

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím
indikátorů kvality půdy**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Lukáš Řeháček

Obor studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: Ing. Jaroslava Janků, CSc.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Podpis _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Jaroslavě Janků, CSc. za cenné rady, předání zkušeností a za odborné vedení při zpracování diplomové práce. Zároveň děkuji paní Ing. Markétě Mihálikové z katedry vodních zdrojů, Ph.D. a panu Ing. Mgr. Danielovi Tothovi, Ph.D. z ekonomické fakulty za jejich čas a konzultace, které věnovali při zpracování dat pro tuto práci. Děkuji také své rodině a svým blízkým, kteří mi svojí podporou pomohli ke zdárnému dokončení diplomové práce, především své přítelkyni Ing. Markétě Kárníkové.

Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy

Souhrn

Diplomová práce se zabývala hodnocením ekosystémových služeb půdy, prostřednictvím indikátorů kvality půdy. Indikátory byly stanoveny na základě dat o půdních sondách pro okres Mladá Boleslav ve Středočeském kraji a byly zvoleny charakteristiky půd, které se nejvíce podílejí na ekosystémových službách. Data byla zhodnocena pomocí Saatyho metody a vyjádřena v bezrozměrné podobě bodů. Ke všem půdním charakteristikám (indikátorům) byly stanoveny váhy na základě odborných názorů vědeckých pracovníků ČZU. Pro zhodnocení se použil program Microsoft Office Excel.

Výsledek je tvořen body, které udávají kvalitu (hodnotu) půdy. Bodový výsledek je zároveň možno využít pro nové stanovení tříd ochrany půd, tzn. připravit návrh pro změnu legislativy, která bude respektovat produkční i mimoprodukční schopnosti půdy, které doposud hodnoceny nebyly. Výsledné mapy, vytvořené v programu ArcGIS verze 10.4., přehledně vykreslují oblasti půd dle hodnoty (kvality).

Cílem diplomové práce bylo otestovat vhodnost Saatyho metody pro hodnocení půdy. Jedná se o nový postup v oceňování půdy. Metoda se snaží eliminovat subjektivitu expertních hodnocení. Saatyho metoda se jeví jako dobrý nástroj pro hodnocení půdy a tím zároveň i pro její ochranu. Ochrana půdy je celospolečensky přímo odvislá od znalosti o její hodnotě, proto je důležité její správné ohodnocení, zvláště nyní, kdy Česká republika čelí velkým záborům kvalitní půdy. Je proto nutné nastavit nový metodologický přístup oceňování půdy, jehož výsledky budou hodnotu půdy prezentovat jednoduše a jasně tak, aby přiměly společnost se na půdu dívat jako na vzácný přírodní neobnovitelný zdroj.

Klíčová slova: ochrana půdy, indikátory kvality půdy, ekosystémové služby půdy, Saatyho metoda, oceňování přírodních zdrojů

Evaluation of soil ecosystem services through soil quality indicators

Summary

The thesis deals with the evaluation of soil ecosystem services, through soil quality indicators. The indicators were determined on the basis of data on soil probes for Mladá Boleslav district in the Central Bohemian Region and there were selected the characteristics of soils that contribute most to ecosystem services. The data were evaluated using the Saaty method and expressed in the dimensionless form of points. Weights were determined for all soil characteristics (indicators) on the basis of expert opinions of CULS researchers. Microsoft Office Excel was used for evaluation.

The result consists of points that indicate the quality (value) of the soil. The point result can also be used for a new determination of soil protection classes, ie. to prepare a proposal for a change in legislation that will respect the productive and non-productive capabilities of soil, which have not yet been evaluated. The resulting maps, created in ArcGIS version 10.4., draw soil areas according to the value (quality).

The aim of the thesis was to test the suitability of Saaty's method for soil evaluation. This is a new procedure in the valuation of natural resources. The method tries to eliminate the subjectivity of expert evaluations. Saaty's method seems to be a good tool for soil evaluation and thus for soil protection. Soil protection is directly dependent on knowledge of its value in society as a whole, which is why its correct evaluation is important, especially now when the Czech Republic is facing soil sealing of quality soil. It is therefore necessary to set up a new methodological approach to land valuation, the results of which will present the value of land simply and clearly so the society looks at land as a rare natural non-renewable resource.

Keywords: soil protection, soil quality indicators, soil ecosystem services, Saaty method, valuation of natural resources

Obsah

1. Úvod	7
2. Vědecká hypotéza a cíl práce	8
3. Definice, služby a hodnocení půdy	9
3.1. Definice pojmu půda	9
3.2. Složení půdy	10
3.3. Vlastnosti půdy a jejich význam	16
3.4. Klasifikace půd.....	22
3.5. Ochrana půd	24
3.6. Kvalita a funkce půdy	26
3.7. Ekosystémové služby	27
3.8. Cíle udržitelného rozvoje	29
3.9. Posuzování a hodnocení kvality půdy.....	33
3.10. Úbytek půdy v České republice	44
3.11. Analýza půdy z hlediska ochrany zemědělské půdy.....	46
4. Metodika	48
4.1. Získávání dat	48
4.2. Vybrané indikátory kvality půdy	49
4.3. Důležitost jednotlivých indikátorů kvality půdy a jejich propojení.....	51
4.4. Výběr okresu a jeho charakteristika.....	62
4.5. Hodnocení dat pomocí Saatyho metody	69
4.6. Tvorba map	74
5. Výsledky	75
5.1. Bodové hodnocení indikátorů	75
5.2. Mapy znázorňující bodové hodnocení	81
6. Diskuze	91
7. Závěr	95
8. Seznam použité literatury	96
9. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	101
10. Seznam obrázků.....	102
11. Seznam tabulek	103
12. Seznam příloh	104
13. Přílohy.....	105

1. Úvod

Půda je důležitým přírodním zdrojem pro hospodaření, zejména pro zemědělství a lesnictví a je přirozenou součástí národního bohatství každého státu. Obsahuje mnoho půdních organismů, planě rostoucích rostlin a slouží také k pěstování kulturních rostlin (MŽP, 2008).

Půda obecně představuje širokou škálu životně důležitých ekosystémových služeb. Ochranu půdy zajistíme především díky redukcí vyčerpání půdy, prevenci odplavování a odnosu prachových částic, snižování půdních nánosů řekami a ochranou půdní živnosti (Seják, 2010).

K lepší ochraně půdy je potřeba půdu správně ocenit. Dokud nemá půda vyčíslitelnou hodnotu, tak ji naše společnost nezačne akceptovat jako důležitý neobnovitelný zdroj a například zábory půdy se budou zvyšovat. Je také důležité zajistit účinnější legislativu ochrany půdy, aby byla zajištěna její plnohodnotná funkce v ekosystému. Půda tvoří významný zdroj potravy pro člověka, ale mělo by se současně dbát na využitelnosti těchto zdrojů, s ohledem na principy udržitelného života.

Půda plní mnoho funkcí, které mají jiné charakteristiky a klasifikují její vlastnosti. Je možné využít systém indikátorů vlastností půd, které lze měřit a číselně vyjadřovat, ke kvantifikaci pojmu „kvalita půdy“. Důležitými indikátory pro určení kvality půdy je především obsah zadržování vody v půdě, obsah humusu nebo zrnitost půdy (Sáňka, 2004).

2. Vědecká hypotéza a cíl práce

Vědecká hypotéza: Saatyho metoda je vhodná pro hodnocení kvality půdy.

Cílem práce bylo nalézt nový způsob v oceňování přírodních zdrojů a zhodnotit její praktický i teoretický dopad pro další použití. Je potřeba nastavit metodologický rámec oceňování, který je v čase udržitelný a není příliš subjektivní.

Práce byla součástí projektu „Udržitelné hospodaření s přírodními zdroji s důrazem na mimoprodukční a produkční schopnosti půdy, v programu aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017-2025, který má za cíl navrhnout ucelený komparativní a všeobecně použitelný způsob stanovení environmentální hodnoty půdy.

Ekosystémové služby půdy mohou být zhodnoceny pomocí indikátorů kvality půdy. Snahou bylo najít způsob hodnocení indikátorů kvality půdy z hlediska produkční i mimoprodukční funkce. Pro hodnocení byla použita Saatyho metoda, představující robustní matematický aparát, který je odzkoušený a generuje udržitelné výsledky pro použití v praxi.

Oproti postupům v ekonomii byla použita Saatyho metoda pouze pro jednu vstupní variantu – půdu, kde byly porovnány rozdíly mezi naměřenými půdními charakteristikami a byla určena jejich vzájemná důležitost.

Výsledkem jsou body, které byly znázorněny do map a pomohou charakterizovat půdu, upřesnit kritéria pro stanovení tříd ochrany půd, určit hodnotu půdy a v rámci projektu dále připravit návrh pro změnu legislativy, která bude respektovat produkční a mimoprodukční schopnosti půdy.

3. Definice, služby a hodnocení půdy

Půda představuje jeden z nejdůležitějších přírodních zdrojů. Má zásadní význam pro přírodní systémy a lidskou společnost. Je nedílnou součástí lesních i travinných ekosystémů, agrosystémů a ovlivňuje i vodní a urbánní ekosystémy; hraje klíčovou roli v zemědělství. Zájem společnosti o půdu a její poznávání sahá daleko do historie, neboť člověk je s půdou bytostně spjat. Půda je regulátorem a hnací silou pro koloběh živin a lze na ni pohlížet také jako na úložiště a zdroj přínosných látek. Představuje prostor pro život mnoha rostlinných a živočišných druhů, a tímto nepřímo plní funkci poskytovatele surovin pro následnou výživu nejen lidstva, ale je i zdrojem obživy pro živočichy na všech stupních potravinového řetězce. Zároveň je přirozenou součástí národního bohatství každého státu, avšak je konečným a neobnovitelným zdrojem. Z tohoto důvodu je její ochrana klíčová (Vaněk a kol., 2007).

3.1. Definice pojmu půda

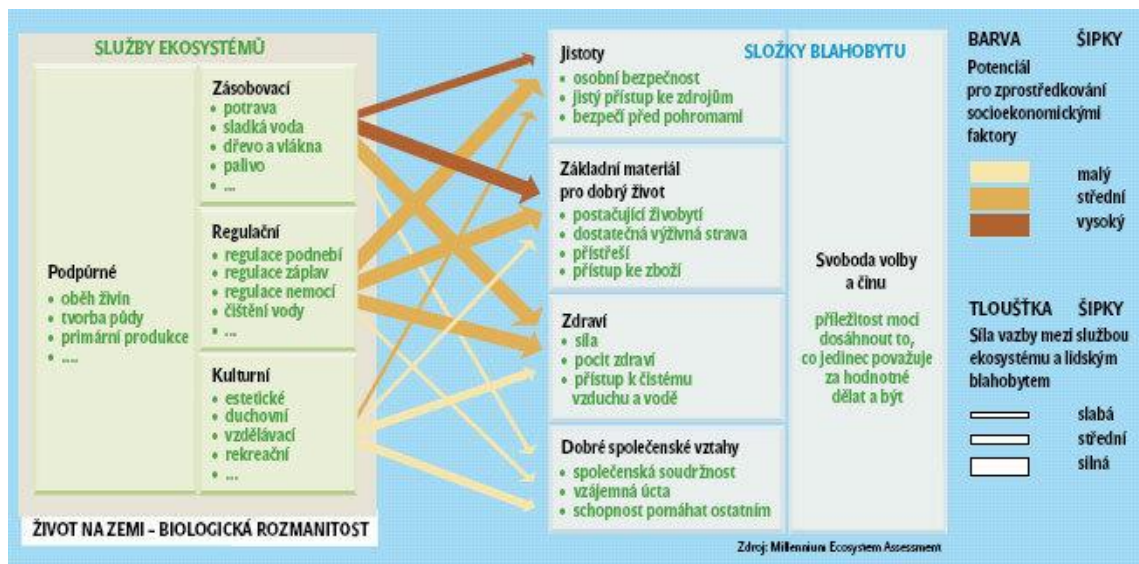
Půdu lze definovat jako „přírodní útvar, který se vyvinul a vyvíjí z povrchových zvětralin zemské kůry a organismů, působením podnebí a půdotvorných procesů“. Její charakteristické rysy se odvíjí od určitého stanoviště, které je dotvářeno vlivy polohy, pomocí hydrologických podmínek, nadmořské výšky, geologickým substrátem a často také vlivem člověka. Existuje velmi pestrá škála půd – jedná se o půdy přirozených stanovišť od úrodných až po půdy nevhodné pro zemědělskou činnost, ale také půdy upravené na půdní hmoty, které označujeme jako zeminy či hlíny. Vývoj půdy je považován za dlouhodobý proces, trávající až tisíciletí. Úzce souvisí s vývojem společenstev, jejichž odumřelé zbytky tvoří zdroj půdního humusu a dalších produktů. Právě z důvodu dlouhodobého vývoje, je půda řazena ke zdrojům, které jsou velmi obtížně obnovitelné – spíše neobnovitelné, avšak mající strategický význam jak pro současné období, tak budoucí (Vaněk a kol., 2007).

Z historického hlediska lze rozlišit dva způsoby, jakými je možné pohlížet na půdu a její vývoj v průběhu let – jedná se o statistické a dynamické pojetí půdy. Statistické pojetí nebralo v potaz vývoj půdy v čase a jeho vztah k přírodnímu prostředí. Chápalo půdu jako neživou směs, tvořenou odumřelými organismy a rozpadlými horninami, přičemž tyto prvky byly v různém stupni rozkladu. Oproti tomu dynamické pojetí definovalo půdu jako útvar, který vzniká a vyvíjí se v čase za pomoci působení vnitřních a vnějších činitelů (Prax a spol., 1995).

Půda obecně představuje širokou škálu životně důležitých ekosystémových služeb. Těmito službami se rozumí přínosy, které poskytují ekosystémy lidem (viz Obrázek 1.). Je nutné uvést, že půda představuje potravinové zabezpečení a zároveň vytváří přirozené prostředí pro mnohé živé organismy. Je základem zemědělské produkce a zdrojem rostlinných produktů. Právě z tohoto existenčního hlediska je nutné pečovat a dbát o dobrou kvalitu půdy a její ochranu; tedy klást důraz nejen na omezení úbytků půd obecně, ale také udržovat půdu na stále stejně kvalitní úrovni a tím zvyšovat její

úrodnost. Je třeba se soustředit především na snižování, popř. eliminaci znečištění zeminy rizikovými prvky a látkami, zamezení odčerpávání živin z půdy, snížení úrovně acidifikace, obsahu organických látek apod (Drobnik a spol., 2018).

S ohledem na to, že neustále dochází k nárůstu počtu obyvatel na Zemi a objem využitelné půdy se zmenšuje, připadá na každého obyvatele stále méně využitelné půdy. Tímto zrychlením růstu lidské populace se zvyšuje i její materiální spotřeba – lidé spotřebovávají ve velké míře přírodní zdroje jako je např. uhlí, palivové dřevo, stavební dřevo, ropa, ryby a zvěř a přírodní ekosystémy jsou přetvořeny na krajinu, kde převládá především těžební, stavební nebo podnikatelská aktivita, která vrcholí mimo jiné také výstavbou skladů, obchodů a parkovišť. Rozšiřování měst a silnic vede k tomu, že je povrch pokrýván betonem a asfaltem, což samozřejmě nenávratně poškozuje povrchovou vrstvu půdy (tzv. soil sealing). Zároveň je situace zhoršena rozvojem a industrializací jednotlivých států, což má za následek nárůst spotřeby zdrojů na jednoho obyvatele. Tato intenzifikace využívání zdrojů má přímé škodlivé účinky na biologickou diverzitu. Lze obecně konstatovat, že jsou půdy celosvětově ohroženy, a proto je nutné je chránit a předcházet jejich degradaci (Primack, 2011).



Obrázek 1. Vztah mezi ekosystémovými službami a lidským blahobytem, zdroj: časopis Vesmír, autor překladu: Ing. Jiří Dlouhý, UK.

3.2. Složení půdy

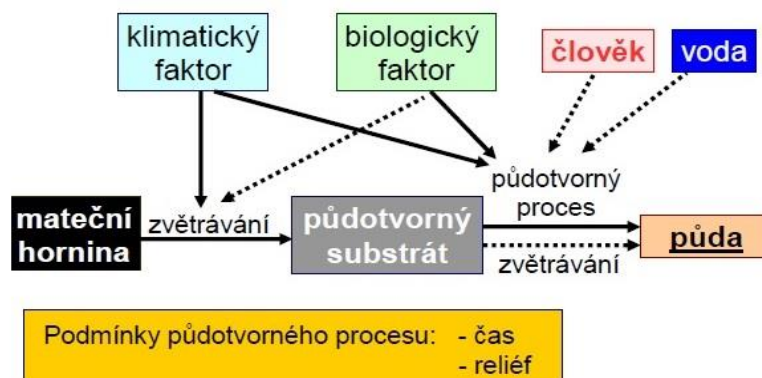
Půda je dynamický, stále se vyvíjející živý systém. To, z čeho je půda složená a jaké prvky v ní převládají, ovlivňuje půdní vlastnosti, živný režim a např. i volbu soustavy hnojení. Proto je identifikace složení půdy klíčová v otázce pochopení vzájemných souvislostí mezi půdou a okolním prostředím, a správnému využívání krajiny s minimalizací negativních vlivů na prostředí (Vrba a Huleš, 2006).

Jednotlivé půdotvorné faktory se projevují a působí v čase, kdy dochází ke zvětvávání matečné horniny (viz Obrázek 2). Mezi hlavní půdotvorné činitele patří bezesporu

matečná hornina, která má vliv na barvu a zrnitost půdy a svým nerostným složením ovlivňuje zásobu živin a chemické složení půdy (Tomášek, 2000).

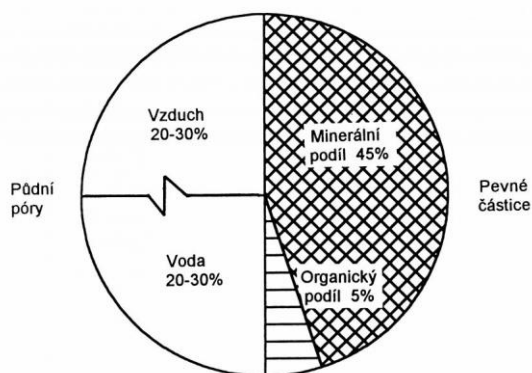
Dalšími činiteli jsou:

- podnebí (chemická reakce v půdě),
- živé organismy (rozklad organických látek),
- podzemní voda (redukční procesy a pohyb složek půdní hmoty),
- reliéf území (nadmořská výška, sklon a expozice svahů),
- čas (1 cm půdy se vytváří zhruba 100 let)
- a člověk, který svými zásahy reguluje průběh půdotvorného procesu (Tomášek, 2000).



Obrázek 2. Vznik a vývoj půdy (Kozák et al. 2009)

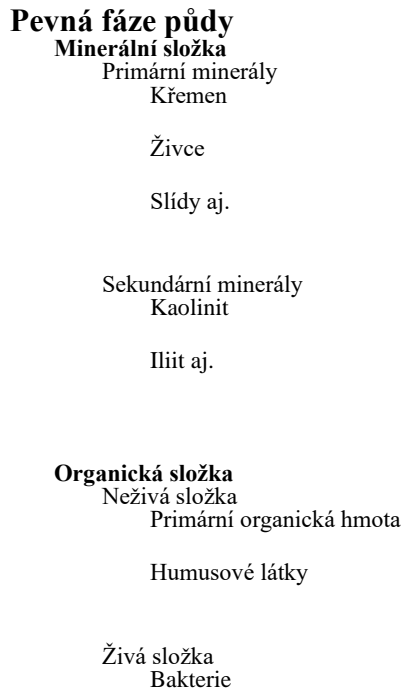
Půda představuje heterogenní systém, který v sobě zahrnuje všechny tři skupenství hmoty – fázi pevnou, kapalnou a plynnou. Na základě tohoto faktu je půda označována jako třífázový disperzní systém (Vaněk a kol., 2007).



Obrázek 3. Průměrné zastoupení jednotlivých složek minerální hlinité půdy ve stavu příznivém pro růst rostlin, hodnoty jsou uvedeny v objemových procentech (Šimek, 2003).

3.2.1. Pevná fáze půdy

Největší část půdy zaujímají částičky v pevném skupenství, které společně představují pevnou fázi. Ta je tvořena půdotvorným substrátem, který je přeměňován půdotvorným procesem v zemitou hmotu. Dále se rozlišuje na minerální a organickou složku. Každá ze složek se dále dělí, jak znázorňuje následující schéma:



Obrázek 4. Schéma složení pevné fáze půdy (Vaněk a kol., 2007)

Zastoupení složek a jejich vzájemné reakce v půdním prostoru předurčuje fyzikální a chemické vlastnosti půd. Minerální část zaujímá v půdě cca 92–98 % a převažuje tak nad složkou organickou, která zaujímá zbylých 2–8 %. Minerální podíl je tvořen primárními minerály (vznikají mechanickým rozpadem pevné mateční horniny) a sekundárními minerály (ovlivňují sorpci iontů, poutání vody a tím i pohyb živin v půdním profilu), jejichž zastoupení se odvíjí od složení matečné horniny. Podle prvků, který minerály obsahují, je pak ovlivňován samotný vývoj půd, nasycenost, hodnota pH aj. Tyto minerály představují také tzv. matečnou sílu půd – okamžitou, ale především potenciální rezervu živin. Organický podíl je rostlinného nebo živočišného původu. Mezi těmito složkami panují velmi úzké vztahy a jednotlivé složky na sobě vzájemně závisí a podmiňují se. Organická část je tvořena složkou živou, která je označována jako edafon, a složkou neživou, jejíž součástí jsou odumřelé zbytky rostlin a živočichů v různých úrovních rozkladu. Tato hmota je po přeměně nazývána humusem (Vaněk a kol., 2007).

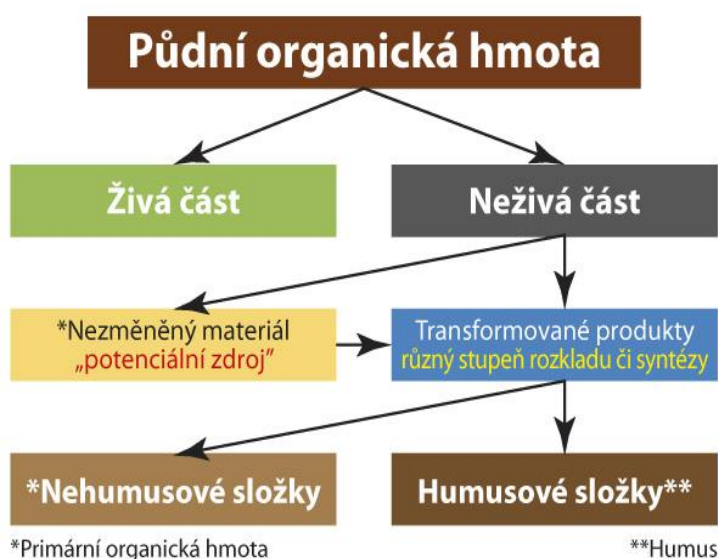
a) Minerální složka půdy

Zvětráváním matečných hornin a substrátů se vytváří minerální složka půdy, která je velikostně zahrnuta od koloidů až po balvany a výrazně ovlivňuje vlastnosti půdy jako celku. Minerální podíl činí až 98 % z tuhé fáze půdy, kde jsou výrazně zastoupeny jílové minerály (až 75 %), dále oxidy hydroxidy (10–15 %) a primární minerály (7–10 %) (Šarapatka, 2014).

Největší vliv na půdu mají jílové minerály, které mají vysokou sorpční schopností pro živiny a vodu (Vrba a Huleš, 2006).

b) Organická složka půdy

Organická část půdy je tvořena živou částí a neživou částí, kde obě složky jsou významné, protože se vzájemně podmiňují a jsou na sobě závislé (viz Obrázek 5.) (Černý, 2019).



Obrázek 5. Zjednodušené rozdělení složek půdní organické hmoty (Černý a spol., 2019)

Za **živou část** půdy považujeme půdní mikroorganismy – mikroedafon (bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.) jako součást většiny rozkladných, ale i jiných transformačních procesů. Významné postavení mají také rostliny, které svým kořenovým systémem ovlivňují biologické i chemické procesy v období vegetace (Šimek, 2020).

Za **neživou složku**, které se nacházejí v půdě nebo na jejím povrchu, považujeme organické látky. Jedná se o velmi složitý komplex nejrůznějších organických sloučenin. Sloučeniny se dostávají do půdy převážně posklizňovými zbytky rostlin, organickými hnojivy (hnůj, kejda, močůvka, zelené hnojení, kompost) nebo v půdě vznikají (humus trvalý, edafon – živé organismy) (Černý, 2019).

Neživou půdní organickou hmotu, podle její přeměny, dělíme také na:

- a) humusotvorný materiál, který je tvořen nerozloženými odumřelými zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů, kde rychlost rozkladu závisí na chemickém složení,
- b) nehumusové látky, které jsou meziprodukty rozkladu a syntézy,
- c) humusové látky, taktéž nazýván humus vlastní (Černý, 2019).

Současné rozdělení neživé části organických látek:

- a) primární organická hmota,
- b) humusové látky (Černý, 2019).

a) Primární organická hmota

Obsahuje odumřelé části rostlin a půdní mikroflóry, které se do půdy dostávají nebo se v ní nachází. Primární organická hmota podléhá mineralizaci pomocí mikroorganismů a rychlost rozkladu je závislý na půdních podmínkách (teplota, vlhkost, pH, provzdušnění atd.) a složením jednotlivých látek obsažených v primární organické hmotě (Černý, 2019).

Do této skupiny patří především kořeny rostlin, kořenové exudáty, mikroorganismy a makroedafon, opad a zbytky nadzemních částí rostlin, organická hnojiva, ale také meziprodukty rozkladu původní organické hmoty (Černý, 2019).

Nerozložená odumřelá organická hmota prochází řadou přeměn a procesů organické hmoty:

- **Mineralizace**

Pouze malá část zůstává v půdě a tvoří složky pro utváření humusových látek, většina dodané půdní organické hmoty je mineralizována. Jedná se o přeměnu organických látek na nejjednodušší minerální sloučeniny (vodu, oxid uhličitý, dusičný, siřičitý, čpavek atd.), kdy se uvolňují minerální látky, které jsou vázané na organické sloučeniny (vápník, draslík, sodík atd.). Při mineralizaci se uvolňuje energie a je podmíněna dobrým provzdušněním (dostatek kyslíku) a vhodnými podmínkami pro činnost půdních mikroorganismů (teplota, vlhkost, živiny apod.). Při mineralizaci se humus netvoří. V půdách mineralizace převyšuje humifikaci (Černý, 2019).

Mineralizace půdní organické hmoty i humifikace se snižují se stoupající nadmořskou výškou a organická hmota se v půdě hromadí. Primární organická hmota, ve vlhkých, studených a kyselých půdách, může mineralizovat jen nepatrně a humifikovat nemusí vůbec (Černý, 2019).

Primární organická hmota je významným zdrojem živin pro půdní mikroflóru a rostliny (Černý, 2019).

b) Humusové látky

Přítomnost humusových látek v půdě přispívá k vysokému poutání živin v půdě (6 – 7x vyšší než u jílových minerálů), kladně ovlivňuje schopnost půdy odolávat náhlým změnám půdní reakce a také příznivě působí na biologické, biochemické a fyzikální vlastnosti půd. Odstraňuje škodlivé sloučeniny a dokáže částečně vázat některé těžké kovy v půdě nebo zabraňuje vysrážení fosforečných sloučenin z půdního roztoku (Richter, 2004).

Humusové látky vznikají dlouhodobě během procesu **humifikace**. Při humifikaci dochází ke střídání aerobních a anaerobních podmínek. Během humifikace prochází původní organická hmota řadou rozkladných procesů, ale důležité jsou syntetické procesy, při kterých se spotřebovává energie a nově se tvoří vysokomolekulární tmavě zbarvené látky. Humus nevzniká rozkladem organických látek, ale syntézou (kondenzací a polymerací) původně jednodušších organických látek (Richter, 2004).

Humusové látky dělíme do tří skupin na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách:

- a) fulvokyseliny,
- b) huminové kyseliny,
- c) huminy (Černý, 2019).

