních horizontů s nižším obsahem Cox a rovněž větší mocnost provzdušňované půdní masy, ii) odvodnění půd vedoucí k intenzivnější mineralizaci. Lze předpokládat, že tyto aspekty směřující ke snižování obsahu Cox jsou částečně vyrovnávány větším množstvím biomasy vstupující do půdy, související s obecně se zvyšujícími výnosy a objemem pěstovaných plodin (Čermák 2020; Kalisz et al. 2010; Ghimire et al. 2019; Bucur & Moca 2011).

Při změně land use byl zaznamenán signifikantní nárůst o 0,29 % v průměru obsahu Cox pouze v případě změny z orné půdy na TTP. Průměrný obsah organického uhlíku v půdách využívaných jako TTP byl o 37 % vyšší než v oraných půdách. Hlavní příčinou je obvykle hlubší a hustší kořenový systém trav, v porovnání s plodinami pěstovanými na orné půdě, které přispívají k expanzi a zároveň aktivitě mikrobiální fauny a enzymů. Přeměna orné půdy na TTP může do budoucna sloužit jako nástroj obnovy půdního zdraví a nastolení rovnováhy v příjmu a výdeji v koloběhu organických látek (Ghimire et al. 2019). Oproti tomu Čermák (2020) uvedl, že obsah Cox ve virtuálním povrchovém horizontu se v případě zatravněné ornice ve sledovaném období výrazně nezměnil.

V případě změny land use z TTP na ornou půdu došlo k signifikantnímu poklesu v obsahu Cox (v průměru o 0,52 %). K podobným výsledkům dospěl Frouz et al. v roce 2010, při sledování odvodňovaných půd. Plochy dlouhodobě odvodňované vykazovaly klesající trend v obsahu organického uhlíku. Pokud půda navíc byla využívána jako orná půda, byl pokles až 2,5 násobný, v porovnání s půdami využívanými jako TTP, na nichž nebyly aplikovány žádné meliorační zásahy (Frouz et al. 2010). Rovněž Ghimire (2019) potvrzuje, že při změně využití pozemků z trvalého travního porostu na ornou půdu dochází k výraznému poklesu v obsahu Cox v půdách. V případě tohoto pokusu však signifikantní změny v obsahu Cox nastaly pouze v hloubce do 20 cm. Pokles obsahu Cox připisuje změně mikrobiální aktivity a mineralizaci (Ghimire et al. 2019). Čermák (2020) však při svém experimentu, provedeném také na odvodněných půdách po konverzi z TTP na ornou půdu, došel k závěru že po změně land use došlo spíše k mírnému nárůstu Cox, který však významně souvisel se změnou stratifikace, prohloubení povrchového horizontu a změnou land managementu.

Největší rozdíl mezi průměry skupin pak byl zjištěn mezi TTP -> OP a OP -> TTP. Auerswald & Fiener (2019) uvádí, že změna land use z intenzivní formy (např. orná půda, meliorovaná orná půda) na variantu udržitelnější (v tomto případě např. trvalý travní porost nekulturní) nemá na obsah organického uhlíku v půdě vliv. Pokud ano, tak až v delším časovém horizontu a po zapojení dalších technik hospodaření napomáhajících k obnovení původní přirozené formy krajiny (Auerswald & Fiener 2019). Ghimire (2019) ve své studii také uvádí, že při změně land use dochází k pozitivnímu vlivu na obsah Cox až v delším časovém horizontu (po více než 50 letech méně intenzivní nebo žádné zemědělské činnosti) (Ghimire et al. 2019).