Humusové látky jsou velice stabilní v půdě a mají významné sorpční a ionto-výměnné vlastnosti. Vyšší obsah humusu a potenciálně přístupných živin mají obvykle půdy s vyšší kationtovou výměnnou kapacitou (KVK). Na sorpční vlastnosti má vliv také půdní druh (obsah jílnatých částic) a na přístupnost živin pak další půdní vlastnosti (vlhkost, pH apod.). K zadržování bazických kationtů (zejména vápníku) přispívají sorpční vlastnosti a dokážou dlouhodobě stabilizovat (pufrovat) případné změny pH v půdě a půdním roztoku (Černý, 2019).

3.2.2. Kapalná fáze půdy

Pod kapalnou fází půdy je možné si představit půdní vodu v různých formách a půdní roztok, jehož vlastnosti a složení se neustále mění. Tyto výkyvy jsou dány např. ročním obdobím, biologickou aktivitou, množstvím srážek apod. Půdní voda má středové postavení v otázkách výživy rostlin, neboť její pomocí jsou rostliny schopny přesouvat živiny, prospěšné látky a sloučeniny. Je transportním médiem, které zajišťuje vzájemnou komunikaci jednotlivých půdních složek. Hlavním zdrojem půdní vody je voda srážková, která se do půdy vsakuje z povrchu a voda podzemní, která naopak dotuje množství půdní vody zdola směrem nahoru. V horizontálním směru hraje důležitou roli podzemní přítok. Kvantitativně méně zastoupenými zdroji vody je kondenzace vodních par a rozklad těl rostlinných a živočišných orgánů (Vaněk a kol., 2007).

3.2.3. Plynná fáze půdy

Plynná fáze půdy je představována půdním vzduchem, který spolu s vodou tvoří stálou součást půdy, a vyplňují všechna místa, která neobsahují vodu. Půdní voda a vzduch jsou spolu silně spjaty. Při nízkém obsahu vody je v půdě přítomno více plynu a naopak. Obsah plynu v půdě je dán mimo jiné pórovitostí půdy, velikostí pórů a obsahu vody. Je zásadní pro dýchání půdních organismů i kořenů rostlin a pro průběh řady biologických i biochemických proměn i chemických reakcí. Nejvýznamnějšími plyny z hlediska života v půdě jsou kyslík a oxid uhličitý. Kyslíku zde bývá přítomno cca 10–20 % a je nezbytný právě pro zmíněné dýchání organismů a oxidaci látek. Jeho objem v půdě je obecně dán provzdušením a jeho přítomnost v závislosti na větší hloubce klesá. Zdrojem oxidu uhličitého je rozklad ústrojných látek a dýchání mikroorganismů a kořenů. V provzdušené půdě je ho přítomno vyšší množství, při vyšší vlhkosti a teplotě (Vaněk a kol., 2007).

Jak uvedeno výše, pevná fáze půdy naprosto převládá nad fázemi kapalnou a plynnou. Existují však výjimky, kdy tomu tak není, avšak tyto případy lze označit pouze jako dočasné, např. po silných deštích, při záplavách, v oblastech, které jsou trvale pokryty vodou nebo v půdách, ležících pod vodní hladinou. V takovém stavu pak převládá kapalná fáze nad pevnou (Urban, 2003).

3.2.4. Půdní koloidy

Specifickou součástí půdy jsou mikročástice, které jsou obecně označovány jako koloidy. Jedná se o látky, které se vzhledem ke svému objemu vyznačují velkým povrchem. Jejich velikost nepřesahuje rozměr 2 nm. Tyto částice jsou schopny ovlivňovat fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a mají příznivý vliv na půdní soudržnost, propustnost vody a tvárnost půdy. Jejich důležitou funkcí je sorpce. Povrchy koloidů se vyznačují pozitivním nebo negativním nábojem a díky této skutečnosti jsou schopny poutat z půdního roztoku ionty a molekuly jiných látek. V půdě převažují v první řadě koloidy se záporným elektrickým nábojem a poutají tak k sobě kationty. Výměna iontů mezi půdními částicemi a kořeny rostlin je spolu s fotosyntézou a respirací velmi důležitá pro půdní život. Koloidy mají rovněž schopnost poutat vodu, a tím potažmo ovlivňují celistvý vodní režim v půdě. S tímto stavem souvisí jejich další funkce – bobtnání. Koloidy jsou schopny zvětšovat svůj objem při příjmu vody, nebo se naopak smršťovat do menších rozměrů při jejím nedostatku. Podle původu je – obdobně jako pevnou fázi půdy – rozdělujeme na minerální koloidy (neústrojné) a organické (ústrojné). Liší se především svým složením. Zatímco minerální koloidy jsou tvořeny částicemi křemičitanů, hydroxidů a jílu, organické koloidy se vyznačují většinovým složením z humusových látek (Šarapatka, 2014).

3.3. Vlastnosti půdy a jejich význam

V půdě se uplatňuje celá řada fyzikálních, chemických a biologických procesů, které následně ovlivňují půdu a zasahují do systému živin. Pochopení klíčových vlastností

půd je zásadní v první řadě pro potřeby zemědělské praxe – zvyšování výnosů a kvality plodin, zajištění a zlepšení podmínek pro existenci mikro – a makroorganismů apod. Ze základního hlediska lze vlastnosti půd rozdělit na fyzikální a chemické (Urban, 2003).

3.3.1. Fyzikální půdní vlastnosti

Fyzikální půdní vlastnosti je možné definovat jako soubor vlastností se vzájemnými vztahy mezi pevnou, kapalnou a plynnou fází půdy. Fyzikální vlastnosti půdy jsou určeny především její barvou, strukturou, zrnitostí a pórovitostí a dopomáhají k identifikaci půdních horizontů, potažmo k seskupování půd podle systému klasifikace půdy zvaného Taxonomie půdy (Šarapatka, 2014).

a) Barva půdy

Barva je jednou ze základních vlastností půdy. Je ovlivňována především půdními procesy, které v ní probíhají a jejím chemickým složením - mj. obsahem vlhkosti, organických látek a minerálním složením. Odvíjí se od barvy mateční horniny a v povrchových horizontech je závislá na obsahu a kvalitě organické hmoty. Například půdy s vysokým obsahem vápníku mají tendenci vykazovat bílou barvu, půdy s vysokým obsahem železa jsou načervenalé a v půdách s vysokým obsahem humusu, převládá tmavě hnědá až černá barva. S hloubkou pod povrchem půdy jsou barvy obvykle světlejší, žlutší nebo červenější. Barvu je možné definovat dvěma způsoby – na základě subjektivního a objektivního hodnocení. Podstata subjektivního způsobu spočívá ve slovním hodnocení a přirovnání půdy k jiné hmotě (např. cihlově červená). Pro přesnější určení barvy půdy v půdním profilu se využívá objektivní způsob hodnocení, který je založen na porovnávání barev s tabulkami, z nichž nejčastěji využívanou je standardizovaná Munsellova barevná tabulka (Šarapatka, 2014).

b) Struktura půdy

Strukturu půdy řadíme mezi významné fyzikální vlastnosti půdy, neboť zásadně ovlivňuje propustnost půdy, míru pronikání kořenů, erodovatelnost půdy a její infiltrační rychlosti. Vyjadřuje způsob, jakým jsou v půdě uspořádány minerální a organické částice půdy a jejich shluky, tzv. agregáty. Dle tohoto způsobu uspořádání částic lze rozlišovat tři druhy půdní struktury:

- a) **Elementární stav** – Tento stav představuje situaci, kdy jsou jednotlivé půdní částice na sobě nezávislé, se samostatnými vazbami, a neshlukují se v agregáty. Typickým představitelem elementárního stavu je čistý písek. Elementární stav představuje díky své nízké schopnosti sorpce a držení vody, půdu obtížně zpracovatelnou a většinou biologicky málo činnou. Z uvedených důvodů se půda řadí mezi půdy nestrukturní (Šantrůčková, 2014).
- b) **Slitý stav** – Představuje situaci, kdy je půda sjednocena v jednu kompaktní masu, především za mokrého stavu. Po jejím vysušení se na povrchu hmoty utvoří škraloup, který následně zabraňuje výměně vzduchu. Průsak vody je rovněž znemožněn. Stejně jako v předchozím případě, představuje slitý stav spíše

nepříznivou situaci pro organismy v půdě, neboť tyto hmoty se vyznačují vysokou přílnavostí a malou vzdušnou kapacitou (Šantrůčková, 2014).

- c) **Agregátový stav** – Agregátový stav se vyznačuje stmelěním částic do útvarů různých velikostí. Tyto útvary jsou nazývány shluky, nebo agregáty a obecně lze hovořit o drobtovité struktuře. Ze zemědělského hlediska, představuje tento stav nejvhodnější situaci, neboť půda se v tomto stavu vyznačuje vyšší pórovitostí, kyprostí, a tím i vyšší vzdušnou kapacitou, lepším průsakem vody a zvýšeným prorůstáním kořenového vlášení do půdního profilu. Dále zajišťuje dobrou soudržnost půdy. Na soudržnosti struktury má zásadní vliv přítomnost kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} , které působí na spojitost koloidů a udržují shluky pohromadě. Tmelícími látkami agregátů jsou také např. jílové minerály, humusové látky apod. Naopak na destrukci agregátů působí především kationty Na^+ , K^+ a NH_4^+ . Na strukturu půdy obecně nepříznivě působí mimo jiné kultivace půdy, její odvodnění nebo nadměrné zavlažení. Vodu obecně lze považovat za největší rušivý element půdní struktury. Narušená struktura půdy může vyvolat stav ulehnutí půdy a vytvoření povrchového nepropustného škraloupu, úbytku živin a biologické aktivity, a tím následně snížení úrodnosti pěstovaných plodin (Šantrůčková, 2014).

c) Půdní zrnitost

Pevná fáze půdy je tvořena směsí zrn minerálů, úlomků hornin a částicemi humusu o nejrůznějších velikostech. V otázkách půdní zrnitosti je zásadní velikost těchto částic, od které se následně odvíjí rozdělení půdy do půdních druhů a na tomto základě je možné odhadnout jejich vlastnost vsakovat, popř. zadržovat vodu a vzduch. Částice se dle definovaných rozsahů velikostí seskupují do skupin, které označujeme jako zrnitostní frakce. Půdní zrnitost představuje procentuální zastoupení velikostních frakcí zrn v půdě. Frakce je možné rozdělit do dvou skupin:

- **Skelet** – Je půdní frakce o velikosti částic nad 2 mm v průměru.
- **Jemnozem** – Jemnozem je půdní frakce o velikosti částic méně než 2 mm v průměru (Šarapatka, 2014).

Nejmenší velikost zrna a zároveň nejmenší prostor mezi jednotlivými zrny má jíl. Tyto typy půd jsou tvořeny částicemi hutně nahromaděnými u sebe a tím udržují vlhkost i za teplého počasí. Druhý extrém tvoří písek, potažmo kámen a přechod mezi extrémami představuje prach. Písčité půdy jsou složeny z větších částic, a to z nich činí dobře propustnou půdu pro vodu. S tím ale souvisí častější vyplavování živin z půdního roztoku (Šarapatka, 2014).

d) Pórovitost

Pórovitost je významná vlastnost půd rozhodující o většině procesů v půdách. Mezi jednotlivými pevnými částicemi v půdě se vyskytují volné prostory, které jsou označovány jako póry. Tyto volné prostory jsou vyplněny vodou a vzduchem a jejich tvar a velikost se odvíjí od poměru kapalné a plynné fáze. Tvar, objem a velikost pórů je

zásadní pro půdotvorné procesy, vývoj a růst kořenů rostlin, přítomnost mikroorganismů a zvětrávání půdy. Veličina, která vyjadřuje celkové procentuální množství volného prostoru, který není vyplněný pevnými částicemi, se označuje jako pórovitost půdy. U zdravých půd se hodnota pórovitosti pohybuje okolo hranice 50 %, avšak výsledné hodnoty se odvíjí od půdního druhu. Jedná-li se o půdy s vysokým podílem organických látek, jejich pórovitost může vystoupat nad 50 %, naopak půdy s nižším zastoupením organických látek budou vykazovat nižší procento pórovitosti (Sáňka, 2018).

Dle velikosti pórů rozlišujeme:

- **Pórovitost kapilární (PK)** - Póry kapilárního charakteru (jemné póry s průměrem menším než 0,2 mm) jsou schopny trvale zadržovat vodu a umožňují její pohyb proti působení gravitace. Pronikají do nich vlásečnicové kořínky, které odtud čerpají vodu a živiny. Pohyb vzduchu v nich je však omezený (Prax, 2010).
- **Pórovitost nekapilární (PN)** - Pro póry nekapilárního charakteru (hrubé póry s průměrem větším než 0,2 mm) je typické působení gravitace na vodu, která se v nich volně pohybuje do spodních vrstev a na její místo se dostává vzduch. Nezadržují vodu trvale, ale rychle jí propouští do spodních horizontů půd. Významně se podílí na vzájemné výměně plynné fáze mezi půdou a ovzduším (Prax, 2010).
- **Pórovitost semikapilární (PS)** - Představují přechod mezi póry kapilárními a nekapilárními (Prax, 2010).

Pórovitost je v úzké souvislosti se strukturou půdy a její zrnitostí. Jedná-li se o půdy nestrukturní, tedy v elementárním nebo slitém stavu, poměr vzduchu a vody je značně nevyrovnaný. Půdy písčitého charakteru se vyznačují převahou nekapilárních pórů, které na jednu stranu přijímají velmi dobře vodu, ale nejsou schopné ji zadržovat. V pórech tedy převažuje plynná fáze půdy nad kapalnou. Oproti tomu, v půdách, pro které je charakteristický slitý stav (jílovité půdy) převažují kapilární póry, tedy kapalná fáze půdy převažuje nad plynnou, což má za následek zhoršené fyzikální vlastnosti a biologickou činnost (Pavel, 1984).

Jak již bylo zmíněno, tak **obsah vody** v půdě zásadním způsobem ovlivňuje růst rostlin, který závisí hlavně na srážkách a výšce hladiny podzemní vody. K popisu obsahu vody používáme půdní hydrolimity:

- maximální vodní kapacita (maximum množství vody, které je půda schopna zadržet),
- polní vodní kapacita (obsah vody v půdě po ztrátě vody gravitační),
- bod vadnutí (obsah vody, kdy rostliny nejsou schopné překonat síly poutajících molekul vody v půdě),
- maximální kapilární vodní kapacita (schopnost půdy zadržovat vodu pro potřeby rostlin),
- a retenční vodní kapacita (obsah vody zadržený v kapilárních pórech) (Sáňka, 2018).

Retenční schopnost půdy má velký význam na vznik a průběh povrchového odtoku, ale také ke snižování a retardaci kulminačních průtoků velkých vod (Sáňka, 2018).

e) Objemová hmotnost

Vyjadřujeme jako hmotnost jednoho metru krychlového půdy v jeho přirozeném uložení ($t.m^{-3}$ nebo $g.cm^{-3}$). Je spojena s půdními vlastnostmi: zrnitostí, strukturou, vlhkostí a pórovitostí. Je využívána pro hodnocení míry zhutnění, pedokompakce, jako významného negativního faktoru (Sáňka, 2004).

3.3.2. Chemické půdní vlastnosti

Chemické půdní vlastnosti se odvíjí od chemického složení půdy. Výživu mikro – a makroorganismů neovlivňují v půdě pouze živiny v ní obsažené, ale především také schopnost půdy tyto živiny poskytovat organismům dále. Mezi nejdůležitější chemické vlastnosti lze zařadit: půdní reakci, ústožnou schopnost půd a sorpční schopnost půdy (Šarapatka, 2014).

a) Půdní reakce

Reakce půdy je další vlastností půd, která má velký vliv na výskyt půdních organismů a je zásadní pro správný vývoj a výživu rostlin. Je tedy třeba půdní reakce sledovat, neboť ovlivňuje nesčetné množství půdních vlastností a procesů, které ovlivňují růst rostlin a výtěžnost biomasy. Půdní reakce je dána přítomností a aktivitou vodíkových iontů, které se ve vodných roztocích spojují s molekulou vody a tvoří s ní anionty H_3O^+ . V obecném smyslu se jedná o koncentraci vodíkových iontů v půdním roztoku nebo v půdním výluhu. Reakci půdy vyjadřujeme indexem pH a lze rozeznat tři druhy reakcí, dle rozmezí jeho hodnot:

- Rozmezí hodnot 0–7 pH označuje kyselou reakci
- Hodnota 7 pH označuje neutrální reakci
- Rozmezí hodnot 7–14 pH označuje alkalickou reakci (Urban, 2003).

Půdní pH ovlivňuje množství živin a chemikálií, které jsou rozpustné v půdní vodě, a proto i množství živin dostupných rostlinám. Některé živiny jsou dostupnější za kyselých podmínek, zatímco jiné jsou dostupnější za alkalických podmínek. Požadované rozmezí pH pro optimální růst rostlin se u jednotlivých plodin liší. Zatímco některé plodiny rostou nejlépe v rozmezí 6,0 až 7,0, jiné rostou dobře za mírně kyselých podmínek. Většina minerálních živin je však rostlinám snadno dostupná, když je pH půdy téměř neutrální (cca 6,0 - 6,5). Pokud je pH půdy udržováno na správné úrovni, je minimalizována rozpustnost toxických prvků a půdní organismy jsou nejaktivnější. V našich podmínkách převládají půdy slabě kyselé až kyselé (Kalinová, 2007).

V půdě lze rozlišit:

- **Aktivní pH**, které vyjadřuje množství vodíkových iontů přítomných v roztoku půdní vody. Aktivní skupina vodíkových iontů je v rovnováze s výměnnými vodíkovými ionty, které jsou drženy v půdním komplexu. Má bezprostřední vliv na příjem živin rostlinami (Kalinová, 2007).
- **Potenciální pH**, které zahrnuje jednak koncentraci volných H^+ a navíc část uvolněných H^+ vázaných na půdní koloidy (nejčastěji ve výluhu roztoku KCl nebo $CaCl_2$), označované jako výměnná acidita (Kalinová, 2007).

b) Ústojná (pufrační) schopnost půd

S půdní reakcí úzce souvisí ústojná (pufrovací) schopnost půd. Jedná se o schopnost půd odolávat změnám pH díky ústojným systémům – tedy udržovat po určité období stálou koncentraci iontů H^+ . Pokud hodnoty pH v čase klesají, označuje se tento proces jako okyselení půdy neboli acidifikace. Nadměrná acidita v půdě může zapříčinit dramatický pokles produkce plodin, neboť pH půdy ovlivňuje dostupnost půdních živin. Okyselení má za následek zvýšení saturace hliníku, nevratné rozpouštění jílových minerálů, destrukci půdní strukturu a tím větší náchylnost půdy k erozi, zhoršení kvality humusu a dále např. ztrátu základních kationtů. Na proces okyselení má vliv také člověk, a to hlavně přidáváním průmyslových hnojiv na bázi amonia do půdy, intenzivním zavlažováním, odlesňováním a odebíráním bazických prvků z půdy, nevhodně zvolenými plodinami pro danou půdu (Straka, 2009).

c) Sorpční schopnost

Sorpční schopnosti půd vyjadřují množství živin, ostatních prvků a látek, která je půda schopna zadržet. K procesu sorpce (navýšení koncentrace látky) dochází nejčastěji v půdním prostředí na fázovém rozhraní pevná látka – kapalina (Šarapatka, 2014).

Sorpční vlastnosti půdy (charakteristiky sorpčního komplexu) se vyjadřují jako:

- „KVK“ neboli kationtová výměnná kapacita (T) vyjadřuje největší množství kationtů v milimolech nebo chemických ekvivalentech, které může poutat 1 kg zeminy při pH 7 (Sáňka, 2018).
- „S“ neboli suma bazických kationtů v sorpčním komplexu (Ca, Mg, K, Na) v 1 kg zeminy (Sáňka, 2018).
- „V“ neboli nasycenost sorpčního komplexu, která vyjadřuje procentický podíl bazických iontů v sorpčním komplexu (Sáňka, 2018).

Sorpční vlastnosti lze využít pro hodnocení půdy. Kationtová výměnná kapacita poutá nejen živiny, ale také rizikové prvky. Produkční schopnost půdy se zvyšuje, čím je větší sorpční schopnost půdy. Sorpční schopnost půdy vzrůstá se zvyšující se půdní reakcí, zvyšujícím se obsahem organické hmoty v půdě a obsahem jílových částic (Sáňka, 2018).

d) Obsahy živin

Spolu s pH patří obsah živin a mikroelementy mezi základní ukazatele pro agrochemické hodnocení půd. Stanoví se jako přijatelná forma pro rostliny (v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy nebo v %). Z agrochemického hlediska patří mezi hlavní živiny: dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra, železo a ke sledovaným mikroelementům patří: bór, mangan, měď, molybden a zinek (Sáňka, 2018).

Aktuální stav základních živin v půdě je zásadní pro každý subjekt hospodařící na zemědělské půdě (Sáňka, 2018).

3.3.3 Biologické vlastnosti půd

V našich půdách je obsah organických látek v rozsahu 1–6 % z celkové hmotnosti půdy. Živá složka tvoří zhruba 15 % z celkové půdní organické hmoty a 80–90 % tvoří mrtvou organickou hmotu. Půda, která je pokrytá vegetací, je tvořena převážně kořeny rostlin, ale také edafonem (půdní organismy) (Šantrůčková, 2014).

Edafon dělíme na:

- mikroedafon – organismy menší než 100 μm (autotrofní a heterotrofní bakterie, včetně sinic a aktinomycet a také houby),
- mezaedafon – drobní živočichové o velikosti od 100 μm do cca 0,5 cm (drobní členovci jako roztoči, chvostoskoci nebo hlístice),
- makroedafon, megaedafon - např. roupice, larvy hmyzu, plži, myši, hraboši, krty a hryzci a především žížaly (Šantrůčková, 2014).

Pro mikroorganismy (mikroedafon) je výhodou, že mají obrovský souhrnný aktivní povrch jejich buněk a odehrávají se zde veškeré výměny a toky látek mezi nimi a vnějším prostředím (Sáňka, 2018).

Pro drobné živočichy (mezaedafon) je výhodou, že rozměňují mrtvou organickou hmotu na jemné částice a tím zvětšují povrch dostupný pro činnost mikroedafonu. (Sáňka, 2018). Žížaly pomáhají při rozkladu primární organické hmoty a působí pozitivně při tvorbě půdní struktury. Svým působením také ovlivňují infiltrační a retenční schopnost půd (Sáňka, 2018).

3.4. Klasifikace půd

Klasifikačních systémů z hlediska vzniku půd, je velké množství. Časté jsou případy, kdy stát používá svou vlastní národní klasifikaci, aby bylo možné třídit jednotlivé kategorie půd dle svých vlastností do přehledného systému. V podmínkách České republiky se vychází z tzv. „Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky“ od autora Jana Němečka (Sáňka, 2004).

Vydáním tohoto dokumentu v roce 2001 byl klasifikační systém ucelen a specifikuje následující taxonomické kategorie:

- **Referenční třídy půd** – Představují jednu ze základních jednotek klasifikace. Z hlediska referenční třídy jsou půdy seskupovány do 15 skupin podle hlavních rysů jejich vzniku. Názvy jsou u této skupiny tvořeny tak, že se ke kořenu názvu připojuje koncovka – sol (např. černosol, vertisol aj.) (Zádorová, 2020).
- **Půdní typy** – Půdní typ zahrnuje skupinu půd, které jsou charakterizované stejnou stratigafií půdního profilu; jedná se tedy o souhrn půd stejného vývojového stupně, jejichž půdotvorné procesy byly vyvolány obdobnými půdotvornými faktory. Díky této skutečnosti disponují půdy obdobnými znaky a horizonty. U této skupiny je užívána koncovka –zem, která se připojuje ke kořenu názvu (např. černozem, hnědozem, regozem, ranker aj.). Půdní typy se označují dvěma velkými písmeny (např. CE, HN, RG) (Zádorová, 2020).
- **Půdní subtypy** – Nižší půdní jednotka než předchozí uvedená. Subtypy reprezentují výrazné modifikace, zpravidla v hloubce 0,20 – 0,25 m, které blíže specifikují půdní typ, takže jejich názvy jsou tvořeny přídavným jménem v odpovídajícím rodě a vždy se pojí s názvem půdního typu (např. ranker typický aj.) (Zádorová 2020).
- **Půdní variety** – Půdy rozdělujeme do půdních variet na základě fyzikálně-chemických vlastností. Pomocí půdních variet je možné charakterizovat výskyt horizontů a znaků do hloubky 0,25 - 0,20 m od minerálního povrchu u lesních půd. Vždy jsou připojovány k názvu půdního typu a půdního subtypy (např. černice glejová solončáková), nebo se označují příslovcem (např. hluboko, slabě aj.) (Zádorová, 2020).
- **Půdní subvariety** – Charakterizují hlavně u kambizemí trofismus, vyplývající ze syntézy formy nadložního humusu, složení vegetace (porostu) minerální síly substrátů a nasycenosti sorpčního komplexu (Zádorová, 2020).
- **Ekologické fáze** – Klasifikační jednotka, vyjadřující soudobé ovlivnění pedogeneze. Ekologické fáze charakterizují formy nadložního humusu lesních půd. Pro charakteristiku stupně zkulturnění orníc kritéria chybí (Zádorová, 2020).
- **Degradační a akumulární fáze** – Touto jednotkou je možné vyjádřit projevy degračních procesů (eroze, akumulace aj.) a projevy kontaminace až intoxikace půdy (Zádorová, 2020).
- **Půdní formy** – Půdní formy charakterizují při mapování ve velkém měřítku podrobnější modifikace substrátu. Vyjadřují mimo jiné typ substrátu, jeho zrnitost, skeletovitost, zvrstvení, mineralogické složení a vazbu na reliéf (Němeček, 2011).

3.5. Ochrana půd

Půda je citlivý ekosystém a svou degradací ztrácí produkční schopnosti (zemědělské hledisko) a mimoprodukční funkce (environmentální hledisko), proto je důležité ji chránit (Kulovaná, 2001).

Hlavním důsledkem degradace půd je vysoká intenzita zprůmyslnění zemědělské výroby. Dalším problémem je eroze, pokles obsahu organických látek, kontaminace půd, utužení půd, nesprávné zemědělské postupy, pokles půdní biodiverzity, zasolování, záplavy a sesuvy půd (Polášková, 2011).

K lepší ochraně půdy lze dosáhnout pomocí následujících opatření:

- agrotechnické opatření: změny hospodaření na půdě (např. důlkování, setí po vrstevnici),
- organizační opatření: situování pozemků a jejich využívání (např. místní plány, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku nebo zatravnění údolnic),
- technická opatření: změny krajiny (např. protierozní meze, svodné příkopy nebo výstavba vodních útvarů) (Janeček, 2012).

Také díky právním předpisům lze dosáhnout lepší ochrany půd. Právní předpisy týkající se půdy lze rozdělit do následujících bodů:

- bonitace a cena půdy
 - pozemkové úpravy
 - evidence půdy
 - vlastnictví půdy
 - ochrana půdy (Janků, 2019).
- a) **Zemědělský půdní fond (dále jen ZPF) je definován v § 1 zákona č. 334/1992 Sb. v odst. 1-4.:**
- (1) Zemědělský půdní fond je základním přírodním bohatstvím naší země, nenahraditelným výrobním prostředkem umožňujícím zemědělskou výrobu a je jednou z hlavních složek životního prostředí. Ochrana zemědělského půdního fondu, jeho zvelebování a racionální využívání jsou činnosti, kterými je také zajišťována ochrana a zlepšování životního prostředí (Zákon č. 334/1992 Sb.).
 - (2) Zemědělský půdní fond tvoří pozemky zemědělsky obhospodařované, to je orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty (v předchozích zněních do r. 2014 louky a pastviny) a půda, která byla a má být nadále zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není (dále jen „zemědělská půda“) (Janků, 2019).
 - (3) Do zemědělského půdního fondu náleží též rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro

polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy, hráze sloužící k ochraně před zamokřením nebo zátopou, technická protierozní opatření apod (Zákon č. 334/1992 Sb.).

- (4) O tom, že jde podle odstavců 2 a 3 o součásti zemědělského půdního fondu, rozhoduje v pochybnostech orgán ochrany zemědělského půdního fondu (Zákon č. 334/1992 Sb.).

Funkci ústředního orgánu státní správy v ochraně zemědělského půdního fondu vykonává ministerstvo životního prostředí dle zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu (Zákon č. 334/1992 Sb.).

b) Vyhlášky týkající se ochrany zemědělského půdního fondu:

- vyhláška č. 271/2019 Sb., o stanovení postupů k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu,
- vyhláška č. 48/2011 Sb., o stanovení tříd ochrany,
- vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě (společná vyhláška Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech),
- vyhláška č. 153/2016 Sb. - Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu (Janků, 2019).

c) Související vyhlášky týkající se ochrany ZPF

- Vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady) (Janků, 2019).

Orgány státní správy na úseku ochrany zemědělského půdního fondu řídí ministerstvo životního prostředí. Jedná se o resortní organizace:

- Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR),
- Českou geologickou službou (ČGS),
- Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i. (VÚKOZ),
- z resortu zemědělství – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP),
- z resortu zdravotnictví – Státní zdravotní ústav (SZÚ)
- a také pražskými univerzitami – Česká zemědělská univerzita v Praze (ČZU) a Univerzita Karlova (UK) (Janků, 2019).

d) Strategie resortu Ministerstva zemědělství do roku 2030

Dlouhodobý strategický a koncepční dokument Ministerstva zemědělství. Cílem je konkurenceschopnost a udržitelnost českého zemědělství, potravinářství, lesnictví a vodního hospodářství. Naplněním cíle by měla být Česká republika v roce 2030 přiměřeně potravinově soběstačná v základních komoditách, které lze u nás produkovat (výroba potravin z tuzemských zdrojů, dosahující ve středně a dlouhodobém horizontu průměru spotřeby a tím i určitou míru nezávislosti na nákupu těchto potravin z jiných zemí), uplatňuje přístupy a zásady udržitelného hospodaření s přírodními zdroji, údržbu krajiny a podporu jejích mimoprodukčních funkcí (MZe, 2016).

Strategie resortu MZe do roku 2030 (dále jen „Strategie“) navazuje na dokument Strategie pro růst, jejímž účelem je posílení společného strategického rámce rozvoje celého komplexu odvětví agrárního sektoru (MZe, 2016).

Evropská komise zpracovala **Tematickou strategii pro ochranu půdy** (The Thematic Strategy for Soil Protection). Cílem je ochrana půdy a zachování jejich ekologických, hospodářských, sociálních a kulturních funkcí.

3.6. Kvalita a funkce půdy

Kvalita půdy je měřítkem schopnosti půdy plnit určité ekologické a rostlinné produkční funkce. Odráží kombinaci chemických, fyzikálních a biologických vlastností. Některé z vlastností půdy jsou relativně důležitější než ty ostatní a neměnné. Jiné mohou být významně změněny lidskou činností (Novák, 2010).

V dnešní době jsou obvykle definovány tři skupiny půdních funkcí:

- **užitková funkce půdy** (produkční funkce, oblast infrastruktury, zdroj materiálů);
- **přírodní funkce půdy** v životním prostředí (mimoprodukční funkce, jako jsou: infiltrace a zadržování vody, transport látek, pufovací a sanitární funkce);
- **kulturní funkce půdy** (historie přírody a člověka), která zahrnuje jak produkční, tak environmentální funkce (Novák, 2010).

Produkční funkce českých půd byla dlouho studována a je zhruba známá. Vyjadřuje se pomocí stobodové stupnice v českém systému hodnocení půdy. Jeho bodové hodnoty závisí na různých půdních a místních charakteristikách spolu s přírodními podmínkami a jejich vlivem na rostlinnou produkci (Novák, 2010).

Podobný princip byl použit pro hodnocení **mimoprodukčních funkcí** půdy. Je definován význam jednotlivých charakteristik půdy. Hodnoty environmentálních funkčních potenciálů půdy se určují ze společných charakteristik půdy a porovnávají se s hodnotami produkčního potenciálu půdy. Celková kvalita půdy pak může být vyjádřena jako průměr nebo jako součet bodů za všechny jednotlivé funkce. Některé vybrané funkce

mohou být upřednostňovány zvýšením jejich hodnotového koeficientu pro konkrétní oblast využití půdy (například oblast pro získávání podzemní vody) (Novák, 2010).

3.7. Ekosystémové služby

Ekosystémové služby byly definovány MEA (Millenium Ecosystem Assessment) v roce 2003 jako prospěšné produkty, které poskytují lidské společnosti fungující ekosystémy nebo jako přínosy, které lidé získávají od ekosystémů (viz Obrázek 1.) (MEA, 2003).

Ekosystém je funkční soustava živého (společenství rostlin, živočichů, mikroorganismů) a neživého prostředí, které jsou vzájemně propojené a působí na sebe (Seják, 2010).

Existuje vzájemné propojení ekosystémových procesů, funkcí a služeb, které souvisí s plněním ekosystémových služeb. Pojmy ekosystémové procesy a ekosystémové funkce mohou často splývat a často se za ekosystémové funkce považují vybrané ekosystémové procesy. Ekosystémové funkce charakterizujeme jako schopnost přirozených procesů a součástí ekosystému plnit ekosystémové služby pro lidstvo a další formy života. Za přirozené procesy značíme komplexní soubor interakcí mezi biotickými a abiotickými složkami ekosystému, které jsou podporované cyklickými toky energie a látek (biogeochemickými cykly). Procesy ekosystémů mohou vypovídat nejen o jejich životaschopnosti, ale mohou sloužit také k hodnocení ekosystémových služeb (MEA, 2003).

Máme tři typy ekosystémových služeb:

- a) produkční služby,
- b) regulační služby,
- c) kulturní služby (MEA, 2003).

Produkční služby zahrnují produkty, které lidé od ekosystémů získávají (potrava, palivové dřevo, vlákno, pitná voda a genetické zdroje). Regulační služby jsou tvořeny přínosem, který plyne z regulovaných ekosystémových procesů a spadá sem udržování kvality ovzduší, vyrovnávání výkyvů podnebí, omezování záplav, snižování eroze, regulaci lidských nemocí a čištění vody. Narozdíl od předchozích služeb, jsou kulturní služby nemateriální hodnoty a lidé si je získávají z ekosystémů ve formě duchovního obohacení, rozvoje poznání, nových dojmů a pocitů, možností rekreace a estetických zážitků (MEA, 2003).

Dělení lze doplnit podpůrnými službami, zahrnující primární produkci, produkci kyslíku a tvorbu půdy, které jsou nezbytné pro vytváření všech ostatních ekosystémových služeb (MEA, 2003).

3.7.1 Integrované hodnocení ekosystémových služeb v České republice

Základem studie z roku 2014 (Vackář a kol.) bylo identifikovat a ocenit ekosystémové služby poskytované v České republice. Podstatným cílem studie bylo poskytnout metodiku, která by byla použitelná pro integrované hodnocení ekosystémových služeb v České republice v národním a regionálním měřítku s cílem umožnit vývoj účinných politických reakcí na degradaci ekosystémových služeb v budoucnosti (Vackář, 2014).

Pro odhad celkové hodnoty českých ekosystémů byla vyvinuta geograficky specifická databáze hodnot ekosystémových služeb (Vackář, 2014).

Struktura hodnocení je dána šesti typy ekosystémů:

- zemědělské ekosystémy,
- pastviny,
- lesy,
- vodní ekosystémy,
- mokřady
- městské oblasti
- a 17 ekosystémovými službami dodávanými z těchto ekosystémů (Vackář, 2014).

Typy ekosystémů jsou dále rozděleny do 41 kategorií ekosystémů na základě přístupu k stanovišti. Byla provedena specifická strategie přezkoumání literatury za účelem naplnění databáze biofyzikálními a ekonomickými hodnotami ekosystémových služeb. Vyvinutá databáze se skládá z více než 190 hodnot ekosystémových služeb, přibližně polovina z nich byla použita k převodu přínosů k výpočtu celkových hodnot ekosystémů v České republice (Vackář, 2014).

Přehled literatury poskytuje diverzifikovanou sadu hodnot z hlediska ekonomických a biofyzikálních metrik. Proto byly hodnoty převedeny do běžných metrik a v případě peněžních hodnot byly standardizovány na EUR / ha / rok s použitím roku 2012 jako základního roku. Při srovnání průměrných hodnot ekosystémových služeb s ohledem na zařazení do kategorií produkčních, regulačních a kulturních služeb ukazují výsledky nejvyšší hodnotu pro skupinu kulturních služeb (4081 EUR / ha / rok), následovanou regulačními službami (2519 EUR / ha / rok) mezitím skupina produkčních služeb dosahuje nejnižší hodnoty 1257 EUR / ha / rok (Vackář, 2014).

Výsledky umožnily zkonstruovat prostorově explicitní mapu zobrazující prostorové rozložení hodnot ekosystémových služeb a jejich souhrnnou hodnotu, dosahující 237 miliard EUR ročně (viz Obrázek 6.). Pro převod jednotkových výhod použili ekonomické hodnoty, které umožnily provést první orientační přiblížení národní hodnoty ekosystémů a ekosystémových služeb. Průměrná roční hodnota služeb, která představuje 1,5 současného národního hrubého produktu, je dobrým důkazem značné hodnoty ekosystémů v České republice. Toto by mělo být zohledněno v rozhodovacích procesech a postupech řízení souvisejících s životním prostředím (Vackář, 2014).

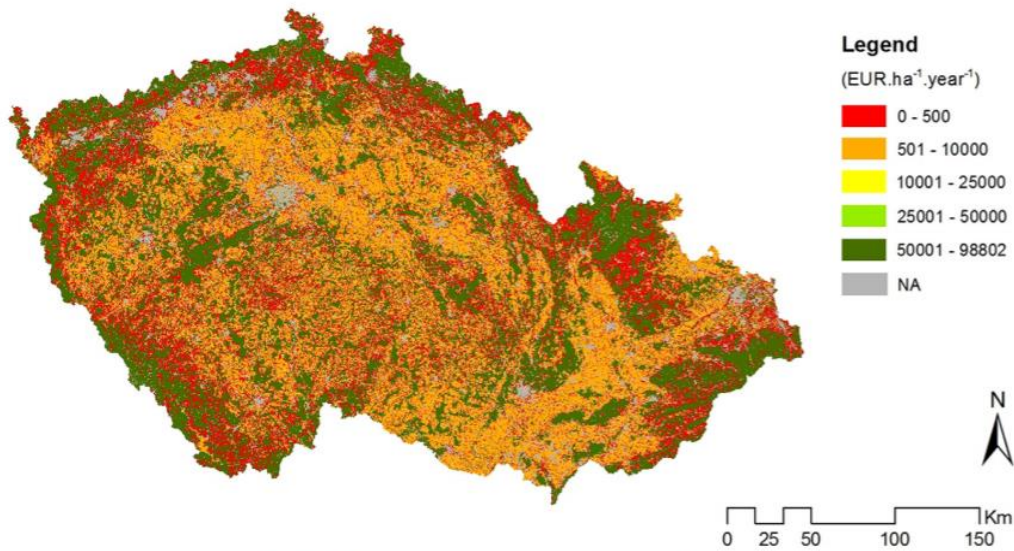


Fig. 3. Valuation map of ecosystems in the Czech Republic.

Obrázek 6. Oceňovací mapa ekosystémů v České republice (Vackář, 2014)

Na druhé straně je odhad ekonomické hodnoty ekosystémových služeb neúplný, protože kvůli omezením údajů zde není zahrnuto mnoho kategorií ekosystémů a ekosystémových služeb (Vackář, 2014).

3.8. Cíle udržitelného rozvoje



Obrázek 7. Cíle udržitelného rozvoje v grafickém znázornění (OSN)

Hlavní klíčové problémy udržitelného rozvoje jsou: bezpečnost potravin, dostupnost sladkovodních a energetických zdrojů, změna klimatu a ztráta biologické rozmanitosti, nikoliv degradace půdy (Bouma, 2014).

Od konference z roku 1972 ve Stockholmu se spojené národy více zaměřují na lidský dopad na životní prostředí. Ve zprávě OSN z roku 1987 byl poprvé definován termín „udržitelný rozvoj“. Dále konference OSN pro obchod a rozvoj (UNCTAD) v Riu de Janeiro v roce 1992 vypracovala Agendu 21 a Rámcovou úmluvu OSN o změně klimatu (UNFCCC) a Úmluvu OSN o biologické rozmanitosti (UNCBD). V roce 2002 přišel světový kongres o udržitelném rozvoji v Johannesburgu s pěti prioritními oblastmi: voda a sanitace, biologická rozmanitost a správa ekosystémů, energetika, produktivita zemědělství a zdraví (Bouma, 2014).

Rockström a kol. (2009) publikovali devět „planetárních mezí“ jako „bezpečný prostor pro lidské aktivity“. Mezi 9 planetárních mezí patří: změna klimatu, ztráta biologické rozmanitosti, biogeochemické toky fosforu a dusíku, poškození stratosférické ozonové vrstvy, okyselování oceánů, globálním využívání sladké vody, změny ve využívání půdy, chemické znečištění a atmosférické zatížení aerosoly. Program OSN pro životní prostředí (UNEP) (2011), při zdůraznění tzv. „zelené ekonomiky“, zmínil deset klíčových odvětví: zemědělství, budovy, energetiku, rybolov, lesnictví, průmysl, cestovní ruch, dopravu, odpad a vodu. Konference Rio+20 v roce 2012 přinesla dohodu o vypracování souboru cílů udržitelného rozvoje vycházejících z dřívějších a částečně úspěšných rozvojových cílů tisíciletí, jejichž cílem je akční plán v roce 2015. Celkem sedmáct cílů udržitelného rozvoje představuje program OSN rozvoje na následujících 15 let (2015–2030), který navazuje na úspěšnou agendu Rozvojových cílů tisíciletí (MDGs). Cíle byly přijaty v září 2015 na summitu OSN jako součást Agendy 2030 „Přeměna našeho světa: Agenda pro udržitelný rozvoj 2030“ (Bouma, 2014).

Cíle udržitelného rozvoje definují globální cíle a zaměřují se na konkrétní národní cíle rozvoje a rozvoje kapacit. Pouze úspěšný vývoj v praxi nakonec vše změní, proto důraz na místní cíle a rozvoj kapacit cílů udržitelného rozvoje je zásadní složkou (Bouma, 2014).

Klíčové oblasti pozornosti uvedené ve většině zpráv o udržitelnosti nezahrnují půdu. To znamená, že důraz by neměl být pragmaticky primárně kladen na samotné půdy, ale na dopad půdy na bezpečnost potravin, dostupnost čerstvé vody, změnu klimatu a biologickou rozmanitost a zachování energie. Půda by se měla zahrnout mezi primární postavení v interdisciplinární vědeckých programech, kde se studuje udržitelnost (Bouma, 2014).

Například půdy hrají klíčovou roli při ovlivňování nejméně sedmi z devíti planetárních mezí Rockströma et al. (2009), což se stěží odráží v současných interdisciplinárních programech charakterizujících hlavní environmentální problémy spojené s planetárními mezemi. Například modelování změny klimatu zmiňuje význam změny ve využívání půdy a bere v úvahu uhlík v půdě (C), obsah vlhkosti v půdě a teploty půdy v biogeochemickém kontextu (Denman et al., 2007). Když hydrologové modelují

vodní režimy povodí, jejich úvahy o půdách jsou často malé nebo dokonce chybí (Bouma et al., 2011a; Droogers a Bouma, 2014), zatímco půdy jsou nezbytné pro čištění vody infiltrující na povrch, přívod podzemní vody a hospodaření s půdou určuje, zda dojde k erozi s nepříznivými účinky na kvalitu povrchové vody (Bouma, 2014).

Předběžné obrysy cílů udržitelného rozvoje správně naznačují potřebu regionální a místní specifikace, s přihlédnutím k tomu, které problémy a cíle jsou v daném místě nejrelevantnější s ohledem na konkrétní socioekonomický kontext a rozvoj kapacit (Bouma, 2014).

Jak již bylo řečeno, v mnoha strategických zprávách o životním prostředí je zmíněno pět klíčových otázek, tj. bezpečnost potravin, nedostatek sladké vody a energie, změna klimatu a ztráta biologické rozmanitosti. Problémy jsou samozřejmě všechny vzájemně propojeny. Například neudržitelné postupy výroby potravin mohou mít za následek špatnou kvalitu vody, ztrátu biologické rozmanitosti, plýtvání energií, ztrátu půdní organické hmoty a nadměrné emise skleníkových plynů. Všechny tyto účinky lze vyjádřit pomocí souboru vzájemně propojených a upadajících ekosystémových služeb (Bouma, 2014).

Propojení potravinářského průmyslu a zemědělství je v rámci cílů udržitelného rozvoje důležité, může tedy působit jako vodítko ukazující důležitost půdy při řešení řady hlavních environmentálních výzev. To platí nejen pro venkov, ale i pro metropolitní oblasti, protože zemědělství a jeho dopad na ekosystémy mají univerzální význam (Bouma, 2014).

Je třeba definovat širší cíle a sedm funkcí půdy popsanych CEC (2006) poskytuje atraktivní výchozí bod: (1) produkce biomasy, včetně zemědělství a lesnictví, (2) skladování, filtrace a přeměna živin, látek a vody, (3) biologická rozmanitost, jako jsou stanoviště, druhy a geny, (4) fyzické a kulturní prostředí pro člověka a lidské činnosti, (5) zdroj surovin, (6) působí jako zásobárna uhlíku a (7) archiv geologických a archeologických nálezů. Sedm funkcí půdy definovaných ve Strategii ochrany půdy (CEC, 2006) definuje roli půd, a je proto logickým zaměřením pro výzkum půdy a pro přímé definice kvality půdy a příspěvků půd k ekosystémovým službám (Bouma, 2014).

Věda o půdě představuje zásadní a produktivní, ale také poněkud zahleděnou oblast vědy. S ohledem na zvýšený důraz na význam vědy pro společnost by se této profesi dobře doporučilo aktivněji se zapojit do sousedních oborů studujících problémy, kterým se na rozdíl od půdy věnuje pozornost ve strategických mezinárodních zprávách o udržitelném rozvoji, jako jsou např. agronomie, hydrologie, klimatologie a ekologie (Bouma, 2014).

Cíl	Popis cíle
1	Vymýtit chudobu ve všech jejích formách všude na světě

2	Vymýtit hlad, dosáhnout potravinové bezpečnosti a zlepšení výživy, prosazovat udržitelné zemědělství
3	Zajistit zdravý život a zvyšovat jeho kvalitu pro všechny v jakémkoli věku
4	Zajistit rovný přístup k inkluzivnímu a kvalitnímu vzdělání a podporovat celoživotní vzdělávání pro všechny
5	Dosáhnout genderové rovnosti a posílit postavení všech žen a dívek
6	Zajistit všem dostupnost vody a sanitačních zařízení a udržitelné hospodaření s nimi
7	Zajistit všem přístup k cenově dostupným, spolehlivým, udržitelným a moderním zdrojům energie
8	Podporovat trvalý, inkluzivní a udržitelný hospodářský růst, plnou a produktivní zaměstnanost a důstojnou práci pro všechny
9	Vybudovat odolnou infrastrukturu, podporovat inkluzivní a udržitelnou industrializaci a inovace
10	Snížit nerovnost uvnitř zemí i mezi nimi
11	Vytvořit inkluzivní, bezpečná, odolná a udržitelná města a obce
12	Zajistit udržitelnou spotřebu a výrobu
13	Přijmout bezodkladná opatření na boj se změnou klimatu a zvládnání jejích dopadů
14	Chránit a udržitelně využívat oceány, moře a mořské zdroje pro zajištění udržitelného rozvoje
15	Chránit, obnovovat a podporovat udržitelné využívání suchozemských ekosystémů, udržitelně hospodařit s lesy, potírat rozšiřování pouští, zastavit a následně zvrátit degradaci půdy a zastavit úbytek biodiverzity
16	Podporovat mírové a inkluzivní společnosti pro udržitelný rozvoj, zajistit všem přístup ke spravedlnosti a vytvořit efektivní, odpovědné a inkluzivní instituce na všech úrovních
17	Oživit globální partnerství pro udržitelný rozvoj a posílit prostředky pro jeho uplatňování

Tabulka 1. Cíle udržitelného rozvoje (OSN)

3.8.1. Ekologická udržitelnost

Ekologická udržitelnost je schopnost ekologického systému udržovat vlastnosti a parametry režimů v podmínkách provozních vnitřních a vnějších indikací. Ekologická udržitelnost je často považována za synonymum stability. Se zvyšujícím se vlivem antropogeneze na životní prostředí roste naléhavost rozvoje adekvátních systémů akcí ochrany přírody (Riza, 2012).

V běžném životě se často setkáváme s případy, kdy neexistují žádné základní vlastnosti a atributy, které definují pojmy, které nás zajímají. Stává se, je obtížné určit stupeň zobrazení vlastností uvažovaných prvků. Důležitost indikátorů lze definovat z párových srovnání zvažovaných prvků. Mezi nepřímými metodami hodnocení indikátorů lze použít metodu párového srovnání Saaty. Složitost použití této metody spočívá v nutnosti najít vlastní vektor matice párových srovnání, který je nastaven pomocí speciálně nabízené škály (Riza, 2012).

3.9. Posuzování a hodnocení kvality půdy

Posuzovat a hodnotit kvalitu půdy lze pomocí indikátorů, které nám popisují současný stav půdního systému hodnocením kvality zemědělské půdy. Jednotlivé indikátory (půdní charakteristiky) jsou získány pomocí terénních měření a následně podrobeny statistické analýze (Hasson, 2010).

Pro zhodnocení „kvality půdy“ je nutné používat souborů indikátorů – půdních vlastností, které lze měřit a číselně vyjadřovat (Hasson, 2010).

3.9.1. Delphi metoda

Cílem metody je shromáždit informace expertů, vytvořit shodu v rámci dané problematiky a vyvodit závěr. Metodu používáme při vytváření dlouhodobého plánování a k prozkoumání možné budoucnosti v dlouhodobém časovém měřítku. Experti nejsou často schopni se dohodnout na jednotném stanovisku, proto se vytvořila tato metoda, abychom se vyhnuli případným komplikacím při mezinárodních konferencích. Dotazníkové kola probíhají ve dvou nebo více kolech, které dodržují zásady anonymity a zpětné vazby. Totožnost všech expertů jsou neznámé a v průběhu procesu jsou k dispozici názory od všech přítomných. Názor můžou kdykoliv upravit nebo změnit na základě průběžných informací. Nejprve dojde k oslovení jednotlivých expertů z oblastí, kterých se téma týká. Přítomných expertů bývá kolem 15–35 účastníků. Nejprve jsou odborníci obeznámeni s pravidly a následně je jim rozeslán dotazník s jednotlivými výzkumnými otázkami. Ke konci přijde všem souhrn odpovědí od ostatních expertů a každý má prostor se vyjádřit z důvodu svého rozhodnutí a může svou výpověď změnit. Po dosažení společného názoru je oficiálně přednesen závěr (Okoli, 2004).

Využití Delphi metody lze nalézt například v **indexu SQUID** (Soil Quality indicator), který hodnotí kvalitu půdy a spojuje soubor deseti různých půdních funkcí do různých ekosystémových služeb (viz metoda ve Švýcarsku). Díky Delphi metody nám

vyhodnocuje **přínosy půdních funkcí půdy k ekosystémovým službám** (Drobnik, 2018).

a) SQUID index

Index SQUID využívá výsledky průzkumu Delphi k identifikaci přínosu funkcí půdy pro ekosystémové služby. U každé služby byly odhady půdních funkcí (SFA) přispívající ke službě vynásobeny váhovými faktory poskytnutými odborníky.

Výsledné hodnoty ekosystémových služeb byly poté zprůměrovány na index SQUID podle rovnice:

$$SQUID = \frac{\sum_{i=1}^n ES_i}{i}, \quad ES_i = \sum_{j=1}^n sf_{ij} * w_{ij}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

Obrázek 8. Rovnice SQUID indexu (Drobnik, 2018)

Hodnota ES_i vyjadřuje ekosystémové služby půdy v hodnotách od 1 do 23. Hodnota sf_{ij} je kvalita funkce půdy, kde j přispívá k dané ekosystémové službě i . Hodnota w_{ij} je váha určená odborníkem, tj. úroveň příspěvku funkce půdy j k ekosystémové službě i (Drobnik, 2018).

b) BOKS index

Index BOKS byl vyvinut pro použití v oblasti Stuttgart v jižním Německu (Wolff, 2006). Je založen na celkem šesti atributech, které se používají k charakterizaci kvality půdy. Na rozdíl od mnoha jiných indexů kvality půdy, BOKS bere v úvahu jak přírodní, tak antropogenní faktory, které tvoří konečný index kvality půdy. Čtyři ze šesti atributů patří přírodním faktorům – vhodnost pro přírodní vegetaci a pěstování plodin, regulace koloběhu vody, kapacita pro filtrování a pufrování kontaminantů a archivaci kulturní a přírodní historie. Zbývající dva antropogenní atributy zahrnují kontaminovaná místa a úroveň znečištění půdy. Každý atribut je normalizován od 0 (neexistuje) do 5 (velmi dobrý). Původní BOKS je parcela, kde každá hodnota atributu pochází z bodu v rámci příslušné parcely, který je poté vynásoben oblastí pozemku, ke kterému patří. Konečný výsledek BOKS pro všechny atributy se vypočte podle následující rovnice:

$$BOKS = (svc*a) + (wc*a) + (fbc*a) + (cnh*a) + (cont*a) + (seal*a)$$

Obrázek 9. Rovnice BOKS indexu (Drobnik, 2018)

Vysvětlivky BOKS rovnice:

a ... velikost pozemku

svc ... vhodnost pro přírodní vegetaci a pěstované plodiny

wc ... regulace koloběhu vody

fbc ... kapacita pro filtrační a pufrovací funkci

cnh ... archivace kulturní a přírodní historie

cont ... kontaminované lokality

seal ... úroveň utěsnění půdy

3.9.2. Studie ve Švýcarsku

Přestože jsou půdy celosvětově ohroženy, obecně lze konstatovat, že poskytují širokou škálu životně důležitých ekosystémových služeb. Ačkoliv existuje řada ukazatelů kvality půdy, švýcarská studie z roku 2018 představila nový pohled na její hodnocení. Studie nebyla založena pouze na samotném vyhodnocení půdních funkcí, ale také z hlediska její schopnosti podporovat různé ekosystémové služby. Pro potřeby studie byl použit tzv. index kvality půdy (označován jako SQUID), který představuje propojení funkcí půdy s ekosystémovými službami pomocí expertního přístupu Delphi. Tato metoda je následně aplikována na deset obcí švýcarského kantonu Curych, kde v důsledku rychlého rozvoje městských částí došlo k významné ztrátě úrodných půd. Index kvality půdy byl zároveň porovnán s již zavedeným indexem kvality půdy, určeným pro územní plánování (označován jako BOKS). Z výsledků studie vyplývá závěr, že index kvality půdy (SQUID) není vhodné využívat pro obecné přehledy, ale může být velmi nápomocný, pokud jsou požadována podrobná hodnocení (Drobnik, 2018).

- **Ekosystémové služby ve švýcarské studii**

Existuje široká škála různých ekosystémových služeb. Švýcarská studie se opírá o klasifikační systém ekosystémových služeb, který byl zaveden Švýcarským federálním úřadem pro životní prostředí. Tento systém uvádí celkem 23 ekosystémových služeb považovaných za relevantní pro Švýcarsko a v úvahu bere pouze konečné ekosystémové zboží a služby, které jsou poskytovány přírodou a lidé je přímo konzumují (Drobnik, 2018).

K finálnímu určení, které funkce půdy jsou nejdůležitější pro zajištění a udržení ekosystémových služeb, byla ve studii využita technika průzkumu Delphi v podobě dotazníků. Tato metoda byla realizována ve dvou kolech. Účelem prvního dotazníkového kola bylo shromažďování informací o vazbě mezi funkcemi půdy a ekosystémovými službami. U každé z celkových 23 služeb byli odborníci, přizvaní ke studii, požádáni, aby posoudili celkovou roli půdy pro danou ekosystémovou službu a odhadli podíl deseti dostupných funkcí půdy k ekosystémovým službám a zhodnotili, zda zvažují či neberou v úvahu půdní funkci jako klíčovou pro udržitelné dlouhodobé poskytování ekosystémových služeb. V kompetenci odborníků bylo také možnost přidat další funkce půdy, které považovali za relevantní, a podle toho je dále hodnotit. Cílem této možnosti do průzkumu bylo zjistit, zda odborníci považovali deset dostupných funkcí půdy za dostatečné pro posouzení přínosu půdy pro ekosystémové služby a shromáždit informace o tom, jaké další funkce půdy mohou být vyžadovány pro budoucí hodnocení. Aby hodnocení odborníků byla srovnatelná, byla použita metoda min-max a hodnocení normalizována na pevnou stupnici (0-100), přičemž součet všech hodnocení se rovná 100 (Drobnik, 2018).