Prostorová variabilita obsahu Cox v povrchovém a podpovrchovém horizontu byla na všech zájmových pozemcích hodnocena ve čtyřech doplňkových sondách rozmístěných v konstantní vzdálenosti a směru od hlavní sondy. Průměr variačních koeficientů sond získaných z povrchového horizontu dosáhl hodnoty 0,18. Výrazně vyšší variabilita byla zjištěna v podpovrchovém horizontu, kde průměr variačních koeficientů dosáhl hodnoty 0,35. Podobný experiment provedl Čermák (2020) – průměr variačních koeficientů v povrchovém horizontu během experimentu v Krásné Hoře dosáhl hodnot 0,19, tudíž výsledná hodnota se shoduje s našimi výsledky. V případě podpovrchového horizontu však Čermák (2020) uvedl mnohem vyšší hodnotu – 0,53, než byla zjištěna na našem sledovaném území. Variabilita v rámci povrchového horizontu dosahuje poměrně nízkých hodnot. To lze vysvětlovat rovnoměrnými vstupy organické hmoty do půdy, stejnou hloubkou orby a rovněž i převažujícím rovinnatějším reliéfem, charakteristickým pro celou oblast, který nepodmiňuje výraznou redistribuci Cox v důsledku erozně-sedimentačních procesů. Vyšší variabilita v podpovrchovém horizontu vychází z často odlišné stratigrafie půd v rámci pozemku, kdy do podorničí v některých případech částečně zasahuje humusový horizont, naopak v řadě případů je humusový horizont omezen pouze na ornici. (Kooch et al. 2020; Ghimire et al. 2019; Liu & Wang 2006; Oueslati et al. 2013; Sahoo et al. 2019)

6.1.2 Změna hloubky ornice

Průměrná hloubka ornice, resp. povrchového horizontu, v době KPP byla 20 cm. Při novém průzkumu byla naměřena hloubka 32 cm, došlo tedy ke zvýšení průměrné mocnosti

povrchového horizontu o 12 cm. Předpokládáme, že k tomuto došlo díky zvýšené intenzitě a prohloubení orby v rámci intenzifikace, mechanizace zemědělských praktik a změn land managementu ve sledovaném období. Ke stejným výsledkům došel Čermák (2020) při pokusu realizovaném v oblasti Krásné Hory. V povrchovém horizontu bylo zaznamenáno prohloubení i na místech, která byla využívána jako TTP. Toto autor přisuzuje pravděpodobně delší etapě využívání ploch jako orné půdy a pozdějšímu převedení těchto ploch na TTP (Čermák 2020). Frouz et al. (2010) rovněž došli k závěru, že dlouhodobé odvodňování a intenzivní land use má vždy vliv na výslednou hloubku povrchového horizontu, potažmo ornice.

6.1.3 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 zvýšení. To platí pro vzájemně korelující pH a nasycení sorpčního komplexu. Průměrná hodnota pH vzrostla v průměru o 0,38 bodů z hodnoty 5,23 na 5,61. Bazická saturace v průměru také mírně vzrostla z hodnoty 69,87 % na 70,95 %. Tyto výsledky jsou v souladu s dlouhodobými trendy vývoje těchto vlastností v zemědělských půdách ČR. Při agrochemickém zkoušení půd bylo v roce 2016 v oblasti Jižních Čech naměřeno pH o průměrné hodnotě 5,6. I přes nárůst v obsahu bází v porovnání s minulými lety se stále jedná o půdy slabě kyselé. Dlouhodobě stálý, ale mírný růstový trend půdní reakce je připisován nerovnoměrnosti v aplikaci vápenatých hnojiv na zemědělské plochy a snížení incidence kyselých dešťů (Prášková & Němec 2016).

Mírný pokles byl zaznamenán u KVK, signifikantně korelující v obou obdobích s obsahem jílu a Cox, které tvoří základ sorpčního komplexu (Strawn 2021). Mírné snížení je možné připisovat snížení obsahu organické hmoty, ačkoliv obsah jílu naopak mírně vzrostl. KVK je rovněž proměnnou s nejvyšší variabilitou hodnot. Jednotlivé vazby v sorpčním komplexu jsou ovlivňovány pH. Při nižším pH tyto vazby (především mezi Cox a KVK) oslabují (Solly et al. 2020).

Ve sledovaném období tedy došlo ke změně obsahu organického uhlíku a dalších vlastností půd. Tyto změny byly pravděpodobně podpořeny intenzivním odvodňováním, které bylo na sledovaném území v minulosti aplikováno. Dalším ovlivňujícím faktorem byla změna land use a intenzifikace zemědělství.

7 Závěr

Na sledovaném území v okrese České Budějovice došlo za posledních 60 let k četným změnám v obsahu organického uhlíku a dalších fyzikálně–chemických vlastností odvodňovaných půd. Ačkoliv nová data a data získaná z databáze KPP nebyla v mnoha případech úplná, poskytla po harmonizaci dostatečné množství informací o proběhlých změnách.

Celkový trend v obsahu Cox v povrchovém horizontu je v návaznosti na výsledky analýzy průměrů KPP a nového průzkumu mírně klesající. Při detailní analýze skupin jsme však došli k závěru, že obsah Cox neklesl ve všech případech. Po zatravnění orné plochy došlo k významnému nárůstu obsahu Cox. Pokles byl sledován při změně TTP na ornou půdu. V případě kontinuálního využití pozemku jako orné půdy došlo k nevýznamnému poklesu obsahu Cox. Potvrdily se tedy obě hypotézy. První, předpokládající, že ve sledovaném období došlo na zájmovém území ke změně obsahu Cox (zde je ovšem změna spíše nevýznamná) a druhá, předpokládající, že míra změny obsahu humusu se liší v závislosti na land use a managementu.

Variabilita v obsahu organického uhlíku v rámci jednoho pozemku byla zjišťována v povrchovém a podpovrchovém horizontu. Větší variabilitu vykazovaly vzorky z podorničí, resp. z podpovrchového horizontu. Povrchový horizont měl variabilitu méně významnou. Část druhé hypotézy, předpokládající, že obsah humusu se liší v závislosti na poloze byla také potvrzena, ale variabilita v prostoru byla významná převážně v podpovrchovém horizontu.

Zásadní zjištěnou změnou byl výrazný nárůst hloubky ornice, a to v průměru o 12 cm. Předpokládáme, že tento fakt ovlivnil změnu dalších půdních vlastností. Potvrzeny byly rovněž méně výrazné změny průměrných hodnot dalších sledovaných vlastností – pH, KVK, BS a obsahu jílu. Kromě kationtové výměnné kapacity slabě vzrostly všechny sledované proměnné.

Analýza dat a výstupy z hodnot tedy potvrzují, že na území došlo ke změně v obsahu humusu v půdě a prokazují vliv land use na vývoj této proměnné. V některých případech byly ale očekávány mnohem intenzivnější změny jednotlivých vlastností půd. Je třeba analýzu dat a srovnání dat KPP porovnat se současným stavem ve větším měřítku, aby mohla být řešena otázka udržitelnosti dříve aplikovaných meliorací. Udržovat dlouhodobou úživnost půd, převážně podpořením přirozeného cyklu uhlíku a vody, a zároveň zachovat přirozený ráz krajiny a diverzity, by mělo být cílem všech, kteří přicházejí do kontaktu s půdou.

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
- Albrecht J. 2003. Chráněná území ČR – Českokobudějovicko. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha.
- Auerswald K & Fiener P. 2019. Soil organic carbon storage following conversion from cropland to grassland on sites differing in soil drainage and erosion history. *Science of The Total Environment*. **61**: 481-491
- Balram P & Jagadish P. 2015. Managing Drainage Congestion to Increase Crop Production and Productivity in Hirakud Command, India. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology*. **15**: 32-40.
- Brady NC, Weil RR. 2008. *Nature and Properties of Soils*. Pearson. Maryland.
- Bucur D, Moca V. 2011. The influence of improvement procedures and a tile drainage system on soil physical properties in a north-east romanian experimental site. *Irrigation and Drainage*. **61**: 386-397
- Cun C, Caoxin Z, Zhang W. 2019. Review of urban drainage and stormwater management in ancient China. *Landscape and Urban Planning*. **190**: 103-112
- Čermák P. 2020. Využití dat Komplexního průzkumu zemědělských půd pro sledování změn půdních vlastností. [MSc. Thesis]. Czech University of Life Sciences Prague, Prague.
- Farkas C, Gelybó G, Bakacsi Z, Horel Á. 2014. Impact of expected climate change on soil water regime under different vegetation conditions. *Biologia*. **69**: 1510-1519
- Faiyz Y. 2012. CPMAS 13C NMR characterization of humic acids from composted agricultural Saudi waste. *Arabian Journal of Chemistry*. **82**: 232-247
- Fausey NR. 2005. *Encyclopadia of Soils in the Environment*. Elsevier. Amsterdam.
- Frouz J, Kalčík J, Syrovátka O. 2010. The effect of pipe drainage on peat meadow soil: physical and chemical soil properties. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica*. **1-2**: 83-89
- Gerke J. 2018. Concepts and Misconceptions of Humic Substances as the Stable Part of Soil Organic Matter: A Review. *Agronomy*. **76**: 102-118
- Ghimire R, Thapa V, Cano R & Acosta-Martinez V. 2019. Soil organic matter and microbial community responses to semiarid croplands and grasslands management. *Applied Soil Ecology*. **141**: 30-37
- Guimarães DV, Gonzaga MI, da Silva TO, da Silva TL. 2013. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil & Tillage Research*. **126**: 177-182
- Hodges SC. 2010. *Soil Fertility Basics*. North Carolina State University. Raleigh.
- Chen M. 2005. Historical Studies on Water Environmental Changes and Water Resources Carrying Capacity in Haihe River Basin. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*. **12**: 1-9
- Kalisz B, Lachacz A, Glazewski R. 2010. Transformation of some organic matter components in organic soils exposed to drainage. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. **34**: 245-256.
- Kooch Y, Ehsani S, Akbarania M. 2020. Stratification of soil organic matter and biota dynamics in natural and anthropogenic ecosystems. *Soil and Tillage Research*. **200**: 104-115