Druhé dotazníkové kolo bylo zaměřeno na zajištění souhlasu s ohledem na přínos funkcí půdy k ekosystémovým službám. Výsledky z prvního kola byly anonymně předány stejným odborníkům a zahrnovaly průměrný podíl půdní funkce k ekosystémovým službám. Odborníci mohli buď potvrdit nebo upravit své předchozí hodnocení. Výsledky druhého kola průzkumu byly také normalizovány za použití min-max metody. Dva výsledky byly považovány za podobné, pokud se 8 z 10 hodnocení přínosu funkce půdy nelišilo o více než 10 bodů (Drobnik, 2018).

Aby bylo rozhodování pro obnovu prostorového rozvoje půdy efektivní, je vyžadováno neustálé hodnocení využití půdy a jejich dopadů na životní prostředí. Z důvodu lepšího začlenění půdy do procesu plánování, jsou zapotřebí informace nejen o absolutní hodnotě kvality půdy, ale také o jejím prostorovém rozložení. Ve švýcarské studii byla zkoumána výkonnost a výstupy dvou indexů kvality půdy BOKS a SQUID a byly vzájemně porovnány s ohledem na jejich absolutní hodnoty (na bázi pixelů), z hlediska existence shluků podobné kvality půdy a zda se tyto shluky v rámci obou indexů shodují a jak se výstupy mění se vzdáleností (Drobnik, 2018).

3.9.3. Další metody hodnocení životního prostředí

Existují další metody hodnocení, díky nimž lze hodnotit různé ukazatele a složky životního prostředí včetně vyhodnocení poměru výkon / cena (Sezima, 2018).

V Evropské unii jsou využívány metody nákladově-výstupové analýzy efektivnosti:

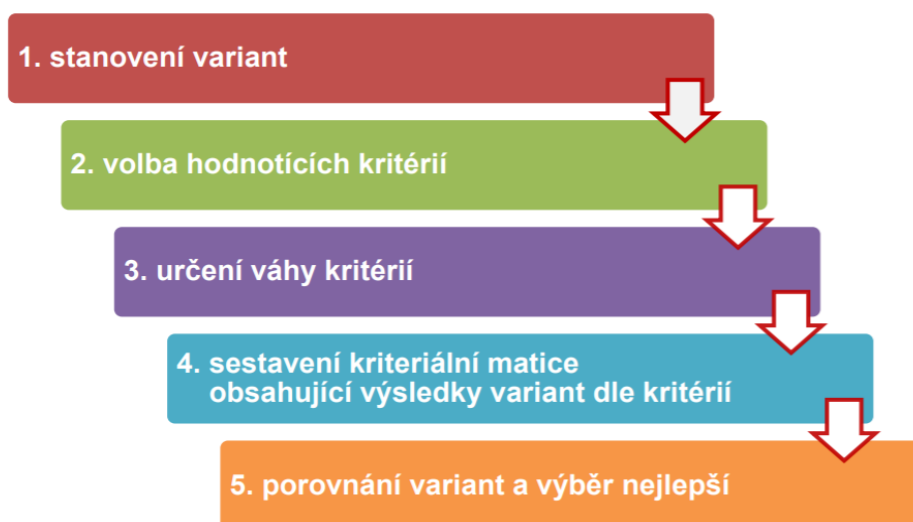
- Cost-Effectiveness Analysis (dále jen CEA) - analýza efektivnosti nákladů,
- Cost-Benefit Analysis (dále jen CBA) - analýza nákladů a přínosů,
- a také metoda multikriteriálního hodnocení Multi-Criteria Analysis (dále jen MCA) - kombinaci různých kritérií pro rozhodování v různých formátech (Sezima, 2018).

Výsledky CEA mohou být vloženy do multikriteriální analýzy (MCA). CBA analýza monitoruje ekonomickou efektivnost možné alternativy posuzovaného projektu (sukromý i veřejný sektor) (Sezima, 2018).

I. Multikriteriální analýza

Důležité je nalézt varianty s optimální kombinací míry naplnění jednotlivých relevantních kritérií a zohlednit jejich důležitost. Metoda se skládá ze čtyř a více kroků – viz Obrázek 10 (Úřad vlády České republiky, 2017).

Postup MCA



Obrázek 10 Postup MCA (Úřad vlády České republiky, 2017)

Výhodou vícekritériální analýzy je, že dokáže různé faktory a jejich hodnocení převést na jedno číslo. Využíváme body a jednotlivé stupnice k nim přiřazené jakožto bezrozměrné jednotky, kdy proběhne tzv. “neutralizace” hodnot (Sezima, 2018).

Postup celkového hodnocení:

1. Formulace cíle hodnocení – subjekt, účel využití výsledků, hodnotitelé
2. Příprava metodiky:
 - a. rozdělení území na relativně homogenní jednotky,
 - b. identifikace faktorů,
 - c. stanovení bodové stupnice – využití kladných i záporných bodů
 - d. bodování faktorů – tabulková podoba, vzorec nebo graf
 - e. určení vah faktorů – různé faktory mají různý význam
3. Sběr dat a výpočty
 - a. shromáždění údajů jednotlivých faktorů
 - b. vyčlenění dat pro určitou lokalitu
 - c. výpočet ukazatelů
4. Diskuze výsledků (Šauer, 2007).

Hodnotící kritéria dělíme na:

- a) kvantitativní, která jsou vyjádřena číselně a v měřitelné formě,
- b) kvalitativní, která jsou vyjádřena slovně a v neměřitelné formě, kde je potřeba stanovit vhodnou stupnici (Úřad vlády České republiky, 2017).

Určení vah faktorů je možné:

- metodou přímého bodování, kdy dotázaní respondenti použijí bodovou stupnici,

- metodou párového srovnání (Füllerova matice), kde se porovnává každý faktor mezi sebou a rozhoduje se, který faktor je významnější (Saatyho metoda binomického hodnocení) (Šauer, 2007).

V případě hodnocení indikátorů kvality půdy lze použít **metodu kvantitativního párového srovnání kritérií**, která slouží k určení vah kritérií pomocí expertního hodnocení a je založena na **Saatyho metodě** (Šauer, 2007).

Slavná Saatyho metoda, za kterou stojí významný profesor Thomas L. Saaty, který za svojí vědeckou práci v oblasti rozhodovacích procesů a za práci v analytickém hierarchickém procesu byl několikrát oceněn. Metodu popisuje podrobně ve své knize Saaty (2006). Metoda bývá také označována jako metoda kvantitativního párového srovnávání (Saaty, 2006).

Společným cílem je pomocí několika kroků u Saatyho metody stanovit váhy daných kritérií. Stanovení vah kritérií lze rozdělit do dvou kroků. První krok se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v tabulce, kde v řádcích i sloupcích jsou zapsána kritéria ve stejném pořadí. Oproti metody párového porovnání se kromě směru preference dvojic kritérií určuje také velikost této preference vyjadřující určitý počet bodů ze zvolené bodové stupnice. Pro vyjádření intenzity daných kritérií, doporučil Saaty bodovou stupnici – viz Obrázek 11. Výstupem je vytvoření Saatyho matice párových srovnání (Saaty, 2006).

Saatyho matice: $S=(s_{ij})$, kde $i,j=1,2,\dots,k$.

(s_{ij} ... prvky matice – odhady podílu vah i -tého a j -tého kritéria)

Vyjádření preferencí

Číselné	Slovní
1	Kritéria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je silně významnější než druhé
7	První kritérium je velmi silně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé

Obrázek 11. Systém hodnocení jednotlivých kritérií (Sezima, 2018)

Je možné využít je i další mezistupně (2, 4, 6, 8, 10) pro citlivější vyjádření preferencí.

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_k \\ f_1 & \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1k} \\ 1/s_{12} & 1 & \cdots & s_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{2k} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \\ f_2 & \\ \vdots & \\ f_k & \end{matrix}$$

Obrázek 12. Obecný zápis Saatyho matice (Fiala, 1994)

Matice je reciproční a na diagonále jsou vždy hodnoty 1, protože každé kritérium je samo o sobě rovnocenné (Fiala, 1994).

Pro určení konečných vah každého kritéria se využije výpočet normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice (Fiala, 1994).

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}}; i, j = 1, 2, \dots, k$$

Obrázek 13. Výpočet geometrického průměru (Fiala, 1994)

$$v_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i}; i, j = 1, 2, \dots, k$$

Obrázek 14. Výpočet vah jednotlivých řádkových prvků (Fiala, 1994)

Při součtu geometrických vah všech řádků by měl být výsledek vždy roven 1.

Každá metoda MCA je založena na subjektivním postoji řešitele, proto je vhodné použít Saatyho metodu, kde je přesně stanoveno hodnocení vah. Výhodami metody je, že řešitel musí vždy vycházet ze stanovení vah a porovnáváme zde pouze dvě kritéria, kdy ostatní nebereme v úvahu (Fiala, 1994).

V rámci finální diskuze výsledků se zabýváme následujícími otázkami:

- Jaká je celková kvalita ŽP v konkrétním území?
- Jaká je kvalita v konkrétních částech území?
- Které indikátory lépe hodnotí dané území? (Šauer, 2007).

Na závěr je nutné porovnat varianty a stanovit, které indikátory jsou důležitější, v případě práce pro hodnocení ekosystémových služeb (Šauer, 2007).

II. Použití MCA v praxi

a) Znečištění zemědělské půdy

Chyby v řízení environmentálních zdrojů v průběhu let způsobily problémy se znečištěním v některých oblastech, které je obtížné zvládnout, bez ohledu na vývoj znalostí a technologií. To platí zejména v případě znečištění půdy. Negativní účinky perzistentních znečišťujících látek byly pozorovány po dlouhou dobu. Například olovo a kadmium zůstávají v půdě po celá staletí, během nichž jsou absorbovány rostlinami a současně způsobují sekundární znečištění ovzduší (Janikowski a kol., 1998).

Janikowski a kol. (1998) se pokusili popsat a posoudit možné možnosti řešení problému kontaminované půdy v Polsku. Vzhledem k nezbytnosti mnohostranného přístupu byla jako nejvhodnější k prokázání složitosti problému zvolena technika párového srovnání. Různé varianty opatření zaměřených na zabránění vstupu znečišťujících látek do potravinového řetězce byly analyzovány na základě souboru kritérií: čas, náklady, účinnost, přijetí ve společnosti a proveditelnost. Relativní důležitost akcí byl posouzen týmem odborníků pomocí Saatyho metody. Bylo také provedeno posouzení ze dvou hledisek (dva různé zúčastněné strany), které zahrnuje posouzení perspektivy vlastníka části kontaminované půdy a ekologa (Janikowski a kol., 1998).

Výsledky srovnávacího, multikriteriální a víceperspektivního hodnocení naznačují následující:

- nejlepší metodou pro nakládání s kontaminovanou zemědělskou půdou je úmyslné a kontrolované pěstování,
- další doporučené činnosti jsou hluboká orba a fytoremediace,
- pro ostatní metody není příliš přijatelné (Janikowski a kol., 1998).

b) Stanovení priorit povodí a eroze půdy

Jaiswal a kol. (2015) prezentuje aplikaci Saatyho analýzy založené na AHP (analytický hierarchický proces) na základě vícekritériální analýze variant (MCA) při stanovení priority zranitelné oblasti povodí.

MCA založený na analytickém hierarchickém procesu je výkonný nástroj, který analyzuje problémy, které závisí na řadě prostorově distribuovaných komplexních kritérií. V tomto případě byl Saatyho nástroj MCA založený na AHP použit na povodí nádrže Kodar (ve státě Chhattisgarh v Indii) pomocí devíti parametrů nebezpečí eroze (EHP – erozně hodnocené plochy), které se prostorově liší a závisí na podnebí, topografii, půdě, geomorfologii, ochraně a postupy řízení (Jaiswal a kol., 2015).

Článek také popisuje postup analýzy EHP a jejich využití v MCA pro stanovení prioritních oblastí / oblastí ohrožených erozí půdy (Jaiswal a kol., 2015).

c) Zkapalňování půdy

Zkapalnění půdy vyvolané například tektonismem může být velkou katastrofou, která vyžaduje náležitý důraz v jakémkoli plánování rozvoje infrastruktury. Po celém světě se používají různé postupy a metody k identifikaci potenciálních zón zkapalňování (Sekac a kol., 2016).

Cílem studie Sekac a kol. (2016) bylo posoudit různé půdní vlastnosti a geologické struktury provincie Morobe a provincie Madang v Nové Guinei, které vyvrcholily vytyčením zón potenciálu zkapalnění pomocí multikriterálního hodnocení, hodnocení procesu analytické hierarchie (AHP), technologií GIS a dálkového průzkumu Země. Váhy byly dále normalizovány pomocí procesu Saatyho analytické hierarchie. Konečná zóna potenciálu zkapalnění byla připravena pomocí rastru vypočítaného z ArcGIS (Sekac a kol., 2016).

d) Hodnocení dopadů politik ochrany životního prostředí

Využití Saatyho metody vícekritériálního hodnocení analytického hierarchického procesu lze použít pro vyhodnocení dopadů politik ochrany životního prostředí (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013).

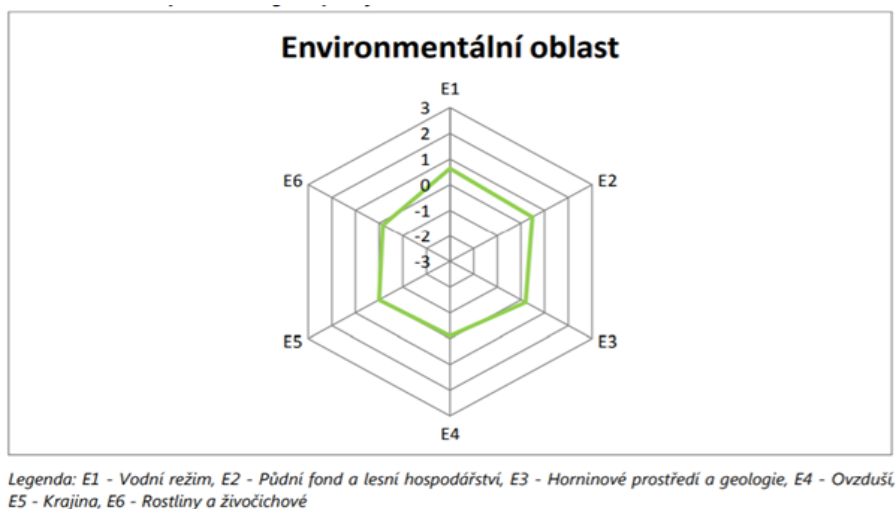
Hodnotící kritéria byla rozdělena do tří oblastí dle vydefinovaných skupin dopadů: ekonomická, sociální a environmentální kritéria. Každá skupina kritérií se hodnotila zvlášť. Hodnocená environmentální kritéria jsou: vodní prostředí, půdní fond a lesní hospodářství, kvalita horninového prostředí, ovzduší, krajina, živočichové a rostliny. Dále byly stanoveny váhy kritérií podle Saatyho metody párového porovnání (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013).

Hodnotitel provedl hodnocení kritérií pomocí sedmibodové škály – viz Obrázek 15., které se vynásobí stanovenou vahou a výsledkem je finální hodnota v daném kritériu. K rozhodnutí určení jednotlivých bodů slouží indikátory, které jsou definovány pro každé kritérium a jsou umístěné ve spodní části tabulky (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013).

Nejhorší situace	Hodnocení							Nejllepší situace
Nástroj politiky má vysoce negativní vliv na kvalitu podzemních a povrchových vod. Realizace nástroje vede k zvyšování počtu zdrojů znečišťování a jejich intenzity. Nástroj politiky negativně působí na kvalitu vod z hlediska množství v důsledku zvyšování odběru z vodních zdrojů. Dochází ke snižování hladiny podzemních vod. Vlivem nástroje politiky dochází k porušování přirozeného charakteru vodních toků a přírodních nádrží a dochází k narušování vodního režimu. Dochází k výraznému zvyšování imisí ve vodním prostředí.	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	Nástroj politiky má vysoce pozitivní vliv na kvalitu vod. Jeho realizací dochází ke snižování počtu zdrojů znečišťujících látek a jejich intenzity. Nástroj podporuje snižování odběru vod z vodních zdrojů a na stabilitu ekosystémů. Realizací nástroje politiky dochází k obnově přirozeného charakteru vodních toků a nádrží. Dochází k výraznému snižování imisí ve vodním prostředí. Snižování rizik znečištění vodních zdrojů, podzemních vod – odstranění SEZ. Realizací nástroje politiky vznikají finanční prostředky na nápravu škod na vodním prostředí.
Sledované indikátory:								
Vývoj koncentrací ukazatelů znečištění ve vodních tocích								
Stav vodního režimu								
Množství vodních zdrojů a jejich vydatnost								
Vývoj odstraňování starých ekologických zátěží - SEZ								

Obrázek 15. Hodnocení kritéria „vodní prostředí“ (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013)

Vyobrazit výsledky jednotlivých kritérií lze také v grafické podobě ve formě paprskovitého grafu (nazývaného též Améba nebo Drážďanská hvězda) – viz Obrázek 16. Nástroj politiky má pozitivnější dopad na dané kritérium, čím dál od středu grafu probíhá linie vyhodnocení. Lze sledovat na které oblasti politiky působí pozitivně a na které negativně (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013).



Obrázek 16. Ukázka Paprskovitého grafu pro vyhodnocení environmentální oblasti (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013)

e) Výběr nové infrastruktury pro zásobování vodou

Spolehlivý a bezpečný přístup k pitné vodě je nezbytný k zajištění udržitelného hospodářského a sociálního rozvoje lidských komunit (Amarocho-Daza a kol., 2019).

Tento úkol vyžaduje metodiku multikriteriální rozhodovací analýzy (MCA) k výběru alternativ pro novou infrastrukturu zásobování vodou, který používají ve své studii Amorocho-Daza a kol. (2019). Tyto alternativy představují významné finanční zdroje a jsou stanoveny pro dlouhou životnost. Na podporu rozhodování v souvislosti s budováním nové infrastruktury zásobování vodou tato studie vyvinula metodiku MCA, která integruje hierarchii neekonomických výhod a očekávaných nákladů do globálního indexu. Metodika byla implementována ve městě Santa Marta v Kolumbii. Toto město má v současné době 60% nedostatek pitné vody a naléhavě potřebuje rozšířit svou kapacitu, aby uspokojilo rostoucí poptávku po vodě. Výsledky této studie podporují implementaci nejlepší alternativy řešení problému zásobování vodou společnosti Santa Marta zvážením preferencí zúčastněných stran, která byla implementována od roku 2018 (Amarocho-Daza a kol., 2019).

Vyvinutá metodika MCA mohla být aplikována na každé město, které naléhavě potřebuje rozšířit svou kapacitu, aby uspokojilo rostoucí poptávku po vodě. Rámec je navržen tak, aby podporoval toto rozhodnutí na základě ekonomických a neekonomických kritérií (Amarocho-Daza a kol., 2019).

f) Hodnocení udržitelnosti zemědělství

Talukder a kol. (2017) popsali metodický přístup k hodnocení udržitelnosti zemědělství, použili analýzu MCA a zkoumali její výhody a nevýhody.

Byly diskutovány běžné typy MCA s popisem nejmodernější metody pro začlenění multikriterií a referenčních hodnot pro hodnocení udržitelnosti zemědělství. Metoda byla aplikována na případovou studii v pobřežním Bangladéši. Přestože má případová studie určitá omezení, ukazuje, že je použitelná pro hodnocení udržitelnosti zemědělství a pro hodnocení udržitelnosti zemědělských systémů. Hodnocení je ve srovnání s jinými metodami rychlé a užitečné (Talukder a kol., 2017).

V každém hodnocení založeném na MCA je váha kritérií velmi subjektivní. Aby se tomu zabránilo, je užitečnou alternativou vyloučení kritérií založených na objektivních referenčních hodnotách definovaných v rámci případové studie (Talukder a kol., 2017).

g) Lepší využití závlahové vody a posouzení pozemku pro různé závlahové techniky

Pro udržitelné využívání vodních a půdních zdrojů je nezbytné zlepšit hospodaření s vodou v zemědělství zavedením účinnějších zavlažovacích metod (Miháliková, Dengiz, 2019).

Miháliková a Dengiz (2019) posoudili a porovnali použití parametrického hodnocení (PM) a multikriteriální hodnocení (MCA) v rozhodovacím a plánovacím procesu zavlažování pomocí posouzení vhodnosti půdy ze tří zavlažovacích technik. Byly

stanoveny a posouzeny vlastnosti půdy a půdy a byly vytvořeny mapy vhodnosti pro povrchové, postřikovací a kapkové zavlažovací metody v rovině delty Çarşamba (oblast Černého moře, Turecko; 972,2 ha). MCA byl díky procesu analytické hierarchie pružnější a citlivější, a tak lépe odrážel skutečné podmínky než široce používaný PM. U obou přístupů byla nejvhodnější kapková závlaha. Hlavními omezujícími faktory všech zavlažovacích systémů v této oblasti byly sklon, hloubka půdy a struktura půdy (Miháliková, Dengiz, 2019).

Výsledky ukázaly, že arabilita studované oblasti by se zlepšila použitím kapkové závlahy namísto povrchové nebo závlahové. Taková změna by se promítla do lepší účinnosti využívání vody a efektivnějšího využívání půdy při současném snížení degračních procesů, zejména eroze půdy (Miháliková, Dengiz, 2019).

h) Environmentální ekonomie a ekologické politiky

Je potřeba agregovat kvalitu jednotlivých faktorů do celkové kvality životního prostředí, která může být užitečná pro soukromé i veřejné subjekty (Šauer, 2007).

Kvalitu životního prostředí lze posoudit vícekriteriální analýzou, například celkovou kvalitu bydlení nebo vyhodnotit budoucí rozvoj města. Hodnocení efektivity programů, projektů a politik se provádí přes jejich realizaci, po jejich realizaci a ve vzácných případech také v průběhu realizace. Důležité je zmínit, který subjekt má významnější roli ve společnosti, pokud rozhodujeme o projektech. Posuzování projektů by mělo být ponecháno na nejnižších organizačních jednotkách – firmách, domácnostech nebo spotřebitelích (Šauer, 2007).

3.10. Úbytek půdy v České republice

V České republice představuje přeměna zemědělské půdy na městské využití (zakrývání půdy) velmi závažný problém. Zejména na orné půdě existuje trend úbytku půdy (přibližně 9100 ha / rok), což znamená přibližně 25 ha / den, nebo plocha rovnající se 40 fotbalovým hřištím denně (Janků et al. 2016). Tato situace je způsobena rozšiřováním zastavěných oblastí, konkrétně nárůstem výměry obytných a průmyslových zón. Tento trend je ovlivněn relativně nízkou cenou zemědělské půdy (velký rozdíl mezi cenou zemědělské a stavební půdy) a politických opatření – zejména proto, že se očekává, že průmyslové zóny zajistí pracovní místa. Evropská agentura pro životní prostředí poukazuje na to, že expanze měst je spíše odrazem měnícího se životního stylu a vzorců spotřeby než narůstající populace (Evropská komise 2012). Rozrůstání měst je definováno jako fenomén šíření rozsáhlých forem zastavěných oblastí do zemědělského prostředí města vedoucí ke spotřebě půdy (přeměna zemědělské půdy na rozvinuté oblasti) a utěšňování půdy (zakrytí půdy nepropustným materiálem, např. asfalt, beton) (Janků et al. 2016a).

Migrace z centra města do příměstských oblastí může být výsledkem poptávky po zelenějším, atraktivnějším a pro rodiny příznivějším prostředí (Janků et al. 2016a).

Mitchell a kol. (2015) navrhuji způsoby, kterými lze lépe řídit růst lidských sídel odpovědným řízením práv k držbě půdy a účinným územním plánováním s cílem snížit zranitelnost, zajistit odpovídající přístup k bezpečné zemi a přístřeší a zlepšit udržitelnost životního prostředí (Janků et al. 2016a).

Politiky a správa v oblasti ochrany půdy čelí různým překážkám. Na místní úrovni čelí obce konfliktu (dlouhodobé) ochrany půdy proti (krátkodobému) hospodářskému rozvoji. Výsledkem je nekontrolovaný zábor půdy, zakrývání půdy a rozšiřování měst bez ohledu na negativní dopady na životní prostředí. Pro praktické provádění strategií ochrany půdy na regionální a místní úrovni jsou tedy vyžadovány strategie a zkušenosti s obhospodařováním. Této výzvě čelí projekt Urban Soil Management Strategy (URBAN SMS), financovaný z Evropského fondu pro regionální rozvoj (2007–2013). Nadnárodní tým jedenácti partnerů ze sedmi střeoevropských zemí implementoval komplexní strategie a nástroje pro hospodaření s půdou. Výsledkem je, že projekt URBAN SMS poskytuje užitečné přístupy k ochraně vysoce kvalitních půd a jejich funkcí během rozvoje měst. V kombinaci s aktivitami na zvyšování povědomí a trvalým a neustálým závazkem na evropské, národní a místní úrovni povedou tyto výsledky k lepšímu řízení a ochraně půdních zdrojů v Evropě. Pilotní studie byla provedena také v České republice, v hlavním městě Praze. Pilotní studie se zaměřila na zlepšení zohlednění vysoce kvalitních půd a zvyšování povědomí na místní úrovni s cílem omezit, a pokud to nebylo možné, kompenzovat ztráty půdy (Janků et al. 2016a).

Přeměna půdy samozřejmě také představuje ztrátu produkce potravin a tato skutečnost může mít v budoucnu vážné důsledky, zejména v kombinaci s klimatickými změnami (Janků et al. 2016a).

V zásadě se předpokládá, že větší města mají tendenci expandovat více než malá města. Současným cílem je však ochrana zemědělské půdy v předměstských oblastech, jejíž výměra pro celou Českou republiku je 269 000 ha. Studie Janků a kol. (2016) popsali trend spotřeby orné půdy (9 100 ha / rok) pro celou Českou republiku. Za 30 let to tedy znamená ztrátu přibližně 269 000 ha zemědělské půdy těsně kolem větších měst, což představuje přibližně 6 % veškeré zemědělské půdy a 9 % orné půdy. Významnějším problémem se jeví redukce zemědělské půdy v příměstských oblastech kolem větších měst (Praha a krajská města) (Janků et al. 2016a).

Na základě údajů zveřejněných Evropskou agenturou pro životní prostředí v souvislosti s Corine Land Cover za roky 1990, 2000 a 2006 Prokop et al. (2011) odhadují, že zabírání půdy v letech 1990 až 2000 činilo v EU přibližně 1 000 km² ročně, což představuje plochu větší než město Berlín – nebo 275 ha za den. Vyrovnané oblasti se zvýšily o téměř 6 %. Od roku 2000 do roku 2006 se míra zabírání půdy mírně snížila na 920 km² / rok (252 ha / den), zatímco celková plocha osídlení se zvýšila o další 3 %. To odpovídá nárůstu o téměř 9 % mezi lety 1990 a 2006 (ze 176 200 na 191 200 km²). Je důležité si uvědomit, že ve stejném období se počet obyvatel zvýšil pouze o 5 %, ačkoli v Evropě i v regionech byl velký rozdíl v růstu populace. Celková odhadovaná plocha půdy v roce 2006 se odhadovala na přibližně 100 000 km² nebo 2,3 % území EU, s průměrem 200 m² na obyvatele (Evropská komise 2012) (Janků et al. 2016a).

Historicky byla městská sídla založena hlavně na neúrodnějších oblastech. Mnoho evropských států čelí problémům s rychlými ztrátami, zejména u kvalitnějších půd. Rychlý pokles množství nejkvalitnější půdy lze pozorovat také v České republice. (Janků et al. 2016) Největší města s největší ztrátou půdy v důsledku zabírání půdy byla založena na půdách nejvyšší kvality (Janků et al. 2016a).

Rozsáhlá města mají tendenci spotřebovávat nejlepší zemědělskou půdu, což nutí zemědělství k přesunu do méně produktivních oblastí nebo do horských oblastí (Janků et al. 2016a).

3.11. Analýza půdy z hlediska ochrany zemědělské půdy.

Český zákon o ochraně půdy klasifikuje půdy do 5 ochranných tříd. Plochy s půdou první a druhé třídy by se neměly používat pro stavební účely. Studie Janků a kol. (2016) zdůraznila, že zákon je ze strany obcí často opomíjen a oblasti nejkvalitnějších půd byly často zastavěny výstavbou. Tato studie se také pokusila vyjmenovat finanční ztráty z rostlinné výroby spojené se zábořem půdy. Neúčinná ochrana půdy je velmi závažným celoevropským problémem (Janků et al. 2016b).