- Kovaříková Z. 2020. Meliorace by měly přestat zbytečně vysušovat krajinu. Ministerstvo zemědělství představilo ambiciózní plán. Ekolist.cz. Praha. Online. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/meliorace-by-mely-prestat-zbytecne-vysusovat-krajinu.ministerstvo-zemedelstvi-predstavilo-ambiciozni-plan/>, Praha [cit. 2021-10-10]
- Kulhavý Z. 2020. Adaptace hydromeliorací jako součást plánu realizace opatření pro zmírňování dopadů změn klimatu. Vodní hospodářství. Praha. Online. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/adaptace-hydromelioraci-jako-soucast-planu-realizace-opatreni-pro-zmirnovani-dopadu-zmen-klimatu/>, Praha [cit. 2021-11-11]
- Kulhavý Z., Pelíšek I. et al. 2017. Postupy pro dosažení udržitelnosti hydromelioračních opatření v podmínkách České republiky. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i.. Praha.
- Kulhavý Z, Doležal F, Fučík P, Kulhavý F, Kvítek T. 2007. Management of agricultural drainage systems in the Czech republic. *Irrigation and Drainage*. **56**: 141-149
- Kulhavý Z, Fučík P. 2015. Adaptation Options for Land Drainage Systems Towards Sustainable Agriculture and the Environment: A Czech Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*. **24**: 1085-1102
- Kulhavý Z 2019. Generel odvodňovacích staveb jako nástroj řešení konfliktu zemědělství a požadavků na množství a jakost vody. Pages 12-20 in Šeda S, Datel JV editors. Podzemní vody ve vodárenské praxi. VÚMOP. Rychnov nad Kněžnou.
- Kulhavý Z., Soukup M. 2010. Zemědělské odvodnění a krajina. Pages 97-104 in Rožnovský J, Litschmann T, editors. Voda v krajině. VÚMOP. Lednice.
- Kumar S, Nakajima T, Mbonimpa EG, Gautam S. 2014. Long-term tillage and drainage influences on soil organic carbon dynamics, aggregate stability and corn yield. *Soil science and plant nutrition*. **60**: 108-118
- Lal R, Kimble JM, Ronald F. 1997. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press. Boca Raton.
- Lal R, Winfried EH, Blum C. 1998. *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press. Boca Raton.
- Lewis LN. 2010. *Egypt's Future Depends on Agriculture and Wisdom*. University of California. Oakland.
- Liu D, Wang Z, Zhang B, ... Duan, H. 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region in Northeast China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **113**: 73-81.
- Manik SMN, Pengilley G, Dean G, Field B, Shabala S and Zhou M. 2019. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity. *Frontiers in Plant Science*. **10**:140-163.
- Maslow BS. 2009. Agricultural land improvement: Amelioration and reclamation. *Agricultural Land Improvement: Amelioration and Reclamation*. **1**: 1-9
- Meersmans J, Van Wesemael B, De Ridder F. 2008. Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960-2006. *Global Change Biology*. **15**: 2739-2750
- Nardi S, Ertani A, Francioso O. 2016. Soil-root cross-talking: The role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition*. **1**: 1-9
- Němeček et al. 1967. Průzkum zemědělských půd ČSSR. MZVŽ. Praha.
- Němeček J. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita. Praha.