Utěsnění půdy je definováno jako trvalé zakrytí povrchu země budovami, infrastrukturou nebo jakýmkoli nepropustným umělým materiálem. Byl identifikován jako hlavní hrozba v půdní tematické strategii Evropské komise (Evropská komise 2006), a to jak z hlediska trvalé ztráty půdy jako zdroje, tak z hlediska jejich významných dopadů na funkčnost půdy (Janků et al. 2016b).

Největším problémem ochrany půdy v České republice je zábor půdy a utěšňování půdy, protože je půda nenávratně zničena. Možné důvody jsou ekonomické, sociální a paradoxně také biologické. Hlavní důvody jsou ekonomické, protože mnoho majitelů dává přednost okamžitému zisku z půdy. Rychlý zisk z půdy je dán velkým rozdílem mezi cenou zemědělské půdy a cenou stavebních pozemků. Při ceně 200 Kč za m² (poněkud nižší cena za stavební pozemek) by farmář musel pracovat 150 let, aby dosáhl stejného zisku, se současnými dotacemi „pouze“ 100 let (na základě údajů z výzkumu Ústav zemědělské techniky (VUZT)) (Janků et al. 2016b).

Dalším důvodem je paradoxní postoj biologů (ekologů). Mnozí z nich považují zemědělskou půdu za bezcennou z hlediska biologické variability, což podporuje metoda hodnocení biotopů. Tato metoda se zaměřuje na ekologickou kvalitu životního prostředí; každému biotopu je přidělen konkrétní počet bodů oceněných v českých korunách. Tato metoda byla původně vyvinuta v Hesensku v Německu. V České republice je počet bodů na zemědělskou půdu ve srovnání s jinými biotopy velmi nízký (Janků et al. 2016b).

V současné době má Česká republika 147 průmyslových zón (údaje z roku 2016) vybudovaných pro případ rychlého průmyslového růstu a další zóny jsou plánovány. Kombinace právního plánování a ekonomicko-fiskálních reakcí je méně efektivní z důvodu chybějících ekonomicko-fiskálních strategií na ochranu půdy (Artmann 2014). Kombinace ekonomicko-fiskálních nástrojů a nástrojů územního plánování má být

zvláště efektivní při snižování záborů půdy (Nuissl & SchroeterSchlaack 2009). V některých evropských zemích, např. Slovensko, Polsko nebo Bulharsko, poplatky za poplatky musí být zaplacený při obdělávání zemědělské půdy. Poplatek se zvyšuje podle kvality půdy s cílem chránit vysoce kvalitní půdy (Evropská komise 2012). Podobný systém má i Česká republika. Při obdělávání zemědělské půdy se platí poplatky také podle kvality půdy. Tento systém však není plně účinný, protože je povoleno mnoho výjimek. Na základě výsledků autoři naznačují, že existuje rozpor mezi záznamy v katastru nemovitostí a realitou. Tuto situaci potvrzuje i Olbrichová (2008), která poukázala na rozpor mezi záznamy Českého geodetického a katastrálního úřadu (ČÚZK) a záznamy Českého statistického úřadu (ČSÚ). Obě instituce vykazují rozdíl ve výměře. Například v roce 2004 měla podle ČSÚ Česká republika 4 264 573 ha zemědělské půdy, zatímco podle ČÚZK 4 269 218 ha. Rozdíl činí pouze 4 645 ha pouze pro rok 2004 (Janků et al. 2016b).

Všechny státní instituce pracují pouze s údaji poskytnutými ČÚZK (stavební úřady, ministerstvo životního prostředí, ministerstvo zemědělství). Ministerstvo životního prostředí povoluje změny ve využívání zemědělské půdy. Rozdíl v záznamech lze vysvětlit dvěma faktory. Prvním je zpoždění v katastrálních operacích, kdy je změna ve využívání půdy oznámena pozdě (i roky po dokončení stavby nebo po kolaudaci). Jinými slovy, budova stála dlouho, ale půda byla stále registrována jako zemědělská. Druhým důležitým faktorem je informační mezera, kdy ČÚZK neví, že půda byla odebrána ze zemědělského fondu. Povinné zprávy o těchto změnách skončily v polovině devadesátých let, což znamená, že ČÚZK bude vždy evidovat větší výměru zemědělské půdy než ČSÚ, který každou změnu pravidelně sleduje. Nyní jsou zemědělci sami povinni hlásit všechny změny přesně a pravdivě ČSÚ (Janků et al. 2016b).

V České republice chybí kvalitní aktualizovaný informační systém registrující ztrátu zemědělské půdy. Instituce chránící zemědělskou půdu nemají přesné údaje, které by se staly obecně přijatelnými argumenty pro zpřísnění ochrany zemědělské půdy. Zásadním úkolem společnosti (nejen zemědělců a ekologů) je soustředit se na zadržování vody v půdě. Odstranění půdy pro stavební účely zvyšuje riziko nedostatku vody každý den. Nedostatek vody souvisí s výrobou potravin, cenou, dostupností a sociálními problémy (Janků et al. 2016b).

4. Metodika

Data byla hodnocena pomocí AHP procesu vícekritériální metody. Nejlepší možností se nabízí Saatyho metoda párového srovnání, jako nový interdisciplinární přístup v oceňování přírodních zdrojů. S rozdílem v ekonomii bude použita Saatyho metoda pouze pro jednu vstupní variantu – půdu, kde byly porovnány rozdíly mezi naměřenými půdními charakteristikami a byla určena jejich vzájemná důležitost.

Saatyho metoda představuje robustní matematický aparát, který je v praxi ozkoušený a generuje udržitelné výsledky. Diplomová práce je součástí projektu MZe k ověření správnosti použití této metody. Metoda se bude v dalších pracích dále upřesňovat, tak, aby se vytvořila obecná metoda oceňování přírodních zdrojů.

Saatyho metoda se používá především v ekonomické praxi, například při vytvoření modelu kompetencí krizového manažera malého podniku nebo celkového řízení podniku. Novým trendem je použití Saatyho metody v životním prostředí, například při stanovení znečištění zemědělské půdy nebo při hodnocení dopadů politik ochrany životního prostředí – viz kapitola 3.9.3. Důležité je nalézt způsob použití Saatyho metody pro oceňování půdy jakožto přírodního zdroje a nastavit metodologický rámec hodnocení, který je udržitelný. Současné metody stanovují cenu, ale nestanovují hodnotu půdy. Hodnota je nezávislá na cenovém vývoji.

Metoda hodnocení životního prostředí pomocí Saatyho metody je v EU často používána.

4.1. Získávání dat

Pro účely diplomové práce byly použity charakteristiky půd v okrese Mladá Boleslav. Data jsou součástí ČR PuGIS a pro diplomovou práci byla použita následující data: pH H₂O, pH KCl, obsah humusu, hloubka humusového horizontu, C_{ox}, CaCO₃, P₂O₅, K₂O, nasycenost sorpčního komplexu, celková sorpční kapacita, zrnitostní složení, objemová hmotnost a mocnost horizont. Data jsou součástí databáze KPOP (katedra pedologie a ochrany půdy – ČZU) pocházející převážně z KPP (komplexní průzkum půd), který probíhal v letech 1961 až 1970 (Kosánová, 2020).

VÚMOP poskytl data tříd ochrany půd a základní ceny za tyto půdy, konkrétně z eKatalogu BPEJ (zjištěné dle vyhlášky č. 188/2019 Sb.), který obsahuje i data o expozici, svažitosti, skeletovitosti a klimatickém regionu. VÚMOP dále poskytl data o retenční vodní kapacitě a hydrologických skupinách půd, které jsou výsledkem výzkumného projektu MZe: NAZV QJ1520026 (Kosánová, 2020).

Kvalita ekosystému byla zjištěna prostřednictvím informací o krajinném pokryvu pomocí CORINE Land Cover 2012 a procento zastavěné plochy (soil sealing) z CORINE Land Cover 2018 (Kosánová, 2020).

4.2. Vybrané indikátory kvality půdy

Cílem je zhodnotit ekosystémové služby půdy pomocí indikátorů kvality půdy. K určení „kvality půdy“ bude použit soubor indikátorů, tedy půdních vlastností, které lze měřit a číselně vyjadřovat. Některé půdní vlastnosti jsou v půdě v čase proměnlivé a některé naopak stabilní. Indikátory hodnotíme z produkčního i mimoprodukčního hlediska funkce půdy.

1. Produkční funkce půdy

K hodnocení byly navrženy proměnlivé půdní charakteristiky: **výměnné pH, obsah humusu, retenční vodní kapacita, nasycenost sorpčního komplexu, celková sorpční kapacita, objemová hmotnost, obsah fosforu a obsah draslíku.**

K hodnocení byly navrženy stabilní půdní charakteristiky: **mocnost 1. horizontu, mocnost 2. horizontu, zrnitost půdy, expozice, svažitost, skeletovitost a klimatický region.**

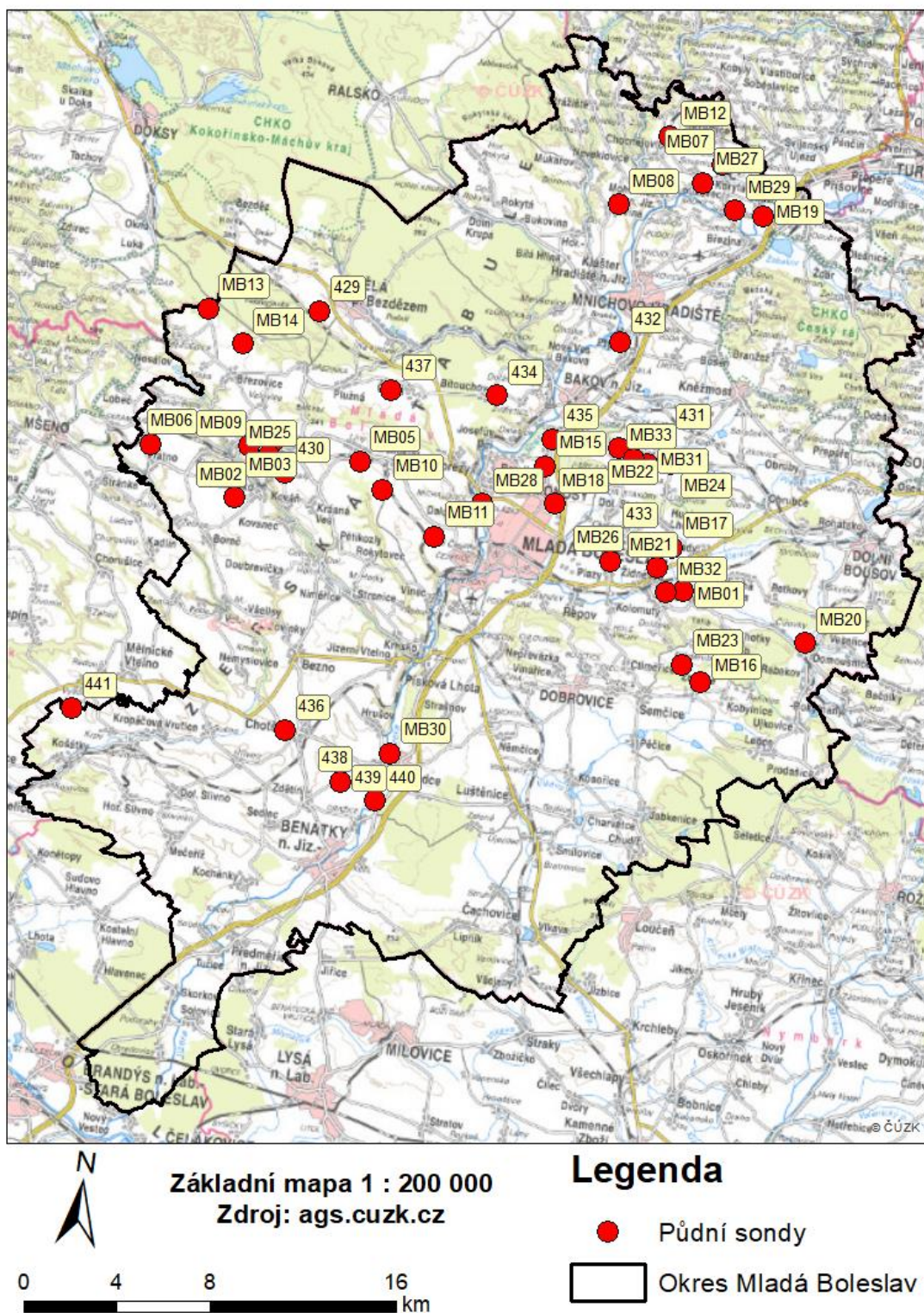
U obsahu fosforu a draslíku byl brán zřetel na využití půdy – orná půda nebo trvale travní porost. Dále u obsahu draslíku byly v hodnocení rozlišovány půdy na lehké, střední a těžké u obou využití půdy. U expozice byl brán důraz na klimatický region – viz dále BPEJ.

Bylo vybráno celkem 8 proměnlivých půdních charakteristik a celkem 6 stabilních půdních charakteristik pro produkční funkci půdy (mocnost hodnotíme dohromady v rámci párového srovnání Füllerovy matice).

2. Mimoprodukční funkce půdy

K hodnocení byly navrženy půdní charakteristiky: **hydrologická skupina půd a kvalita ekosystému.**

K dispozici byly data z půdních sond ze Středočeského kraje, které jsou zaměřené v hloubce od 0 do 30 cm a v hloubce od 30 do 60 cm. Byl vybrán okres Mladá Boleslav v severovýchodní části Středočeského kraje, který se vyznačuje svou vysokou úrodností, narozdíl od ostatních okresů v jihozápadní části kraje. K dispozici celkem 46 půdních sond rozmístěné po celé ploše okresu Mladá Boleslav – viz Obrázek 17.



Obrázek 17. Půdní sondy okresu Mladá Boleslav

4.3. Důležitost jednotlivých indikátorů kvality půdy a jejich propojení

4.3.1 Proměnlivé indikátory – produkční funkce půdy

1. Výměnné pH

Půdní reakce nebo také pH se vyjadřuje jako záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů. Stanovujeme pH půdy jako výměnné nebo aktivní:

- výměnné pH (pH/KCl, pH/CaCl₂) vyjadřuje ionty vázané sorpčním komplexem a je stanoveno výluhem neutrální solí (KCl, CaCl₂), kdy dochází k vytěsnění a výměně vodíkových iontů za ionty solí,
- aktivní pH (jako pH/H₂O) půdního roztoku vyjadřuje obsah vodíkových iontů ve vodném výluhu (Sáňka, 2018).

Pro kategorizaci půd podle pH a potřeby agrochemie (výpočet dávek vápenatých hnojiv pro vápnění) se používá pH výměnné (Sáňka, 2018).

Výměnné pH je zakotveno v právních předpisech ČR: Vyhláška MZe ČR č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné je zobrazeno v tabulce č.2. (Sáňka, 2018).

hodnota pH	půdní reakce
<4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
>7,7	silně alkalická

Tabulka 2. Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné (příloha č. 5 k vyhl. č. 275/1998, ve znění pozdějších předpisů)

Půdní reakce patří k základním vlastnostem hodnotících stavů půdy, protože významně ovlivňují i další půdní charakteristiky – půdní procesy, biopřístupnost a mobilitu živin a rizikových prvků (Sáňka, 2018).

Univerzální optimální hodnoty pH půd jsou 5,5 – 6,0 pro lehké půdy a 6,0 – 6,5 pro střední půdy a pro těžké půdy je ideální pH kolem 7. Pro většinu plodin je pH půdy pod 5,6 považováno za nízké, kdy ideální rozmezí pH je obecně mezi 6,0 a 7,0 a pH nad 8,0 je pro většinu plodin nepřijatelné. Příznivé pro mikrobiální aktivity je kolem 6,6 až 7,3, které přispívá k dostupnosti dusíku, síry a fosforu v půdách (Sáňka, 2018).

Organická hmota a pH půdy silně ovlivňují funkce půdy a dostupnost rostlinných živin. Konkrétně pH ovlivňuje chemickou rozpustnost a dostupnost základních živin rostlin, výskyt pesticidů a rozklad organických látek (McCauley, 2017).

2. Obsah humusu

Obsah organické hmoty neboli humusu je důležitou složkou, která ovlivňuje úrodnost a funkci půdy v ekosystému. Důležitý je poměr C:N (uhlíku a dusíku) v půdě nebo poměr huminových a fulvinových kyselin. Poměr huminových a fulvinových kyselin je spolehlivějším ukazatelem kvality (Sáňka, 2018).

Obsah humusu vyjadřujeme v procentech a základní klasifikace půd podle obsahu humusu je uvedena v tabulce č.3.

Obsah humusu v %	Zásoba humusu
<0,5	extrémně nízká
0,5 - 1,0	velmi nízká
1,0 - 2,0	nízká
2,0 - 3,0	střední
3,0 - 5,0	dobrá
>5,0	velmi dobrá

Tabulka 3. Hodnocení obsahu humusu (Sáňka, 2018)

Humus dokáže regulovat a stabilizovat pH půdy. Při snížení pH (kyselá) se zhoršuje kvalita humusu a dochází ke zpomalování uvolňování minerálního dusíku z humusu. Rozklad organické hmoty a dostupnost živin v půdě jsou závislé na výskytu mikrobů, které je ovlivněno pH půdy (Sáňka, 2018).

Půdní organická hmota je základní složkou půdy a přispívá k biologickým, chemickým a fyzikálním vlastnostem půdy. Existuje ve třech skupinách v půdě, přičemž každá skupina ovlivňuje množství a rychlost rozkladu organické hmoty a mineralizace živin. Kromě přítomnosti živin pomáhá organická hmota také tím, že zvyšuje **kationtovou výměnnou kapacitu půdy**, poskytuje cheláty a zvyšuje rozpustnost určitých živin v půdním roztoku. Dále zlepšuje strukturu půdy zvýšením schopnosti zadržovat vodu v půdě, infiltraci a aeraci (McCauley, 2017).

3. Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacitu lze vyjádřit jako množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů a postupně ji pro potřeby rostlin uvolňovat. Byla vytvořena kategorizace do pěti skupin půd s různou úrovní retence – viz Tabulka 4. (Sáňka, 2018).

Kód	Rozmezí hodnot ($l.m^{-2}$)	Slovní označení
1	<100	nízká
2	100–160	nižší střední
3	>320	vysoká
4	220–320	vyšší střední
5	160–220	střední

Tabulka 4. Kategorizace retenční vodní kapacity (VÚMOP)

Vliv na retenční vodní kapacitu má především teplota půdy a pH. Například vliv půdního organického uhlíku na kapacitu dostupné vody v půdě závisí na struktuře půdy a počátečním obsahu organického uhlíku. Obsah vody je ovlivňován hlavně půdními organickými látkami a strukturou půdy (Soil Health Literature Review 03/2018).

4. Sorpční indikátory – kationtová výměnná kapacita (KVK) a nasycenost sorpčního komplexu bazickými kationty (V)

Kationtová výměnná kapacita (KVK nebo T) je hodnota, která uvádí množství iontů, které je půda schopna poutat při pH 7 (resp. jiné zvolené hodnotě pH) a vyjadřuje se v mmol/100g zeminy (Sáňka, 2018).

Nasycenost sorpčního komplexu bazickými kationty (V) vyjadřuje procentuální podíl bazických iontů v sorpčním komplexu (Sáňka, 2018).

Hodnocení	Hodnota T (mmol/kg)	Hodnocení	Hodnota V (%)
velmi nízká	<80	extrémně nenasycená	<30
nízká	80-130	nenasycená	30-50
střední	130-240	slabě nasycená	50-75
vysoká	240-300	nasycená	75-90
velmi vysoká	>300	plně nasycená	90-100

Tabulka 5. Kritéria pro hodnocení hodnot celkové sorpční kapacity (T) a nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (V) (Sáňka, 2018).

Sorpční vlastnosti půdy jsou závislé na schopnosti půdy zadržovat živiny v půdním prostředí a imobilizovat rizikové látky. (Sáňka, 2018).

Místa kationtové výměny se nacházejí především na jílovitých minerálech a površích organických látek. Půdní organické látky vyvine vyšší kationtovou výměnu při téměř neutrálním pH než za kyselých podmínek (pH je závislé na KVK). Přidání organického materiálu tedy pravděpodobně v průběhu času zvýší KVK půdy. Na druhou stranu se KVK půdy může snižovat také s časem, např. s přírodním okyselením nebo rozkladem organických látek způsobený hnojivy (Ross, 2011).

5. Obsah živin – draslík a fosfor

Draslík a fosfor patří mezi základní živiny a jejich obsah je určující z hlediska úrodnosti půd a jsou sledovány v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP), které provádí ÚKZÚZ (Sáňka, 2018).

Draslík je potřebný pro správný růst rostlin a jejich aktivity – například vodní transport a otevírání a zavírání dýchacích průduchů. Draslík zajišťuje stabilitu a kvalitu rostliny a řídí další procesy – například hospodaření se sacharidy (Sáňka, 2018).

Fosfor je nezbytný pro všechny živé organismy a představuje esenciální součást živin pro rostliny nebo zvířata. Fosfor zajišťuje v rostlině buněčné spalování a celkový přenos energie rostliny. Je stavebním prvkem buněčných membrán, DNA, bílkovin a enzymů (Sáňka, 2018).

V zemědělských půdách se přijatelné živiny stanovují metodou Mehlich 3. dle přílohy č. 3 vyhlášky č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů (Sáňka, 2018).

Obsah fosforu (mg.kg⁻¹)	Orná půda	Trvale travní porosty
nízký	<50	<25
vyhovující	51-80	26-50
dobrý	81-115	51-90
vysoký	116-185	91-150
velmi vysoký	>185	>150

Tabulka 6. Kritéria hodnocení obsahu fosforu (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření

Obsah draslíku pro orné půdy (mg.kg⁻¹)	Lehká půda	Střední půda	Těžká půda
nízký	<100	<105	<170
vyhovující	101-160	106-170	171-260
dobrý	161-275	171-310	261-350
vysoký	276-380	311-420	351-510
velmi vysoký	>380	>420	>510

Tabulka 7. Kritéria hodnocení obsahu draslíku pro ornou půdu (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření

Obsah draslíku pro trvale travní porosty (mg.kg⁻¹)	Lehká půda	Střední půda	Těžká půda
nízký	<70	<80	<110
vyhovující	71-150	81-160	111-210
dobrý	151-240	161-250	211-300
vysoký	241-350	251-400	301-470
velmi vysoký	>350	>400	>470

Tabulka 8. Kritéria hodnocení obsahu draslíku pro trvale travní porosty (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření

6. Objemová hmotnost půdy

Definujeme jako poměr hmotnosti půdy k jejímu objemu v neporušeném stavu neboli hmotnost jednoho metru krychlového půdy v jeho přirozeném uložení (t.m⁻³ nebo g.cm⁻³) (Sáňka, 2018).

Objemová hmotnost je závislá na půdních vlastnostech: zrnitosti, struktuře, vlhkosti a pórovitosti. Díky objemové hmotnosti lze hodnotit negativní faktory půdy: míru zhutnění a pedokompakci (Sáňka, 2018).

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost suché půdy (g.cm⁻³)
výborný	>1,2
dobrý	1,2-1,4
nevyhovující	1,4-1,6
nestrukturní	1,6-1,8

Tabulka 9. Doporučené hodnoty měrné hmotnosti a pórovitosti (Kutílek, 1978)

4.3.2. Stabilní indikátory – produkční funkce půdy

V rámci stabilních indikátorů hodnotíme svažitost, skelet a klimatický region, které jsou zahrnuty v rámci kódu BPEJ.

1) BPEJ

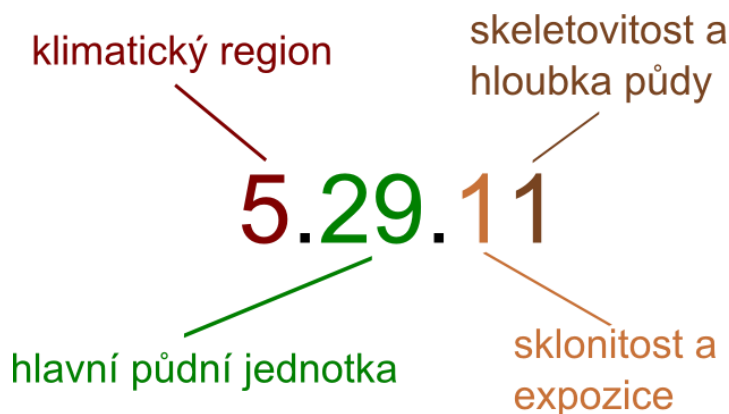
a. Charakteristika

Bonitovaná půdně ekologická jednotka (BPEJ) je charakterizována pětímístným číselným kódem. Hodnotí absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a je agroekologickou a ekonomickou charakteristikou tvořící podklad pro zákonná opatření, vyhlášky a opatření resortních a mimoresortních orgánů (VÚMOP, 2019).

Na kartě "Záznamy BPEJ" z Katastrálního úřadu nebo Pozemkového fondu lze najít kromě kódu BPEJ i další důležité údaje, např. využití pozemku, nadmořská výška, popis reliéfu terénu, vláhové poměry lokality, výskyt překážek využívání půd, celkový počet BPEJ v katastrálním území, stav zúrodnovacích opatření, popis využívání půdního fondu, uživatelské vztahy k půdě a celkovou výměru jednotlivých BPEJ v půdních blocích (VÚMOP, 2019).

b. Legislativní zakotvení

Od 1.1. 2016 je odpovědným správcem databáze Státní pozemkový úřad. BPEJ je začleněn v zákoně č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu v platném znění, oceňovací vyhlášce č. 441/2013 Sb. v platném znění (aktuální úřední ceny přiřazené k jednotlivým BPEJ v příloze č. 4 této vyhlášky) a vyhlášce č. 48/2011 Sb. o stanovení tříd ochrany v platném znění. Aktualizace BPEJ se provádí dle vyhlášky č. 227/2018 Sb. ministerstva zemědělství ČR (VÚMOP, 2019).



Obrázek 18. Struktura kódu BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka) (Drozen, 2015)

c. Struktura kódu

První číslice vyjadřuje vztah ke klimatickému regionu (od 0 do 9), kde 0–5 jsou spíše teplejší a sušší místa, 6–9 zase regiony chladnější a vlhčí. Druhá a třetí číslice vyjadřuje příslušnost půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ) (od 01 do 78). Čtvrtá číslice vyjadřuje kombinaci stupně svažitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám (od 0 do 9), pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a skeletovitost půdního profilu ve vzájemné kombinaci (od 0 do 9) (VÚMOP, 2019).

Celkem máme 2140 BPEJ u kterých jsou k dispozici i ekonomické charakteristiky. U nově vymezených 138 kódů jsou nutné ekonomické charakteristiky vyhodnotit. Dohromady máme 2278 kódů BPEJ (VÚMOP, 2019).

- **Klimatický region**

Kritéria pro vymezení klimatických regionů: hranice sucha a další faktory jako nadmořská výška, suma průměrných denních teplot rovných nebo vyšších než 10 °C, průměrné roční teploty a průměrné teploty ve vegetačním období, dále průměrný úhrn ročních srážek a srážek ve vegetačním období, pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období v %, výpočet vláhové jistoty, údaje o známých klimatických singularitách a faktor mezoreliéfu (VÚMOP, 2019).

Například půdní organická hmota může výrazně ovlivnit globální cyklus uhlíku při změně klimatu (Purton, 2015).

Proměnlivé a měnící se podnebí ovlivní vlastnosti půdy, včetně pH jako hlavní proměnné, která ovlivní všechny ostatní vlastnosti ekosystému. O konkrétních účincích změně teplot a srážek na vlastnosti půdy je málo a poukazuje na vysoce variabilní reakce v závislosti na počátečních vlastnostech půdy a ekosystémů. Zvýšená produkce biomasy v ekosystému v důsledku zvýšené teploty a / nebo zvýšených srážek pravděpodobně povede ke zvýšenému okyselování půdy v důsledku odstranění alkality sklizených produktů. Zvýšené vyluhování základních kationtů v důsledku zvýšených srážek přenesou alkalitu z komplexu výměny půdy do povrchových a podzemních vod a zanechají okyselené půdy. Změněný vodní režim v půdách obsahujících oxidovatelné sulfidové materiály může způsobit velké okyselování půdy (kyselé síranové půdy), pokud jsou tyto půdní vrstvy vystaveny vzduchu. Aby bylo možné zabránit ztrátě funkce životního prostředí v půdách a suchozemských ekosystémech, je naléhavě nutné zlepšit porozumění účinkům měnícího se a proměnlivého podnebí na pH půdy a další vlastnosti půdy (Rengel, 2011).

- **Hlavní půdní jednotka**

Definována seskupením genetických půdních typů, subtypů, půdotvorných substrátů, zrnitosti, hloubky půdy, typem a stupněm hydromorfizmu a reliéfem území (VÚMOP, 2019).

- **Svažitost a expozice**

Svažitost (nebo také sklonitost) území je ovlivňováno obhospodařováním pozemku (pomocí zemědělských strojů, agrotechniky atd.), které mohou mít za následek zvýšení eroze. Expozice pozemku působí na vegetační podmínky vzhledem k rozdílným teplotám, osvětlení a také srážkám. Vymezení pozemků se severní a jižní expozicí je zde zásadní. V současné době lze sklonitost pozemku v terénu zjistit pomocí kompasu, sklonoměru a expozice z mapových podkladů (VÚMOP, 2019).

V klimatických regionech u číselných kódů 0, 1, 2, 3, 4 a 5 je jižní expozice negativní, ostatní expozice se uvažují jako sobě rovné a u číselných kódů 6, 7, 8 a 9 se

uvažuje expozice severní jako negativní a ostatní expozice se uvažují jako sobě rovné (VÚMOP, 2019).

- **Skeletovitost a hloubka**

Tyto dvě charakteristiky ovlivňují hospodaření na půdě a její funkce. Uvádí se zde celkový obsah skeletu v %. (VÚMOP, 2019)

Skeletovitost se dá charakterizovat jako kombinace obsahu šterku a kamene v ornici a obsahu šterku a kamene v spodině do 0,6 m (Vyhláška č. 227/2018 Sb.).

Klasifikace pro skeletovitost je používána v TKSP i v systému bonitace půd – viz Tabulka 10.

Klasifikace půdy	Obsah skeletu
půda bezskeletovitá s příměsí skeletu	do 10 %
půda slabě skeletovitá	10–25 %
půda středně skeletovitá	25–50 %
půda silně skeletovitá	nad 50 %
0,05–0,25 mm	jemný písek
0,25–2,00 mm	střední písek

Tabulka 10. Klasifikace skeletovitosti (příloha č. 4 k vyhlášce č. 327/1998 Sb., v platném znění)

d. Využití

Díky BPEJ lze zjistit potenciální retenční schopnost půdy, míru schopnosti půdy poutat látky (kontaminanty, uhlík...), míru filtrační schopnosti půdy pro různé látky, erodibilitu (odolnost půdy z hlediska eroze), stupeň eroze atd. (VÚMOP, 2019).

Lze také využít pro výpočet daně z nabytí nemovitých věcí a pro určení tržní ceny půdy. Z úřední ceny dle BPEJ napovídáme kvalitu pozemků. Cena pozemku dle BPEJ je uvedena na výpisu z katastru nemovitostí (VÚMOP, 2019).

e. Příklad BPEJ v praxi

Kód BPEJ: 3.61.00

Půdní blok se nachází převážně na rovině a je obsažen půdní typ černice. Je zde různá expozice ke světovým stranám a obsah skeletu je do 10 %. Řadí se do teplého, mírně vlhkého klimatického regionu a je velmi produkční (VÚMOP, 2019).

Klimatický region: 3 - teplý, mírně vlhký (T3)

Hlavní půdní jednotka: 61 - černice

Sklonitost a expozice: 0 - úplná rovina, rovina / rovina se všesměrnou expozicí, jih (jihozápad až jihovýchod), východ a západ (jihozápad až severozápad, jihovýchod až severovýchod), sever (severozápad až severovýchod)

Skeletovitost a hloubka půdy: 0 - bezskeletovitá, s příměsí / půda hluboká

2. Zrnitost

Zrnitost udává velikost a poměrné zastoupení jednotlivých půdních frakcí a významně se podílí na průběhu pedogenetických procesů, agronomické a ekologické charakteristice půdy. V ČR je známa Nováková klasifikace zrnitosti, která je uvedena v rámci Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček, 2001). V terénu se zrnitost určuje prstovou zkouškou (Sáňka, 2018).

Zrnitost ovlivňuje například obsah rizikových látek v půdě nebo obsah živin v půdě. (Sáňka, 2018)

Obsah částic < 0,01 mm [mm]	Označení durhu půdy	Zkratka	Klasifikace půdy
0 - 10	písčitá	P	lehká
10 - 20	hlinitopísčitá	HP	
20 - 30	písčitohlinitá	PH	středně těžká
30 - 45	hlinitá	H	
45 - 60	jilovitohlinitá	JH	těžká
60 - 75	jilovitá	JV	
>75	jíl	J	

Obrázek 19. Klasifikace zrnitosti dle Nováka

Nejmenší zrnitost – nejmenší velikost zrna má jíl, poté je prach a největší je písek. Zrnitost rozhoduje o schopnosti půdy vsakovat a zadržovat vodu (Sáňka, 2018).

V případě práce se hodnotí zrnitost jílu vyjádřené v % pro obsah částic menší než 0,01 mm (Sáňka, 2018).

Z hlediska účinků textury půdy na rozklad a skladování půdy C je zřejmé, že jak chemická, tak fyzikální „ochrana“ organické hmoty v půdní matici hraje důležitou roli při stanovení absolutních rychlostí rozkladu, a tedy při určování zásob i toky podzemního uhlíku (McClaugherty, 2001).

3. Mocnost 1. horizontu

Půdní profil obsahuje jednotlivé vrstvy, tzv. půdní horizonty, které se svými vlastnostmi (např. barvou, texturou) navzájem liší. Vliv na zastoupení a sledu jednotlivých horizontů mají půdotvorné procesy a další faktory (Šarapatka, 2014).

V rámci naší práce hodnotíme mocnost prvního horizontu půdního profilu, který obsahuje nejvíc organických látek. Jedná se o převážně o horizonty nadložního humusu (O), které určující charakter půdotvorných procesů v nich probíhající. V některých případech mohou tyto horizonty chybět a nahradí je jiné, například horizont T, který mívá větší mocnost než horizont O (Šarapatka, 2014).

4. Mocnost 2. horizontu

Nejčastěji se jedná o humusový horizont. Například to bývá horizont A, který obsahuje velké množství humusu a je na něj vázána hlavní biologická činnost v půdě. Vrchní horizonty podléhají mnohem méně vlivu počasí než spodní horizonty (Šarapatka, 2014).

4.2.3. Mimoprodukční funkce půdy

1. Hydrologická skupina půd

Hydrologická skupina půd (neboli HSP) je schopnost půdy propouštět vodu a řadíme je do čtyř skupin, které hodnotíme (VÚMOP, 2013).

Půdy v hydrologické skupině A mají nízký potenciál odtoku. Tyto půdy mají vysokou míru infiltrace ($> 0,20$ mm/min), pokud jsou důkladně mokré a zahrnují převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a šterky (VÚMOP, 2013).

Půdy, které mají mírnou míru infiltrace ($0,10 - 0,20$ mm/min), pokud jsou důkladně mokré, jsou v **hydrologické skupině B**. Pohyb vody těmito půdami je mírně rychlý. Zahrnují převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité (VÚMOP, 2013).

Hydrologické půdy skupiny C mají pomalou rychlost infiltrace ($0,05 - 0,10$ mm/min), pokud jsou důkladně mokré. Pohyb vody těmito půdami je mírný nebo středně pomalý a obecně mají omezující vrstvu, která brání pohybu vody směrem dolů (VÚMOP, 2013).

Půdy v hydrologické skupině D mají vysoký potenciál odtoku. Tyto půdy mají velmi pomalou míru infiltrace ($< 0,05$ mm/min), pokud jsou důkladně mokré. Pohyb vody půdou je pomalý nebo velmi pomalý. Zahrnují převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody nebo půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím (VÚMOP, 2013).

2. Kvalita ekosystému

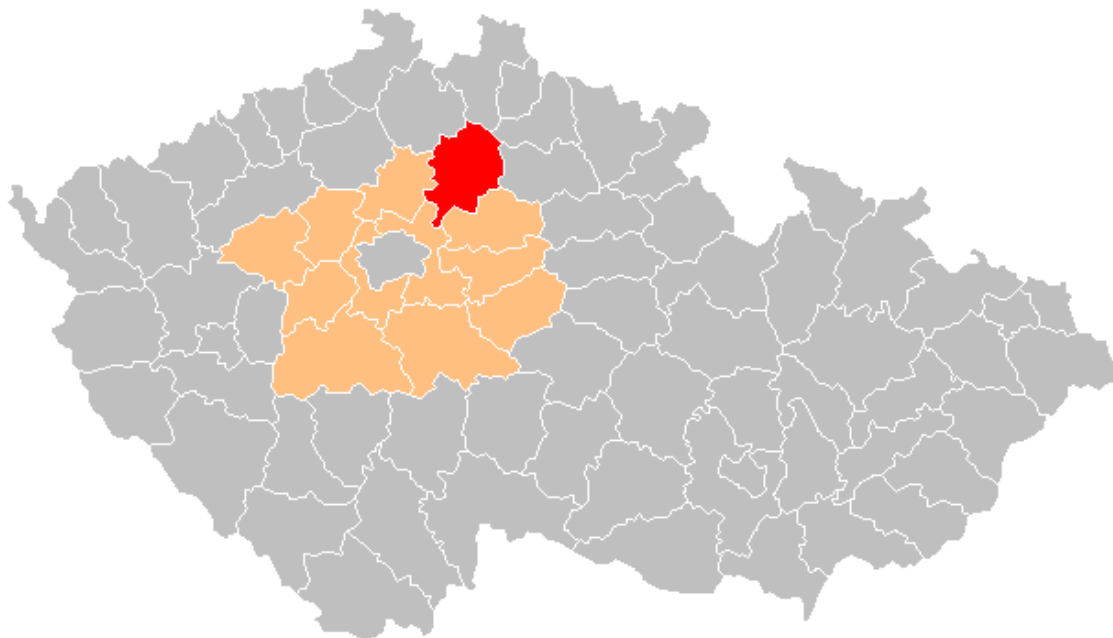
Kvalita ekosystému se hodnotí dle využití půdy pro dvě skupiny:

- a) Trvale travní porost (TTP) obsahují pestré rostlinné společenstvo složené z trav, bobovitých rostlin nebo bylin. Je tvořen stanovištními podmínkami nebo činností člověka (Polášková, 2011).
- b) Orná půda (OP) je část půdy, kde se pěstují pravidelně zemědělské plodiny a kvalita ekosystému je nižší oproti trvale travnímu porostu (Polášková, 2011).

4.4. Výběr okresu a jeho charakteristika

4.4.1 Základní charakteristika

Okres Mladá Boleslav se nachází v severní části Středočeského kraje a je rozdělen řekou Jizerou přibližně na dvě stejné části. Na jihu sousedí s okresem Praha-východ a Nymburk, na západě s Mělníkem, na severu s okresy Česká Lípa, Liberec a Semily z Libereckého kraje a na východě s okresem Jičín (Královéhradecký kraj) (ČSÚ, 2020).



Obrázek 20. Středočeský kraj (oranžově) a okres Mladá Boleslav (červeně) (Wikipedia, 2011)

Okres má rozlohu 1 023 km² a je 3. největším ve Středočeském kraji, kde zaujímá 9,4 % z jeho rozlohy. Zemědělská půda v okrese tvoří 62,5 % a lesy 26,1 % (ČSÚ, 2020).

Počet obyvatel je přibližně 128 tisíc (9,4 % obyvatel kraje). V současné době se zde nachází 120 obcí. Pouze 8 obcí má statut města (Mladá Boleslav – statutární město 44,2 tis. obyvatel, Mnichovo Hradiště, Benátky nad Jizerou, Bakov nad Jizerou, Kosmonosy, Bělá pod Bezdězem, Dobruška, Dolní Bousov) a pouze 5 obcí je městysem (Brodce, Březno, Chotětov, Bezno, Sovínky) (ČSÚ, 2020).

Povrch území je členitý, kdy v severní části jsou převážně nízké pahorkatiny (součást Českého ráje) a jižní část je spíše rovinatá. Nejvyšším bodem je vrch Mužský se 463 m nadmořské výšky (severní část) a nejnižším bodem je koryto řeky Jizery před jejím ústím do Labe (170 m n.m.) (ČSÚ, 2020).

V jižní části okresu probíhá intenzivní zemědělská rostlinná výroba. Orná půda je převážně využívána k pěstování obilovin a cukrovky (ČSÚ, 2020).

4.4.2 Geologické poměry

Geologická stavba okresu Mladá Boleslav se skládá ve velké míře z mezozoických hornin – křemenné a arkózovité pískovce a jílovce, které se rozkládají po jeho celé ploše. V menší míře se rozpínají od severní k jižní části kvartérní sedimenty, tvořeny převážně ze spraše, hlíny, písku a štěrku. Po celém okrese se nachází menší plochy s výskytem terciérních vulkanických hornin – čediče, fonolity a tufy, například nad statutárním městem Mladá Boleslav, směrem k městu Bakov nad Jizerou (informace převzaty z geologické mapy 1: 50 000).

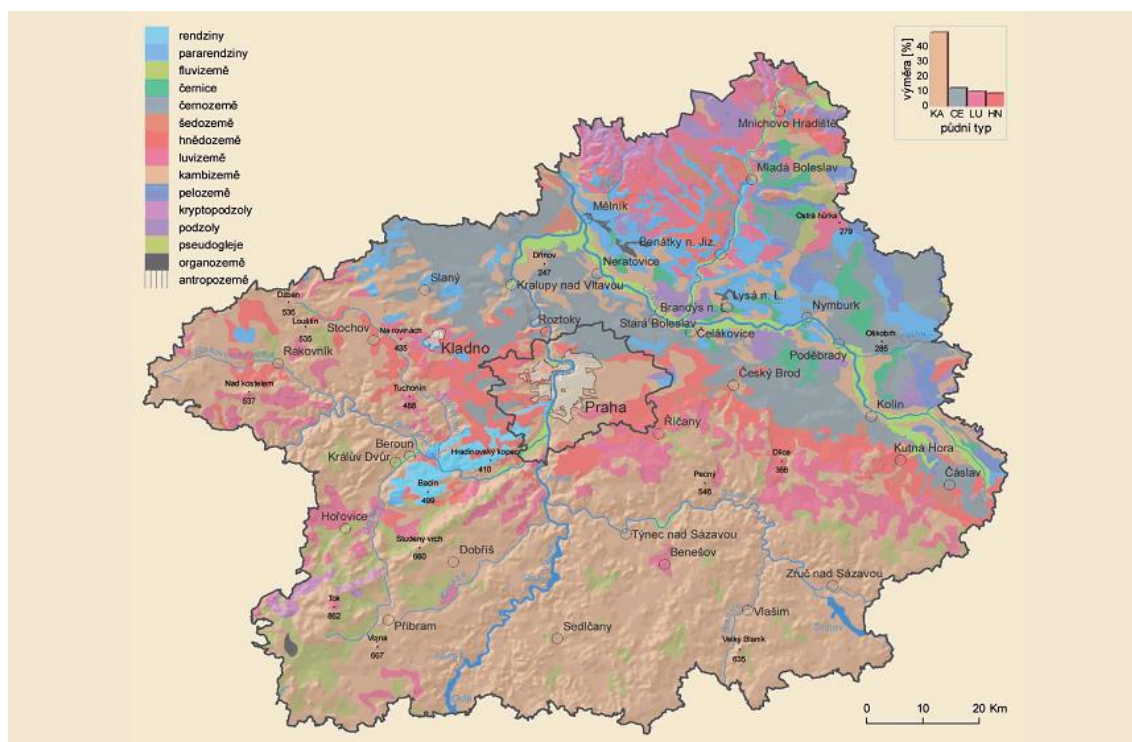
V okrese se nachází Velký a Malý Bezděz (severně od města Mladá Boleslav). Jedná se o vrcholy, které jsou tvořeny neovulkanickým tělesem trachytoidu (pravděpodobně lakolit) (informace převzaty z geologické mapy 1: 50 000).

4.4.3 Geomorfologické poměry

Okres Mladá Boleslav spadá do Hercýnského systému, provincie Česká vysočina se subprovincií Česká tabule. Obsahuje dvě geomorfologické oblasti: Středočeská a Severočeská tabule a tři geomorfologické celky: Jizerská tabule (západní část), Jičínská pahorkatina (východní část) a v jižním výběžku okresu také Středolabské tabule. Geomorfologické podcelky jsou v okrese zahrnuty celkem čtyři: Středojizerská tabule (západní část), Turnovská pahorkatina (východní část), Dolnojizerská tabule (jižní část) a Mělnická kotlina v jižním výběžku okresu. Okrsků obsahuje více – například Mladoboleslavská kotlina nebo Skalská tabule (Culek, 2013).

4.4.4. Pedologické poměry

Půdní typy okresu Mladá Boleslav jsou tvořeny převážně hnědozemí, černozemí a luvizemí (viz Obrázek 21). Nalevo od řeky Jizery, která protéká zhruba v polovině okresu, jsou půdy tvořeny převážně hnědozemí, ale také šedozemí, kambizemí nebo podzolem. Napravo od řeky Jizery jsou půdy různorodé - např. černice nebo fluvizemě. (informace převzaty z mapy MŽP)



Obrázek 21. Půdní mapa Středočeského kraje a Prahy (MŽP)

Hodnocení půdní sondy v rámci okresu, zahrnují především hnědozemě, černice a luvizemě. Ojedinele se půdní sondy nachází v černozemích, kambizemích, pseudoglejích, rendzinách, glejích a pseudoglejích (viz Tabulka 11.). (informace převzaty z mapy MŽP)

Kód sondy	Půdní jednotka	Půdní subtypy
MB01	Černice	černice pelická (CCp), černice pelická karbonátová (CCpc)
MB02	Hnědozemě	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)
MB03	Hnědozemě	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
MB04	Hnědozemě	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
MB05	Hnědozemě	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)

MB06	Hnědozemě	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)
MB07	Černozemě	černozem modální (CEm), hnědozem modální (HNm), hnědozem luvická (HNI), luvizem modální (LUm), kambizem modální (KAm), kambizem luvická (KAi)
MB08	Luvizemě	luvizem modální (LUm), hnědozem luvická (HNI), luvizem modální slabě oglejená (LUMg'), hnědozem luvická slabě oglejená (HNlg')
MB09	Hnědozemě	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)
MB10	Hnědozemě	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
MB11	Hnědozemě	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)
MB12	Luvizemě	luvizem modální (LUm), hnědozem luvická (HNI), luvizem modální slabě oglejená (LUMg'), hnědozem luvická slabě oglejená (HNlg')
MB13	Luvizemě	luvizem arenická (LUr), luvizem arenická slabě oglejená (LURg')
MB14	Luvizemě	luvizem arenická (LUr), luvizem arenická slabě oglejená (LURg')
MB15	Kambizemě	kambizem arenická (KAr), kambizem arenická eubazická (KAre'), kambizem arenická mesobazická (KAra'), pararendzina arenická (PRr), pararendzina kambická arenická (PRkr)
MB16	Černozemě	černozem modální (CEm), hnědozem modální (HNm), hnědozem luvická (HNI), luvizem modální (LUm),

		kambizem modální (KAm), kambizem luvická (KA1)
MB17	Pseudogleje	hnědozem luvická oglejená (HNlg), luvizem oglejená (LUg)
MB18	Rendziny, pararendziny	pararendzina modální (PRm), pararendzina kambická (PRk), pararendzina vyluhovaná (PRv), kambizem modální (KAm), kambizem modální slabě oglejená (KAmg')
MB19	Fluvizemě	fluvizem glejová (FLq), fluvizem oglejená (FLg)
MB20	Regozemě	regozem arenická (RGr), pararendzina arenická (PRr), kambizem arenická (KAr), fluvizem arenická (FLr)
MB21	Pseudogleje	hnědozem luvická oglejená (HNlg), luvizem oglejená (LUg)
MB22	Černice	černice modální (CCm), černice modální karbonátová (CCmc), černice arenická (CCr), černice fluvická (CCf)
MB23	Černice	černice modální (CCm), černice modální karbonátová (CCmc), černice arenická (CCr), černice fluvická (CCf)
MB24	Pseudogleje	pseudoglej pelický (PGp), pseudoglej planický (PGpl), kambizem oglejená (KAg), pseudoglej modální (PGm), pseudoglej kambický (PGk)
MB25	Hnědozemě	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
MB26	Černozemě	černozem pelická (CEp), černozem černická karbonátová (CExc), černozem pelická karbonátová (CEpc)
MB27	Fluvizemě	fluvizem modální eubazická (FLme'), fluvizem modální mesobazická (FLma'), fluvizem kambická eubazická (FLke'), fluvizem kambická mesobazická

		(FLka'), koluvizem modální (KOm), fluvizem stratifikovaná (FLi), fluvizem stratifikovaná karbonátová (FLic), fluvizem stratifikovaná oglejená (FLig)
MB28	Fluvizemě	fluvizem glejová (FLq), fluvizem oglejená (FLg)
MB29	Rendziny, pararendziny	pararendzina modální (PRm), pararendzina kambická (PRk), pararendzina vyluhovaná (PRv), kambizem modální (KAm), kambizem modální slabě oglejená (KAmg')
MB30	Gleje	glej fluvický (GLf), fluvizem glejová (FLq), černice fluvická glejová (CCfq), fluvizem glejová (FLq)
MB31	Černice	černice modální (CCm), černice modální karbonátová (CCmc), černice arenická (CCr), černice fluvická (CCf)
MB32	Černice	černice modální (CCm), černice modální karbonátová (CCmc), černice arenická (CCr), černice fluvická (CCf)
MB33	Černice	černice modální (CCm), černice modální karbonátová (CCmc), černice arenická (CCr), černice fluvická (CCf)
429	Luvizem	luvizem arenická (LUr), luvizem arenická slabě oglejená (LUrg')
430	Hnědozem	šedozem modální (SEm), šedozem modální slabě oglejená (SEmg'), šedozem luvická (SEl)
431	Fluvizem	fluvizem pefitická (FLy), fluvizem arenická (FLr), fluvizem stratifikovaná (FLi), černice arenická (CCr), koluvizem arenická (KOr), fluvizem oglejená (FLg)
432	Fluvizem	fluvizem modální eubazická (FLme'), fluvizem modální mesobazická (FLma'), fluvizem kambická eubazická (FLke'),

		fluvizem kambická mesobazická (FLka'), koluvizem modální (KOm), fluvizem stratifikovaná (FLi), fluvizem stratifikovaná karbonátová (FLic), fluvizem stratifikovaná oglejená (FLig)
433	Černice	černice pelická (CCp), černice pelická karbonátová (CCpc)
434	Pseudogleje	pseudoglej modální (PGm), pseudoglej kambický (PGk), kambizem oglejená (KAg)
435	Kambizem	kambizem arenická (KAr), kambizem arenická eubazická (KAre'), kambizem arenická mesobazická (KAr'), pararendzina arenická (PRr), pararendzina kambická arenická (PRkr)
436	Černozem	černozem luvická (CEl), černozem luvická slabě oglejená (CElg')
437	Hnědozem	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
438	Hnědozem	hnědozem modální (HNm), hnědozem modální slabě oglejená (HNmg')
439	Fluvizem	fluvizem psefitická (FLy), fluvizem arenická (FLr), fluvizem stratifikovaná (FLi), černice arenická (CCr), koluvizem arenická (KOr), fluvizem oglejená (FLg)
440	Fluvizem	fluvizem psefitická (FLy), fluvizem arenická (FLr), fluvizem stratifikovaná (FLi), černice arenická (CCr), koluvizem arenická (KOr), fluvizem oglejená (FLg)
441	Kambizemě, rankery, litozemě	kambizem litická (KAt), kambizem rankerová (KAs), ranker modální (RNm), pararendzina litická (PRt)

Tabulka 11. Půdní jednotky a subtypy půdních sond v okrese Mladá Boleslav

4.5. Hodnocení dat pomocí Saatyho metody

Data byla zpracována prostřednictvím programu Microsoft Office Excel, který je možné použít pro hodnocení dat pomocí Saatyho metody včetně výpočtu vah.

4.5.1. Stanovení bodové stupnice pro škálu hodnot indikátorů

Pro všechny indikátory byla stanovena bodová stupnice od 1 (nejhorší) do 10 (nejlepší), jelikož se nemohou do Saatyho metody přidat v původních jednotkách, ale musí se stanovit bezrozměrně, aby se s nimi mohlo dále pracovat. Pro stanovení bodů jednotlivých indikátorů byla použita škála optimálních hodnot kritérií uvedené v kapitole 4.3.

Celkový počet hodnocených produkčních proměnných indikátorů je 8, celkový počet hodnocených produkčních stabilních indikátorů je 6 a 2 mimoprodukční indikátory. Výsledkem jsou tabulky pro proměnné a stabilní indikátory produkčních funkcí půdy a tabulky pro mimoprodukční funkce půdy – viz přílohy č. 1 a 2.

4.5.2. Saatyho matice párového srovnání

Pomocí Saatyho matice párového srovnání byly určeny váhy pro indikátory na škále od 1 do 9 – viz tabulky č. 12-14, jakožto referenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v tabulce. Čím větší číslo / vzájemný vztah dvojic, tím je indikátor důležitější.

Indikátory byly porovnány mezi sebou. Na stanovení vah se podíleli kolegové, kteří zpracovávají podobné téma diplomové práce a dále vědečtí pracovníci ČZU – profesor Kozák, doktorka Janků, doktorka Miháliková a profesor Borůvka.

	pH	Humus	RVK	V	KVK	Obj. hm.	P	K
pH	1	1/5	1/2	1/3	1/5	1/5	3	3
Humus	5	1	3	4	3	2	5	6
RVK	2	1/3	1	1	3	1/2	4	3
V	3	1/4	1	1	2	1/2	4	4
KVK	5	1/3	1/3	1/2	1	1/2	4	4
Obj. hm.	5	1/2	2	2	2	1	4	4
P	1/3	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1	2
K	1/3	1/6	1/3	1/4	1/4	1/4	1/2	1
Součet	21,67	2,98	8,42	9,33	11,7	5,2	25,5	27

Tabulka 12. Saatyho matice proměnných indikátorů produkční funkce půdy

	Zrnitost	KR	Mocnost	Skeletovitost	Expozice	Svažitost
Zrnitost	1	3	3	5	7	7
KR	1/3	1	2	3	5	5
Mocnost	1/3	1/2	1	2	5	5
Skeletovitost	1/5	1/3	1/2	1	1	3
Expozice	1/7	1/5	1/5	1	1	1
Svažitost	1/7	1/5	1/5	1/3	1	1
Součet	2,15	5,23	6,9	12,33	20,0	22,0

Tabulka 13. Saatyho matice stabilních indikátorů produkční funkce půdy

	HSP	Kvalita ekosystému
HSP	1	5
Kvalita ekosystému	1/5	1
Součet	1,2	6,0

Tabulka 14. Saatyho matice indikátorů mimoprodukční funkce půdy

Pro každý sloupec indikátorů byl vypočítán součet a geometrický průměr pro každý řádek (nejedná se o váhu). Ze součtu geometrických průměrů všech řádků a jednotlivých geometrických průměrů byly vypočítány váhy – viz vzorce v úvodní kapitole 3.9.3. Pro správný výpočet je nutno provést kontrolu, kdy součet všech vah se musí rovnat 1 neboli 100 %.

	GP	Váha proměnné	%
pH	0,575304	0,055435	5,5
humus	3,192846	0,307654	30,8
RVK	1,364262	0,131456	13,1
V	1,364262	0,131456	13,1
KVK	1,104965	0,106471	10,6
Obj. hm.	2,056571	0,198165	19,8
P	0,388676	0,037452	3,7
K	0,331169	0,03191	3,2
Součet	10,38	1	100

Tabulka 15. Výpočet geometrický průměrů a vah pro proměnné indikátory produkční funkce půdy

	GP	váha proměnné	%
zrnitost	3,607736	0,429125	42,9
KR	1,919383	0,228303	22,8
mocnost	1,423868	0,169363	16,9
skeletovitost	0,681292	0,081037	8,1
expozice	0,422825	0,050293	5,0
svažitost	0,352079	0,041878	4,2
Součet	8,41	1	100

Tabulka 16. Výpočet geometrický průměrů a vah pro stabilní indikátory produkční funkce půdy

	GP	váha proměnné	%
HSP	2,236068	0,833333	83,3
Kvalita ekosystému	0,447214	0,166667	16,7
Součet	2,68	1	100

Tabulka 17. Výpočet geometrický průměrů indikátory mimoprodukční funkce půdy

Je potřeba ověření validity (míry konzistence), zda byla přiřazena indikátorům správná váha. Je zapotřebí vypočítat poměr konzistence (CR), u kterého je nutné znát proměnný index konzistence (CI), náhodný index (RI) a největší vlastní číslo matice (λ_{max}).