- Oueslati I, Allamano P, Bonifacio E, Claps P. 2013. Vegetation and Topographic Control of Spatial Variability of Soil Organic Carbon. *Pedosphere*. **23**: 48-58
- Ovchinnikova MF. 2018. Changes in the Content, Composition, and Properties of Humic Substances in Particle-Size Fractions of Soddy-Podzolic Soils under the Impact of Long-Term Drainage. *Eurasian Soil Science*. **51**: 647-657
- Papadopoulos J. 2012. The Dams and Water Management Systems of Minoan Pseira by P.Batencourt (a review). *Journal of Classical Association*. **12**: 238-240
- Penížek V. 2019. Půdní krajiny. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Pettit RE. 2006. Organic Matter, Humus, Humate, Humic Acid, Fulvic Acid and Humin. The Wonderful World of Humus and Carbon. Texac A&M University. Online. Dostupné z: <https://www.epa.govt.nz/assets/FileAPI/proposal/NSP000028/Evidence/66b7a1781f/NSP000028-Tichinin-Phyllis-Evidence-Dr-Phil-Schofield-Petit-on-Humics.pdf> [cit. 2021-09-20]
- Porporato A, D'Odorico P, Laio F. 2003. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles. I. Modeling scheme. *Advances in Water Resources*. **26**: 45-58
- Prášková L, Němec P. 2016. Bazální monitoring zemědělských půd - půdní reakce a obsah živin. Online. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/publikace/bezpecnostpudy-zpravy/monitoring-pud/bazalni-monitoring-zemedelskych-pud/>, Brno. [cit. 2022-03-25]
- Rice JA. 2001. Humin. *Soil Science*. **166**:848-857
- Sahoo UK, Singh SL, Gogoi A, Kenye A & Sahoo SS. 2019. Active and passive soil organic carbon pools as affected by different land use types in Mizoram, Northeast India. *PLOS ONE*. **14**: 7-14
- Scharlemann J, Tanner EV. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*. **5**: 81-91
- Singh B, Singh G. 2004. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergia sissoo* seedlings. *Tropical Ecology*. **45**: 337-340
- Singh B, Chanasyk DS, McGill WB. 1998. Soil water regime under barley with long-term tillage-residue systems. *Soil&Tillage Research*. **45**: 59-74
- Soukup M. 2006. Drainage Systems and their Water Management Function with regard to Probable Climatic and Hydrological Changes. *Soil & Water Research*. **31**: 32-38
- Solly EF, Weber V, Zimmermann S, Walthert L, Hagedorn F & Schmidt MW. 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
- Stevenson FJ. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons. Hoboken.
- Strawn DG. 2021. Sorption Mechanisms of Chemicals in Soils. *Soil Systems*. **5**: 13-26
- Šimek M, Elhottova D. 2015. *Strategie Živá půda*. Akademie věd České republiky, Praha.
- Šimunic I, Miseckaite O, Tanja L. 2019. Climate changes and soil water regime. *Agriculture & Forestry*. **65**: 5-18

- Tamburrino A. 2010. Water Technology in Ancient Mesopotamia. *Ancient Water Technologies*. **12**: 29-51
- Tlapáková L, Žaloudník J, Pelíšek I, Kulhavý Z. 2013. Mohou distanční metody odhlait drenážní systémy v krajině?. *Životné prostredie*. **47**: 160-163
- Tomášek M. 2007. *Půdy České republiky*. Česká geologická služba. Praha.
- Valipour M, Krasilnikof J, Yannopolous S, Kumar R. 2020. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. *Sustainability*. **12**: 416-446
- Vopravil J, Khel T, Voplakal K, Čermáková M. 2008. The Impact of Artificial Drainage on Water Quality in Two Model Areas in the Bohemian Forest Foothills. *Soil & Water Research*. **3**: 138-154
- Wang Y, Agarwal S, Kloekhorst A, Heeres HJ. 2016. Catalytic Hydrotreatment of Humins in Mixture of Formic Acid/2-Propanol with Supported Ruthenium Catalysts. *Chemistry-Sustainability-Energy-Materials*. **9**: 9-22
- Woutersen R. 2009. Chromium (III)-, iron(II)- and selenium-humic acid/fulvic acid chelate and supplemented hemifulvate added for nutritional purposes to food. *The EFSA Journal*. **1147**: 1-36
- Zádorová T, Žižala D, Penížek V, Vaněk A. 2020. Harmonisation of a large-scale historical database with the actual Czech soil classification system. *Soil and Water Research*. **15**: 101-115.
- Zhou WC, Suolang DE, Cui LJ, Wang YF, Li W. 2016. Effects of drainage on soil organic carbon stock in the Zoige peatlands eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*. **15**: 112-134
- Žižala 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.
- MŽP 2015: Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. (NAP) Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Zpracováno na základě usnesení vlády č. 861/2015

Online zdroje pro tvorbu map:

- CENIA. 2022. ArcGIS REST Services Directory. CENIA, Praha. Available from: <http://ns.cenia.cz/arcgis/rest/services/CENIA> (accessed July 2021)
- Česká Geologická služba. 2021. Mapy online – WMS Služby: Geologie. Česká Geologická Služba & MŽP ČR, Praha. Available from: https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa50/MapServer/WMServer (Accessed October 2021)
- ČÚZK. 2020. Veřejný registr půdy – LPIS. ČÚZK & MZČR, Praha. Available from: <https://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/> (accessed May 2021)
- ČÚZK. 2021. Geoportál ČÚZK – Prohlížeč služby Esri ArcGIS Server. ČÚZK, Praha. Available from: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(zlskazzopdzqiaokjb4k4rkb\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metaDataID=CZ-CUZK-AGS-GEOMORF&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3144](https://geoportal.cuzk.cz/(S(zlskazzopdzqiaokjb4k4rkb))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.AGS&metaDataID=CZ-CUZK-AGS-GEOMORF&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3144) (accessed July 2021)
- VÚMOP. 2022. Komplexní průzkum půd: Digitalizovaná databáze. VÚMOP & MZČR, Praha. Available from: <https://kpp.vumop.cz/?core=app> (accessed October 2021)

Zdroje ISO norem:

ČSN ISO 11464 (836160). 2011. Kvalita půdy - Úprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů. Český normalizační ústav, Praha.

ČSN ISO 10694 (836410). 1998. Kvalita půdy - Stanovení organického a celkového uhlíku po termickém rozkladu. Český normalizační institut, Praha.

ČSN EN ISO 10693 (836375). 2015. Kvalita půdy - Stanovení obsahu uhlíčanů - Odměrná metoda. Český normalizační ústav, Praha.

ČSN EN ISO 17892-4 (721007). 2017. Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zrnitosti. Český normalizační ústav, Praha.

ČSN ISO 10390 (836221). 2011. Kvalita půdy - Stanovení pH. Český normalizační ústav, Praha.

ČSN EN ISO 11260 (836225). 2018. Kvalita půdy - Stanovení kationtové výměnné kapacity při pH půdy a výměnných kationtů za použití roztoku chloridu barnatého. Český normalizační ústav, Praha.

9 Seznam zkratk

BPEJ	Bonitovaná půdně ekonomická jednotka
BS	Bazická saturace
COX	Obsah organického uhlíku
DPZ	Dálkový průzkum země
ČÚZK	Český ústav zeměměřičský a katastrální
GIS	Geografický informační systém
KPP	Komplexní průzkum půd
KVK	Kationtová výměnná kapacita
MZe	Ministerstvo zemědělství
NAZV	Národní agentura pro zemědělský výzkum
OP	Orná půda
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd
TKSP	Taxonomický klasifikační systém půd
TTP	Trvalý travní porost
ZVHS	Zemědělská hospodářská správa