Výpočet byl proveden podle následujících rovnic:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_m - n}{n - 1}$$

Hodnotu RI je možné nalézt v různých tabulkách dostupných na internetu a pro validitu tabulky nesmí hodnota CR být větší než 0,10.

Pro každou tabulku vah byla spočítána míra konzistence, kde bylo ověřeno, že hodnota CR je menší než 0,10 a indikátorům byly přiřazeny správné váhy.

4.5.3. Bodové ohodnocení vybraných charakteristik s vazbou k půdě

Jak již bylo uvedeno, každé hodnotě byl přiřazen bod. Body byly přiřazeny pro všechny produkční indikátory funkce půdy, které jsou rozděleny pro hodnoty od 0 do 30 cm hloubky a od 30 do 60 cm hloubky půdy a dále byly body přiřazeny pro mimoprodukční hodnoty, které se dále nerozdělovaly.

a) Proměnné indikátory (produkční funkce půdy)

- a) Indikátory do 30 cm hloubky: pH_{KCl} , Humus, P_2O_5 , K_2O , T, objemová hmotnost
- b) Indikátory od 30 do 60 cm hloubky: pH_{KCl} , Humus, P_2O_5 , K_2O , T, objemová hmotnost
- c) Indikátory pro celou hloubku: retenční vodní kapacita

U retenční vodní kapacity byla určena pouze jedna hodnota, která platí pro celou hloubku půdní sondy.

b) Stabilní indikátory (produkční funkce půdy)

- d) Indikátory do 30 cm hloubky: zrnitost % jílu $<0,01$ mm
- e) Indikátory od 30 do 60 cm hloubky: zrnitost % jílu $<0,01$ mm
- f) Indikátory pro celou hloubku: klimatický region, skeletovitost, sklonitost, expozice

Mocnost 1. a 2. horizontu je v bodovém hodnocení stanovena zvlášť.

c) Stanovení poměru proměnných a stabilních indikátorů (produkční funkce půdy)

Důležité je určit poměr proměnných a stabilních indikátorů, se kterými se bude dále počítat. V případě práce jsou indikátory v poměru 60 % stabilní ku 40 % proměnlivé a tento poměr byl určen týmem vědeckých pracovníků.

d) Stanovení poměru indikátorů produkční a mimoprodukční funkce půdy

Pro určení výsledných bodů celkové hodnoty půdy, je potřeba stanovit poměr mezi indikátory produkční a mimoprodukční funkce půdy. V případě práce se jedná o poměr 95 % produkční ku 5 % mimo produkční funkce půdy, který byl stanoven týmem vědeckých pracovníků.

4.5.4. Závěrečné výpočty a výsledky

Pokud jsou stanovené body pro hodnoty a váhy pro jednotlivé indikátory, tak se může vypočítat celkové bodové hodnocení.

Body jsou vypočítány zvlášť pro produkční a mimoprodukční funkce půdy. U produkční funkce půdy se počítají zvlášť bodové hodnocení pro proměnné i stabilní indikátory od 0 do 30 cm hloubky a pro indikátory od 30 do 60 cm hloubky.

Výsledné bodové hodnocení bylo vypočítáno pro následující skupiny:

1. Produkční proměnné indikátory v hloubce od 0 do 30 cm
2. Produkční proměnné indikátory v hloubce od 30 do 60 cm
3. Produkční stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm
4. Produkční stabilní indikátory v hloubce od 30 do 60 cm
5. Celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm
6. Celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 30 do 60 cm
7. Celkové bodové skóre mimoprodukčních indikátorů
8. Celková hodnota půdy (produkční + mimoprodukční funkce půdy)

1) Vzorce pro výpočet produkční funkce půdy

Produkční proměnné indikátory = $(P_1 * V_1 + P_2 * V_2 + \dots P_n * V_n)$ * celkový počet indikátorů (produkční + mimoprodukční funkce půdy) * poměr proměnných / stabilních indikátorů * poměr produkční funkce půdy / mimoprodukční funkce půdy

P_1 ... bod proměnného indikátoru

V_1 ... váha proměnného indikátoru

Produkční stabilní indikátory = $(S_1 * V_1 + S_2 * V_2 + \dots S_n * V_n)$ * celkový počet indikátorů (produkční + mimoprodukční funkce půdy) * poměr stabilních / proměnných indikátorů * poměr produkční funkce půdy / mimoprodukční funkce půdy

S_1 ... bod stabilního indikátoru

V_1 ... váha stabilního indikátoru

Celkové bodové skóre produkční funkce půdy = proměnné indikátory + stabilní indikátory

2) Vzorce pro výpočet mimoprodukční funkce půdy

Celkové bodové skóre pro mimoprodukční funkce půdy = $(S_1 * V_1 + S_2 * V_2 + \dots S_n * V_n)$ * celkový počet indikátorů (produkční + mimoprodukční funkce půdy) * poměr mimoprodukční funkce půdy / produkční funkce půdy * 2

(Na konci je poměr násoben dvěma, protože produkční funkce obsahují dvě kategorie – proměnné a stabilní indikátory)

3) Vzorec pro výpočet celkové hodnoty půdy

Celková hodnota půdy = celkové skóre produkční pro hloubku 0-30 cm + celkové skóre produkční pro hloubku 30-60 cm + celkové skóre mimoprodukčních

4.6. Tvorba map

Ze získaných bodů pro produkční i mimoprodukční funkce půdy byly vytvořeny mapy. Pro tvorbu map byl použit program ArcGIS verze 10.4.

Větší zástavba je v každé mapě zobrazena šedou barvou, lesy zelenou barvou, vodní toky a vodní plochy modrou barvou.

Bylo vytvořeno celkem 8 map pro okres Mladá Boleslav, které znázorňují umístění půdních sond, včetně jejich označení. Výsledné body pro produkční i mimoprodukční funkci jsou znázorněny v okolí půdních sond v okruhu 1 km, a to pomocí intervalů výsledných bodů a barevné škály. Pro každou mapu byly vytvořeny jiné intervaly na základě výsledných bodů – viz Tabulka 18.

Skóre mimo-produkční	Skóre proměnné 0–30 cm	Skóre proměnné 30–60 cm	Skóre stabilní 0–30 cm	Skóre stabilní 30–60 cm	Celkové skóre 0–30 cm	Celkové skóre 30–60 cm	Celková hodnota půdy
2,7	14,5	14,8	42,6	37,1	64,9	61,9	141,7
5,3	20,9	20,7	50,5	46,7	75,8	73,4	162,5
8,0	27,3	26,6	58,3	56,3	86,8	84,9	183,3
10,7	33,7	32,5	66,2	65,8	97,7	96,4	204,2
13,3	40,2	38,4	74,0	75,4	108,6	107,8	225,0
16,0	46,6	44,3	81,9	85,0	119,6	119,3	245,8

Tabulka 18. Hodnoty pro vytvoření intervalů výsledných bodů u tvorby map

5. Výsledky

5.1. Bodové hodnocení indikátorů

Prostřednictvím Saatyho metody bylo vytvořeno několik tabulek bodového ohodnocení. Pro hodnocení byly použity váhy všech indikátorů určené v metodice.

Nejprve byly přiřazeny body na škále od 1 do 10 u všech indikátorů pro hodnoty okresu Mladá Boleslav podle zvolených intervalů – viz přílohy č. 1. a 2. Zhodnoceny byly produkční a mimoprodukční funkce půdy.

U indikátorů, týkající se produkční funkce půdy, bylo hodnoceno celkem 8 proměnných pro hloubku půdní sondy od 0 do 30 cm a od 30 do 60 cm – viz Tabulka 19. a celkem 6 stabilních pro hloubku půdní sondy od 0 do 30 cm a od 30 do 60 cm – viz Tabulka 20. Čím má bod vyšší číslo, tím více splňuje optimální podmínky pro půdu. Bral se zde v úvahu poměr mezi proměnnými a stabilními indikátory. Bylo spočítáno celkové bodové ohodnocení pro produkční funkce půdy z obou skupin indikátorů – viz Tabulka 21.

Z Tabulky 19. je zřejmé, že nejvyššího průměru bodového ohodnocení všech půdních sond u proměnných indikátorů produkční funkce půdy, dosahuje převážně půdní charakteristika „V“ neboli nasycenost sorpčního komplexu, která má 8 bodů. Středního průměru bodového ohodnocení (cca 5-6 bodů) dosahují půdní charakteristiky: ph, obsah humusu a objemová hmotnost. Ostatní půdní charakteristiky dosahují bodů méně než 5.

Z Tabulky 20. je zřejmé, že nejvyššího průměru bodového ohodnocení všech půdních sond u stabilních indikátorů produkční funkce půdy, dosahují půdní charakteristiky: skelet, sklonitost a expozice, které dosahují bodů větší než 9. Středního průměru bodového ohodnocení (6,9 – 7,2 bodů) dosahuje zrnitost. Ostatní stabilní půdní charakteristiky mají méně než 6,9 bodů.

Pokud hodnotíme celkové bodové skóre produkční funkce půdy – viz Tabulka 21., tak proměnné i stabilní indikátory dosahují téměř stejných průměrných hodnot, dokonce i s ohledem na hloubku půdní sondy.

U indikátorů, týkající se mimoprodukční funkce půdy, byly zhodnoceny pouze dva indikátory, kde se braly v potaz obě hloubky produkčních funkcí. V opačném případě by docházelo k rozmělnění bodového skóre mimoprodukčních atributů – viz Tabulka 22. Z tabulky č. 22. je zřejmé, že oba indikátory (HSP a kvalita ekosystému) dosahují podobných průměru, které jsou ve středních hodnotách.

Z produkční i mimoprodukční funkce byla určena celková hodnota půdy – viz Tabulka 23. Předpokládá se, že okresy v severovýchodní části Středočeského kraje (Mladá Boleslav, Kutná Hora...) se budou vyznačovat vyšším počtem bodů než okresy v jihozápadní části kraje (Příbram...). Celková hodnota půdy pro okres Mladá Boleslav je 200 bodů.

Půdní sonda	pHKCl 0-30	pHKCl 0-60	humus 0-30	humus 30-60	P ₂ O ₅ 0-30	P ₂ O ₅ 30-60	K ₂ O 0-30	K ₂ O 30-60	T 0-30	T 30-60	V 0-30	V 30-60	RVK	Obj.hm. 0-30	Obj.hm. 30-60
429	7	10	4	3	3	1	2	1	2	2	8	8	6	3	4
430	7	9	5	3	2	1	1	1	4	4	8	8	3	5	7
431	5	7	8	4	3	1	1	1	5	3	10	8	5	3	3
432	4	4	3	3	1	1	1	1	5	4	9	9	3	4	4
433	4	3	8	8	3	1	3	2	10	10	10	10	3	9	9
434	2	2	4	2	1	1	2	2	3	5	10	10	5	4	5
435	6	7	3	2	1	1	3	1	2	1	6	6	6	3	2
436	7	4	3	2	8	9	1	1	4	4	9	8	3	6	7
437	5	5	3	2	6	4	2	1	3	2	8	8	3	5	5
438	1	1	3	2	8	4	1	1	3	4	10	10	3	6	8
439	2	2	5	4	1	3	1	1	6	6	9	9	5	5	5
440	1	1	4	3	3	8	2	1	5	4	10	10	5	3	6
441	1	1	3	2	2	1	1	1	4	4	9	9	10	6	7
MB01	6	7	4	3	1	1	2	1	6	7	8	9	3	6	6
MB02	8	9	6	6	10	10	1	2	8	8	8	8	3	6	7
MB03	4	3	4	3	8	8	1	1	4	4	8	8	3	5	5
MB04	2	4	4	3	8	5	1	1	4	3	10	9	3	5	5
MB05	5	5	3	3	4	2	1	1	4	4	8	8	3	5	5
MB06	7	8	5	3	10	10	2	2	6	7	8	8	3	6	7
MB07	9	9	3	2	5	3	1	1	4	5	9	8	3	6	7
MB08	6	6	4	2	1	1	1	1	4	4	6	7	3	5	7
MB09	4	7	3	2	10	6	3	2	3	3	8	8	3	4	5
MB10	6	6	3	2	3	2	1	1	3	3	8	8	3	5	6
MB11	7	9	4	3	1	1	1	1	4	3	8	8	3	5	6
MB12	6	6	2	2	1	1	1	1	3	3	5	5	3	5	5
MB13	6	6	3	2	1	1	1	1	1	1	4	5	6	3	3
MB14	6	6	3	2	1	1	1	1	1	1	3	3	6	3	3
MB15	7	9	3	2	1	1	2	1	1	1	7	7	6	3	2
MB16	9	10	3	2	1	1	3	2	2	2	7	8	3	3	4
MB17	10	10	5	4	1	1	2	2	8	10	8	9	3	8	9
MB18	7	9	7	5	3	2	10	10	10	10	7	8	5	5	5
MB19	7	6	5	3	4	10	3	2	4	5	7	7	6	3	5
MB20	9	6	3	2	4	2	5	3	2	1	6	5	6	2	2
MB21	4	4	3	2	5	4	2	1	1	1	3	4	3	2	2
MB22	7	5	5	3	1	1	1	1	4	2	8	8	3	2	2
MB23	4	4	5	4	8	5	3	2	10	10	10	10	3	9	9
MB24	4	4	3	3	6	4	1	1	8	8	10	10	5	8	8
MB25	9	7	4	2	5	2	1	1	5	4	8	8	3	6	5
MB26	4	4	3	2	4	2	5	3	7	8	10	10	3	7	8
MB27	7	6	7	5	1	1	1	1	6	5	7	7	3	3	3
MB28	7	8	6	4	1	4	1	1	6	5	7	7	6	4	4
MB29	7	6	4	3	1	4	1	1	5	5	7	7	6	4	5
MB30	3	3	3	2	7	5	1	1	4	4	10	10	6	6	5
MB31	5	4	8	6	8	5	2	1	10	10	10	10	3	9	8
MB32	7	9	10	8	1	1	1	1	10	10	8	8	3	8	8
MB33	3	3	8	7	4	2	1	1	10	9	10	10	3	7	7
Průměr	5,5	5,7	4,4	3,2	3,7	3,2	1,8	1,5	4,9	4,8	8,0	8,0	4,1	5,0	5,4

Tabulka 19. Bodové ohodnocení dat produkční funkce půdy pro proměnné indikátory pro okres Mladá Boleslav

Půdní sonda	zrnitost <0,01 0-30	zrnitost <0,01 30-60	KR	Mocnost 1. h.	Mocnost 2. h.	Skelet	Sklonitost	Expozice
429	6	6	5	6	4	10	10	10
430	8	10	7	8	5	10	10	10
431	4	4	7	6	6	10	10	10
432	8	8	7	6	10	10	10	10
433	4	3	7	8	8	10	10	10
434	7	10	7	6	4	9	10	10
435	4	4	7	7	8	9	10	10
436	8	10	7	8	6	10	10	10
437	8	8	7	6	7	10	10	10
438	8	9	7	8	5	10	10	10
439	10	9	8	4	10	10	10	10
440	9	10	8	7	7	10	10	10
441	8	10	7	6	7	8	8	10
MB01	10	9	7	7	5	10	10	10
MB02	10	9	7	7	8	10	10	10
MB03	8	10	7	7	5	10	8	10
MB04	8	8	7	7	5	10	10	10
MB05	7	8	7	6	4	10	10	10
MB06	10	9	7	8	5	10	10	10
MB07	10	10	5	6	5	10	5	10
MB08	8	10	5	6	6	10	8	10
MB09	8	8	7	7	6	10	10	10
MB10	8	8	7	8	5	10	10	10
MB11	10	10	7	7	6	10	10	10
MB12	7	8	5	7	5	10	10	10
MB13	4	6	7	6	4	10	10	10
MB14	6	6	7	8	7	10	8	10
MB15	4	4	7	6	4	9	10	10
MB16	6	7	7	7	5	10	8	10
MB17	5	3	7	7	10	10	10	10
MB18	8	8	7	6	9	9	10	10
MB19	7	8	5	8	10	10	10	10
MB20	4	3	5	8	4	10	8	10
MB21	4	4	7	8	6	10	10	10
MB22	4	4	7	6	7	10	10	10
MB23	2	2	5	7	9	10	10	10
MB24	5	4	7	6	5	9	10	10
MB25	8	8	7	6	4	10	10	10
MB26	9	6	7	6	5	10	10	10
MB27	6	7	5	7	6	10	10	10
MB28	10	10	7	6	10	10	10	10
MB29	8	10	5	7	5	9	5	1
MB30	8	8	8	8	8	9	10	10
MB31	3	4	7	6	5	10	10	10
MB32	4	3	7	8	8	10	10	10
MB33	6	6	7	8	6	10	10	10
Průměr	6,9	7,2	6,7	6,8	6,3	9,8	9,5	9,8

Tabulka 20. Bodové ohodnocení dat produkční funkce půdy pro stabilních indikátory pro okres Mladá Boleslav

Půdní sonda	Proměnné 0 - 30	Proměnné 30 - 60	Stabilní 0 - 30	Stabilní 30 - 60	Celkové skóre 0 - 30	Celkové skóre 30 - 60
429	27	27	59	56	86	83
430	30	29	74	77	104	106
431	36	26	55	55	92	82
432	25	24	71	77	96	102
433	45	44	58	54	104	99
434	28	26	66	75	94	101
435	23	19	56	58	79	77
436	29	27	74	79	103	106
437	26	23	71	72	97	95
438	28	28	74	73	102	101
439	32	30	78	83	109	113
440	28	30	78	82	106	112
441	32	31	69	78	100	109
MB01	30	30	80	73	110	103
MB02	38	39	80	78	118	117
MB03	28	26	72	76	100	102
MB04	29	26	72	69	102	95
MB05	26	25	67	68	93	93
MB06	34	33	82	73	116	106
MB07	29	28	72	71	102	99
MB08	26	25	66	74	92	99
MB09	25	25	72	71	98	96
MB10	25	24	74	69	99	94
MB11	28	27	80	79	108	106
MB12	21	21	64	65	85	86
MB13	20	19	55	60	76	79
MB14	20	18	65	64	85	81
MB15	23	21	55	51	78	72
MB16	22	23	64	65	86	87
MB17	37	38	61	58	98	96
MB18	40	38	70	75	110	113
MB19	30	30	66	73	96	103
MB20	24	19	53	43	77	62
MB21	16	15	58	55	75	70
MB22	26	20	55	57	81	77
MB23	41	38	45	48	86	86
MB24	35	35	58	53	94	88
MB25	31	24	71	68	102	92
MB26	32	31	75	62	107	93
MB27	31	27	61	63	92	90
MB28	33	30	79	85	112	115
MB29	29	28	62	67	91	95
MB30	31	27	75	75	106	103
MB31	47	40	51	54	98	94
MB32	46	43	58	54	105	98
MB33	42	39	66	63	109	103
Průměr	30,1	28,2	66,8	66,9	96,9	95,1

Tabulka 21. Celkové bodové ohodnocení produkční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav

Půdní sonda	HSP	Kvalita ekosystému	Skóre mimoprodukční
429	10	5	15
430	3	5	5
431	10	5	15
432	5	5	8
433	1	5	3
434	5	5	8
435	10	5	15
436	5	5	8
437	3	5	5
438	3	5	5
439	10	10	16
440	10	10	16
441	10	5	15
MB01	1	5	3
MB02	3	5	5
MB03	3	5	5
MB04	3	5	5
MB05	3	5	5
MB06	3	5	5
MB07	5	5	8
MB08	3	5	5
MB09	3	5	5
MB10	3	5	5
MB11	3	5	5
MB12	3	5	5
MB13	10	5	15
MB14	10	5	15
MB15	10	5	15
MB16	5	5	8
MB17	3	5	5
MB18	3	5	5
MB19	3	10	7
MB20	10	5	15
MB21	3	5	5
MB22	5	5	8
MB23	5	5	8
MB24	1	5	3
MB25	3	5	5
MB26	1	5	3
MB27	5	5	8
MB28	3	10	7
MB29	5	10	9
MB30	3	10	7
MB31	5	5	8
MB32	5	5	8
MB33	5	5	8
Průměr	4,9	5,7	8,0

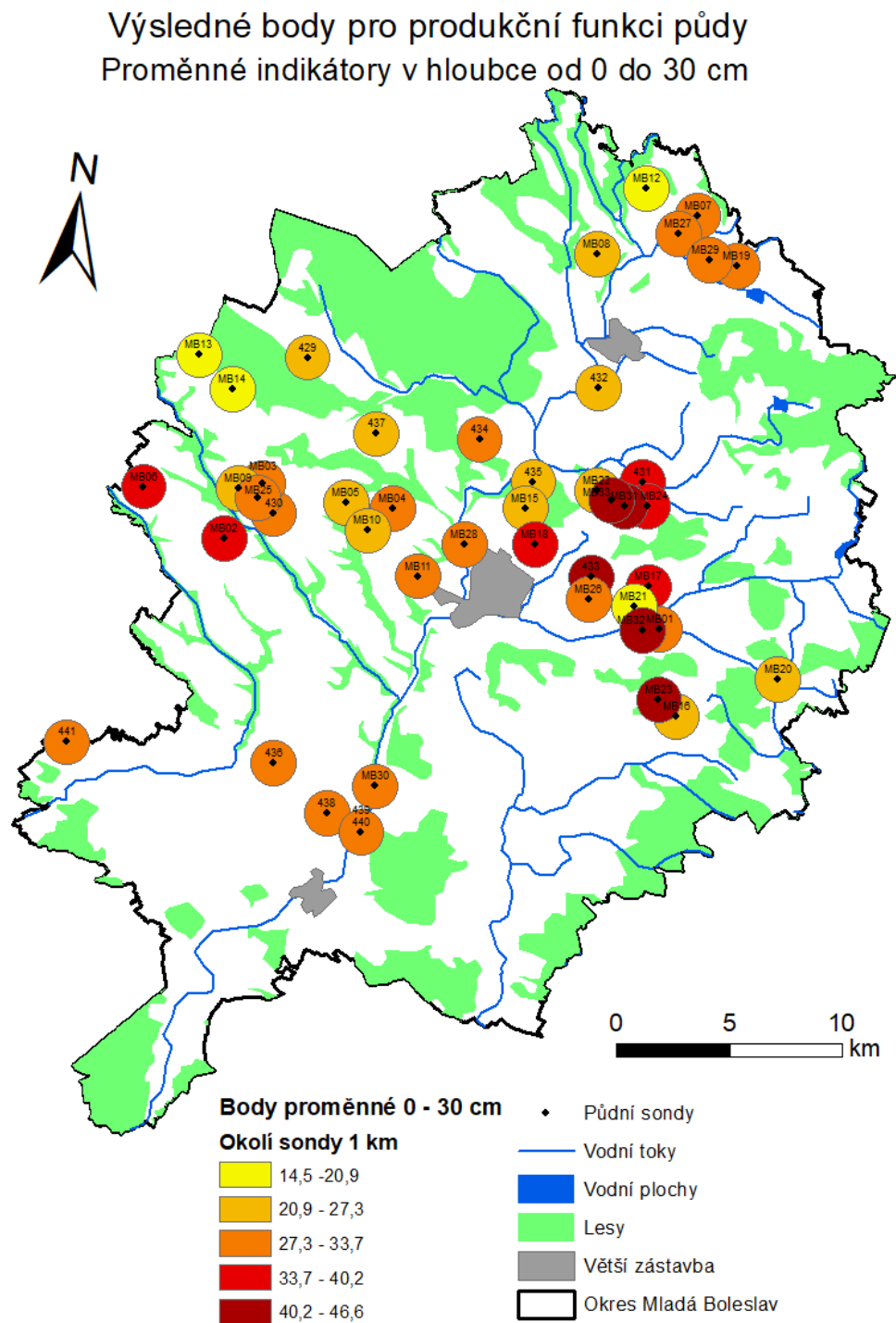
Tabulka 22. Celkové bodové ohodnocení mimoprodukční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav

Půdní sonda	Celková hodnota půdy (produkční + mimoprodukční)
429	183
430	215
431	188
432	205
433	205
434	203
435	171
436	217
437	197
438	208
439	239
440	234
441	223
MB01	216
MB02	241
MB03	208
MB04	202
MB05	191
MB06	228
MB07	209
MB08	196
MB09	199
MB10	198
MB11	219
MB12	176
MB13	170
MB14	181
MB15	165
MB16	181
MB17	199
MB18	228
MB19	205
MB20	154
MB21	150
MB22	166
MB23	180
MB24	184
MB25	199
MB26	203
MB27	189
MB28	233
MB29	195
MB30	216
MB31	200
MB32	211
MB33	219
Průměr	200

Tabulka 23. Celková hodnota půdy (produkční + mimoprodukční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav

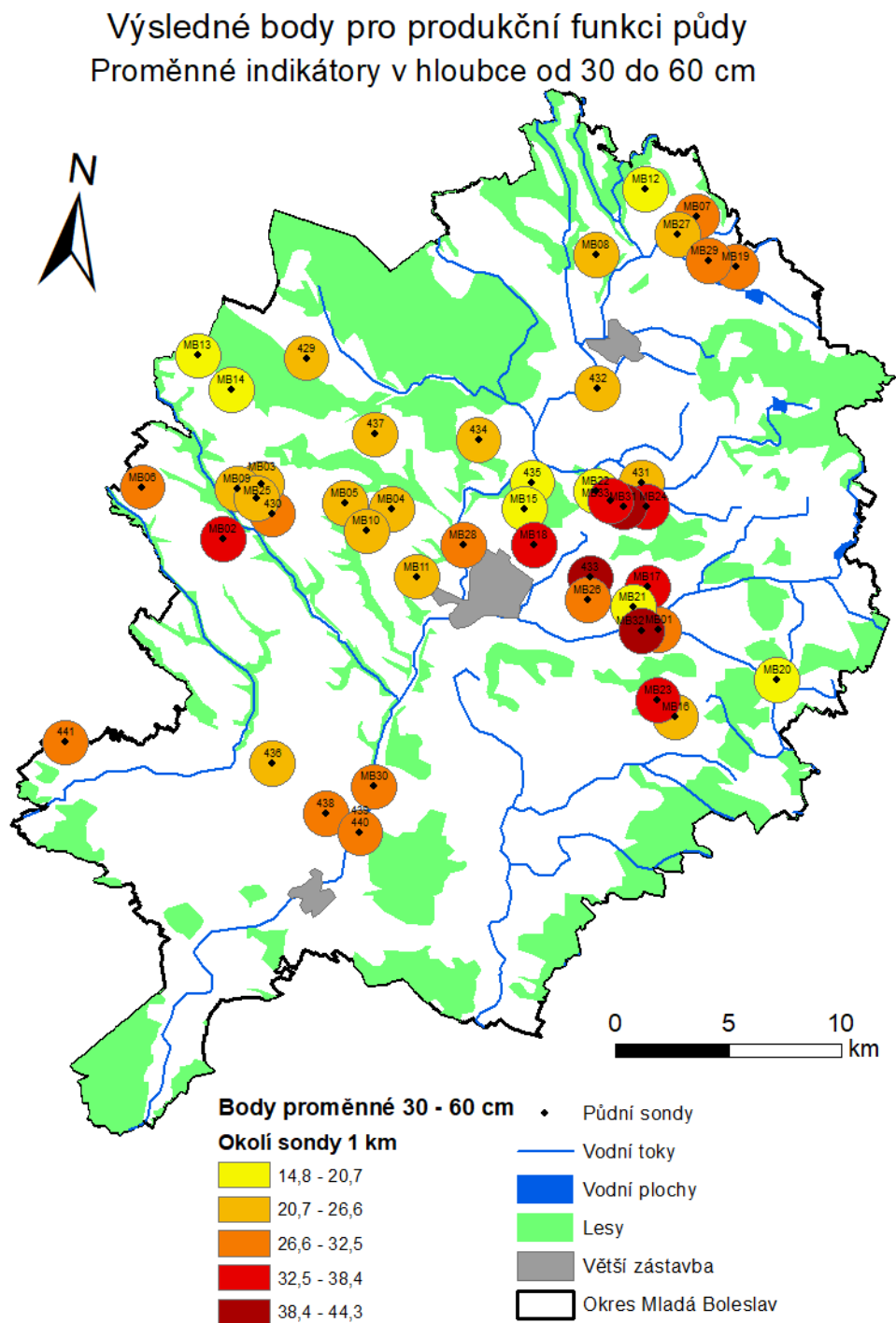
5.2. Mapy znázorňující bodové hodnocení

1. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 0 do 30 cm



Obrázek 22. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 0 do 30 cm

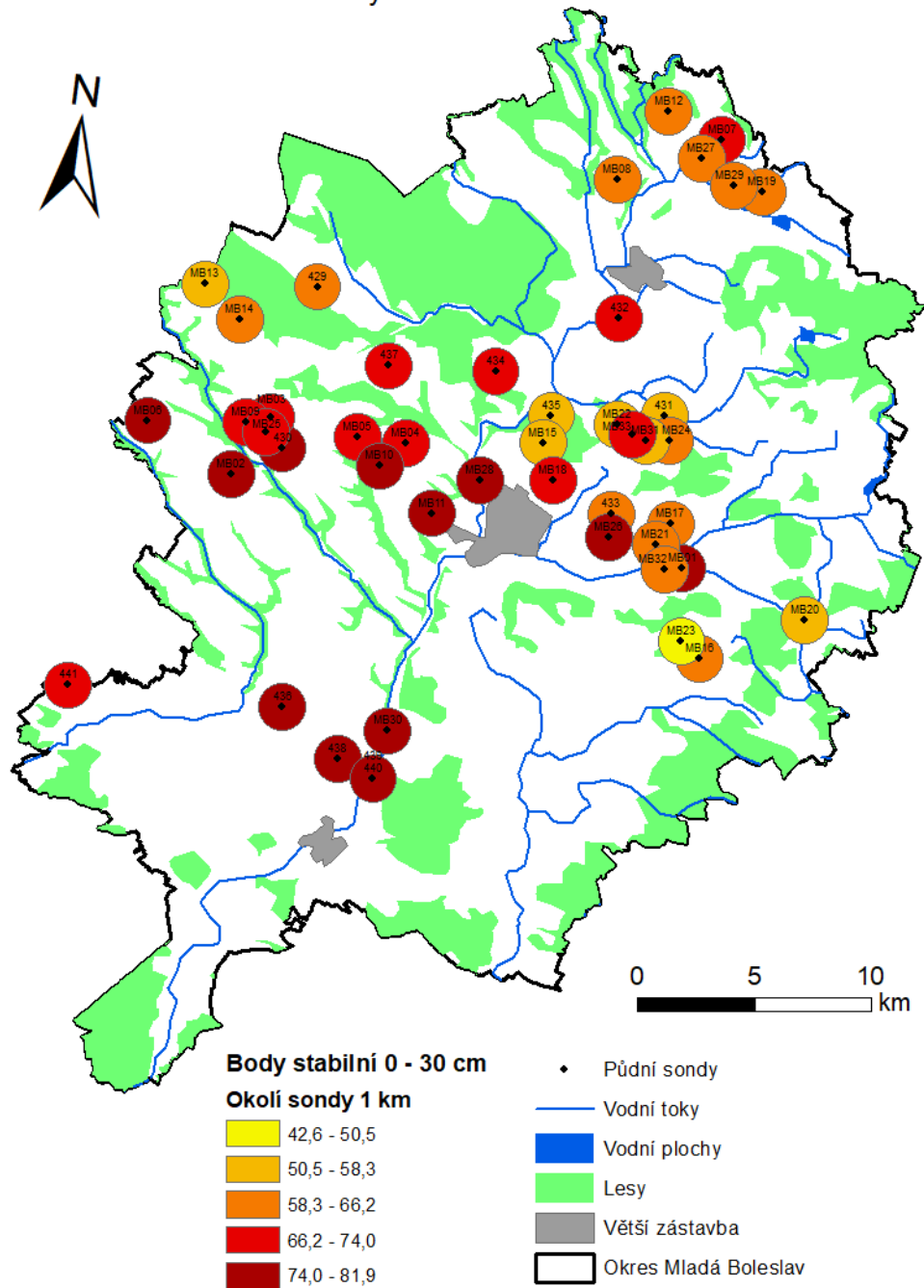
2. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 30 do 60 cm



Obrázek 23. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 30 do 60 cm

3. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm

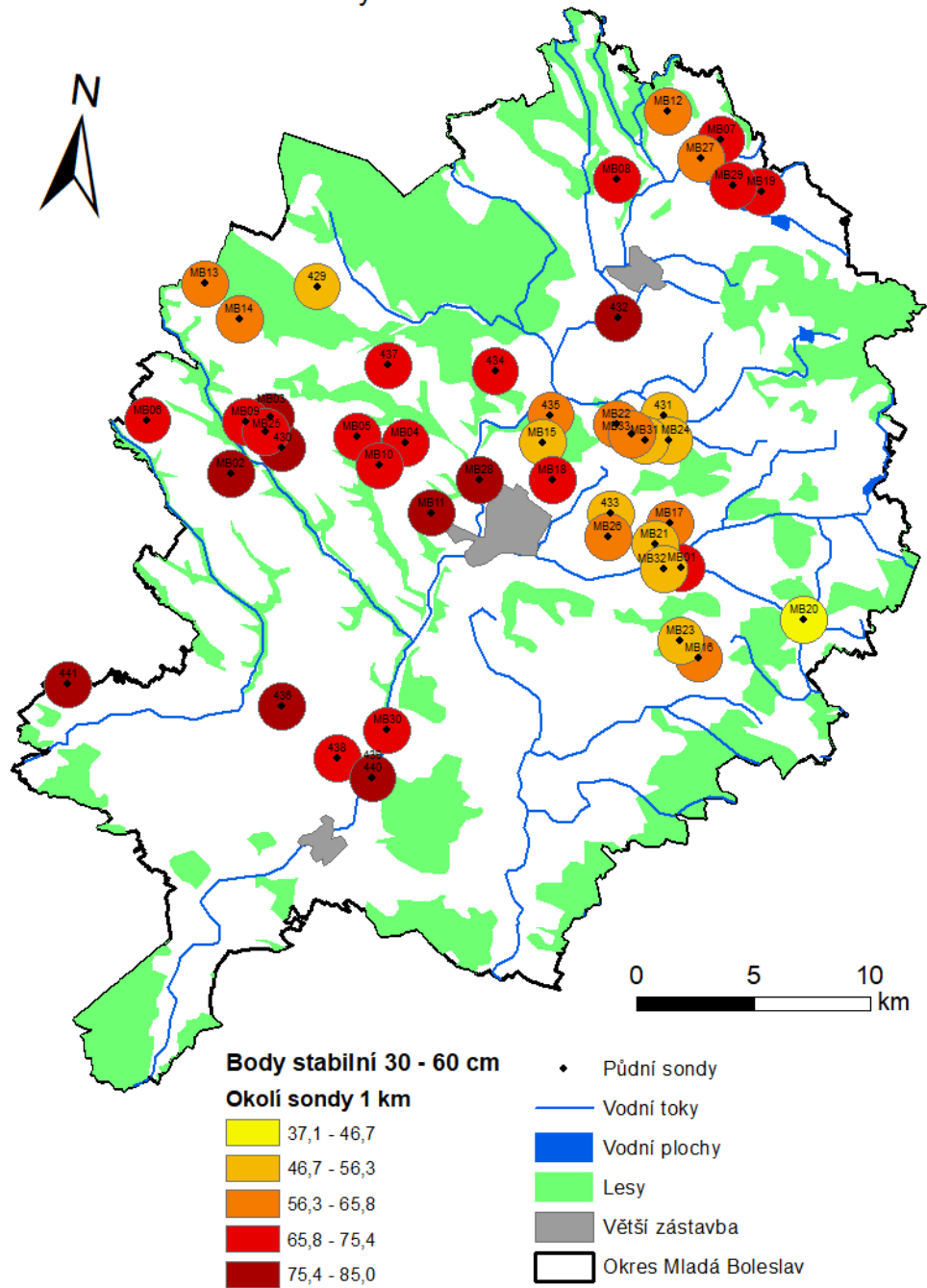
Výsledné body pro produkční funkci půdy
Stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm



Obrázek 24. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm

4. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 30 do 60 cm

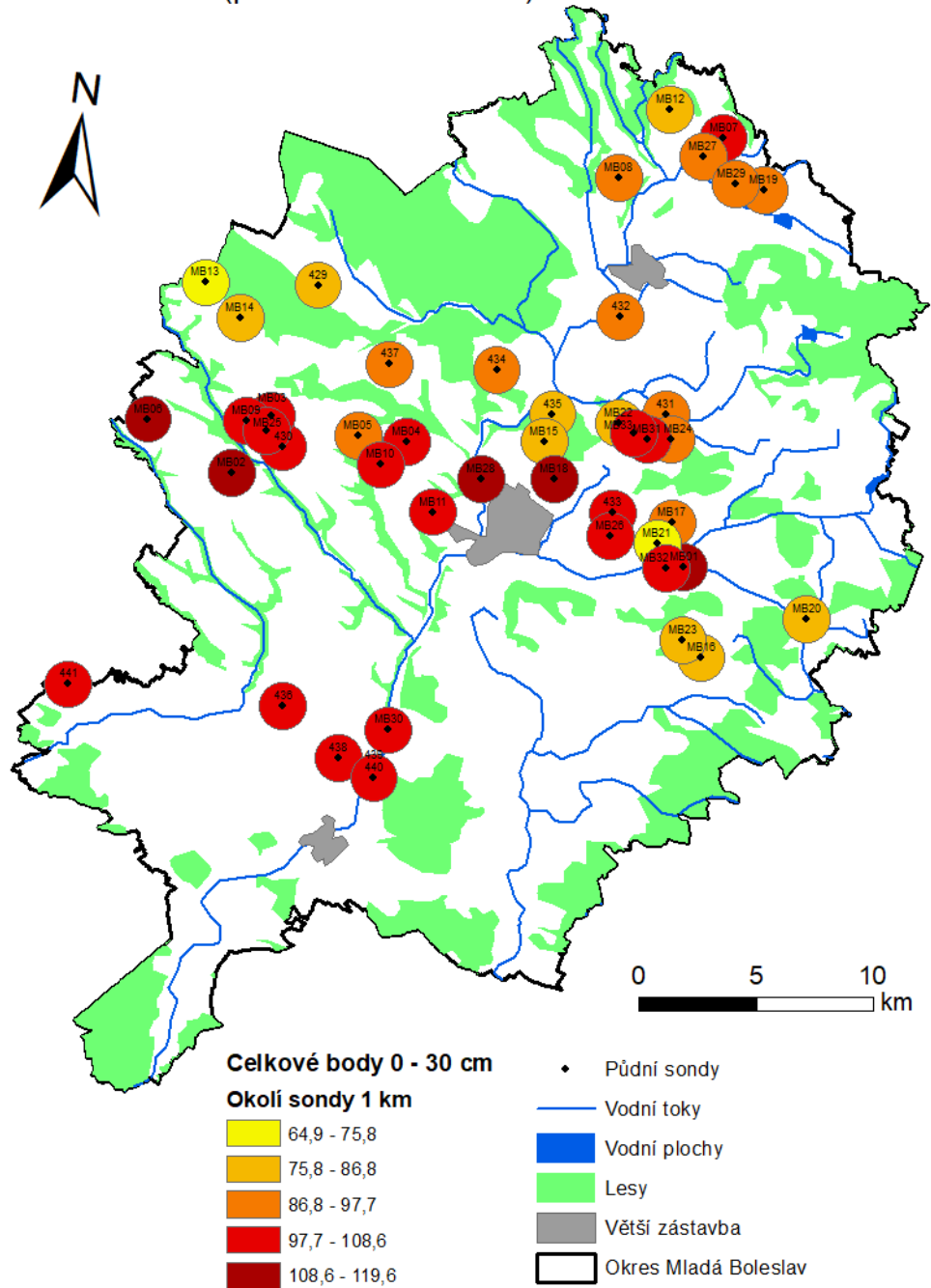
Výsledné body pro produkční funkci půdy
Stabilní indikátory v hloubce od 30 do 60 cm



Obrázek 25. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 30 do 60 cm

5. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm

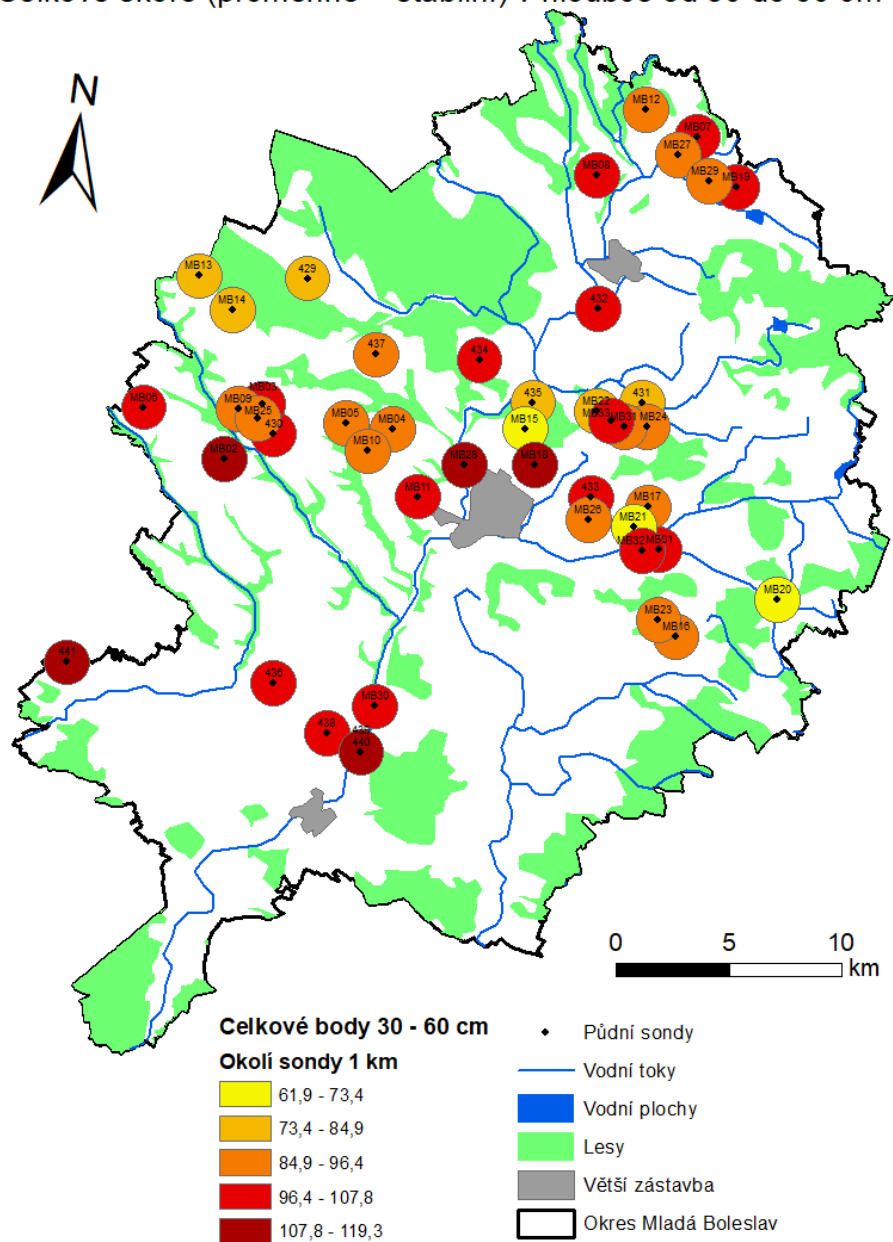
Výsledné body pro produkční funkci půdy
 Celkové skóre (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm



Obrázek 26. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm

6. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 30 do 60 cm

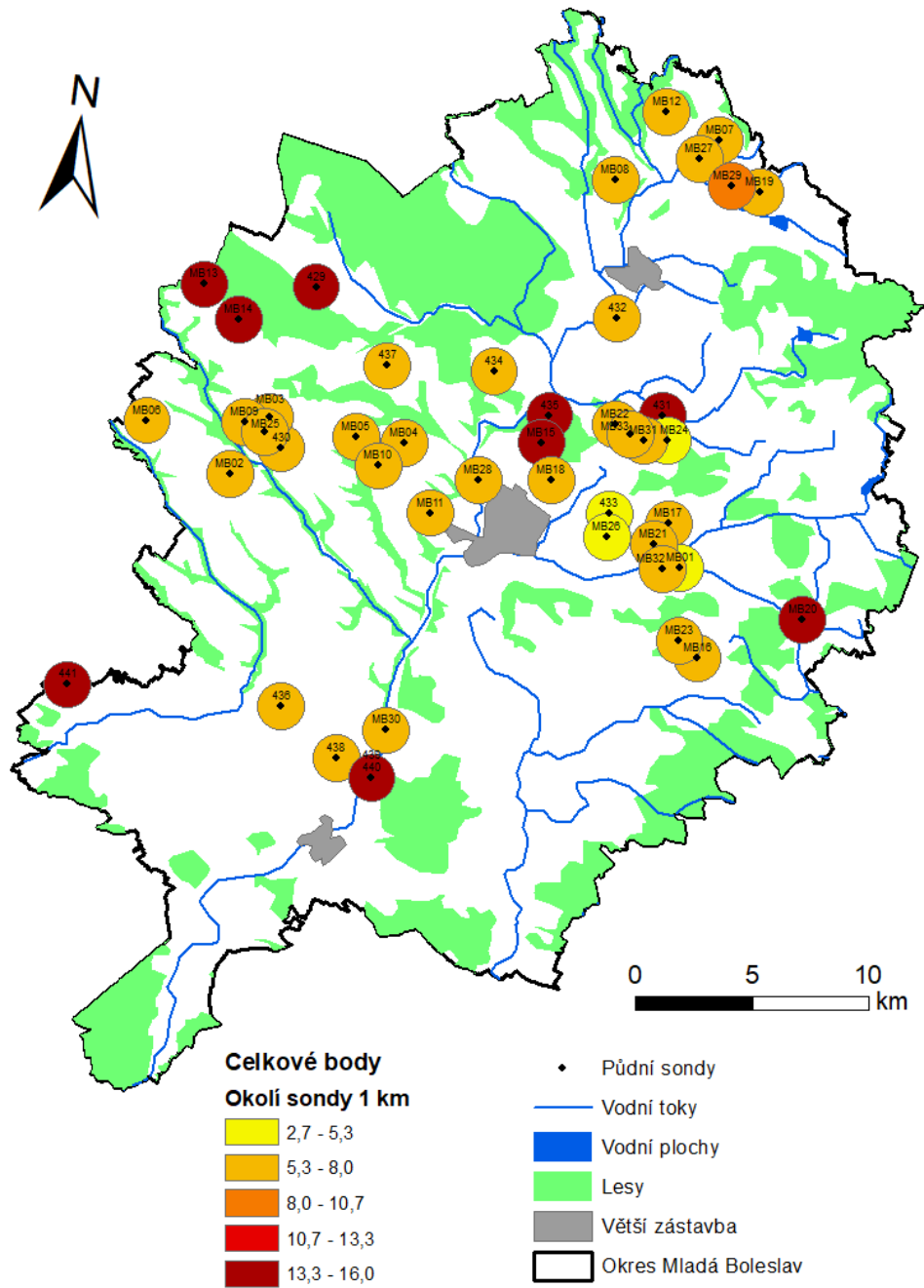
Výsledné body pro produkční funkci půdy
Celkové skóre (proměnné + stabilní) v hloubce od 30 do 60 cm



Obrázek 27. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 30 do 60 cm

7. Mapa pro celkové bodové skóre mimoprodukčních indikátorů

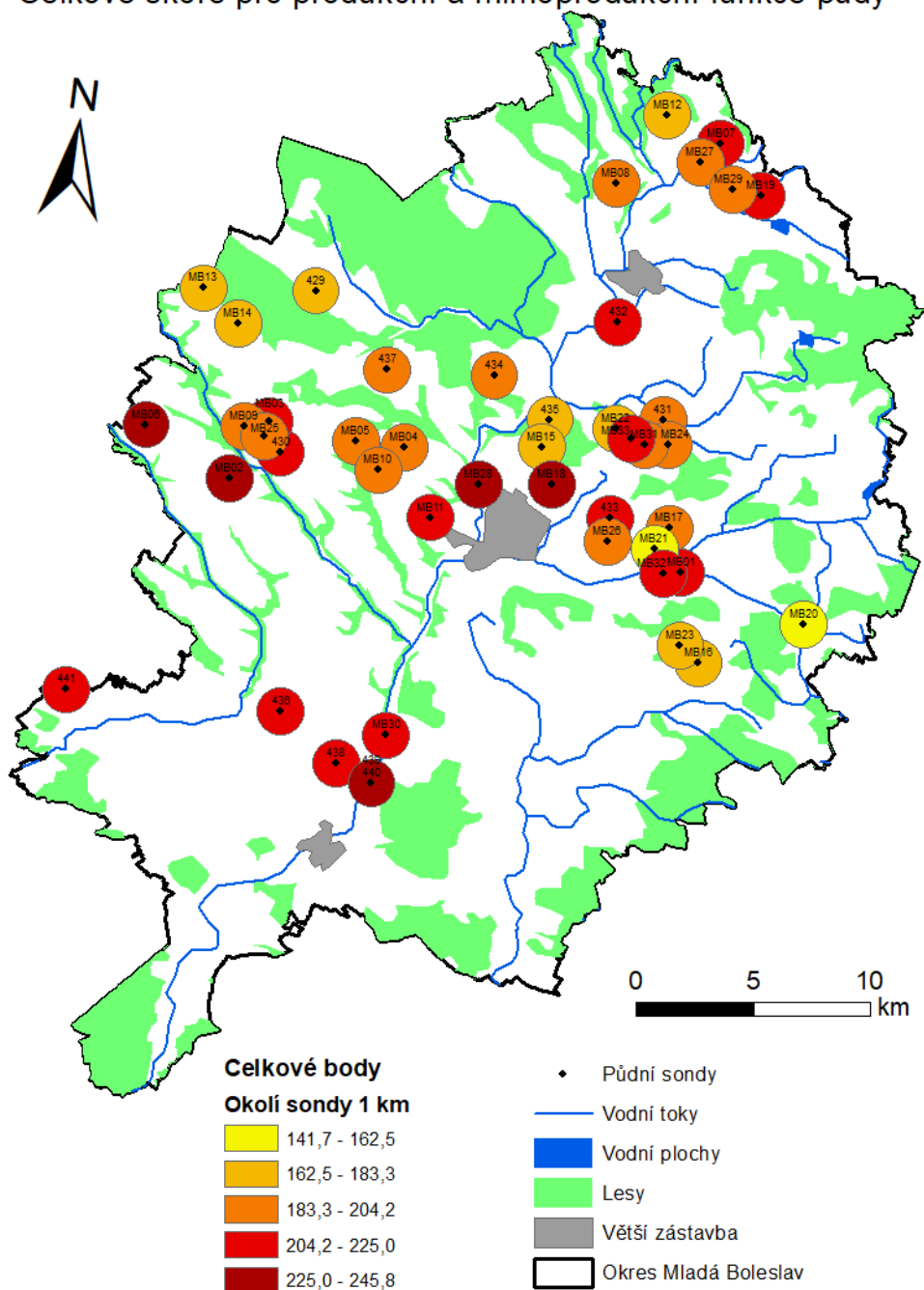
Výsledné body pro mimoprodukční funkci půdy



Obrázek 28. Mapa pro celkové bodové skóre mimoprodukčních indikátorů

8. Mapa pro celkovou hodnotu půdy (produkční + mimoprodukční)

Výsledné body pro celkovou hodnotu půdy
Celkové skóre pro produkční a mimoprodukční funkce půdy



Obrázek 29. Mapa pro celkovou hodnotu půdy (produkční + mimoprodukční)

Pomocí programu ArcMap (verze 10.4.) bylo vytvořeno celkem 8 map, které znázorňují celkové bodové hodnocení pro produkční i mimoprodukční funkce půdy, za účelem lepšího znázornění výsledných bodů v tabulkách.

Na obrázcích č. 22 a č. 23 jsou vyobrazeny mapy bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 0 do 30 cm a v hloubce od 30 do 60 cm, které ukazují nejvyšší

počet bodů ve východní části okresu Mladá Boleslav, v blízkosti okresního města Mladá Boleslav. Jedná o půdní sondy s označením MB31 (47 bodů), MB32 (46 bodů), 433 (45 bodů) a MB33 (42 bodů), které jsou všechny půdním typem černice – viz Tabulka 11. Černice patří mezi nejlepší půdy světa z hlediska úrodnosti a po odvodnění jsou velmi úrodným půdním typem vhodným například k pěstování zeleniny či cukrovky. Z hlediska porovnání hloubek vykazují větší hodnoty půdní sondy v hloubce od 0 do 30 cm. Je to dáno především vyšším obsahem humusu.

Na obrázcích č. 24 a č. 25 jsou vyobrazeny mapy bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm a v hloubce od 30 do 60 cm, které ukazují nejvyšší počet bodů především v západní části okresu Mladá Boleslav, v blízkosti okresního města Mladá Boleslav. Jedná o půdní sondy s označením MB01 (80 bodů), MB02 (80 bodů), MB06 (82 bodů) a MB11 (80 bodů), které jsou převážně půdním typem hnědozemě – viz Tabulka 11. Hnědozemě patří k nejlepším obilnářským půdám, které vykazují vysokou agronomickou hodnotou. Tyto výsledky jsou potvrzeny především vysokým bodovým ohodnocením zrnitosti. Zrnitost značně ovlivňuje kvalitu půdy a její úrodnost. Vysoký obsah jílu v půdách je zemědělsky málo využívány, protože málo propouští vodu a půdy jsou málo provzdušněné. Půdní sondy s nejvyšším počtem bodů stabilních indikátorů vykazují menší hodnoty % zastoupení jílovitých částic – viz příloha č. 1.

Stabilní indikátory dosahují vyšších hodnot oproti produkčním proměnných indikátorů.

Na obrázcích č. 26 a č. 27 jsou vyobrazeny mapy bodů pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm a v hloubce od 30 do 60 cm. Nejvyšší počet bodů vykazují půdní sondy s označením MB18 (113 bodů), MB02 (118 bodů) a MB28 (115 bodů), které jsou v těsné blízkosti města Mladá Boleslav. Půdní sonda MB18 se vyznačuje půdním typem rendzina, která bývá méně úrodná. MB18 však vyazuje vysokým bodovým ohodnocením stabilních produkčních indikátorů – skeletu, expozice a sklonitosti a vyšším bodovým ohodnocením proměnných produkčních indikátorů – obsah draslíku, celková sorpční schopnost a nasycenost sorpčního komplexu bazickými kationty. Rendziny jsou známy svým nedostatek živin, především draslíku a fosforu a skeletovitosti nad 30 %. Proto jsou výsledky překvapující. Půdní sonda MB02 vyazuje půdní typ hnědozem a MB28 půdní typ fluvizem.

Na obrázku č. 28 je vyobrazena mapa pro celkové bodové skóre mimoprodukčních indikátorů. Nejvyšší bodové ohodnocení mají půdní sondy s označením 439 a 440 (16 bodů) s půdním typem fluvizem. Půdní sondy se vyznačují hydrologickou skupinou A, tedy půdou s vysokou rychlostí infiltrace. Z toho plyne, že z hlediska mimoprodukčních funkcí půdy tyto půdní sondy znázorňují správné výsledky.

Na obrázku č. 29 je vyobrazena mapa pro celkovou hodnotu půdy (produkční + mimoprodukční funkce půdy). Nejvyšší bodové ohodnocení má půdní sonda s označením MB02 (241 bodů) s půdním typem hnědozem a vykazovala nejlepší výsledky pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) – viz obrázky č. 26 a č. 27. Další půdní sondy s vysokým bodovým ohodnocením jsou 439 (239

bodů) a MB28 (233 bodů) s půdním typem fluvizem. Fluvizemě patří k velmi úrodným půdám. Půdní sonda s označením 439 byla vyhodnocena jako nejlepší v celkovém bodovém skóre mimoprodukčních indikátorů. Půdní sonda s označením MB28 byla vyhodnocena jako jedna z nejlepších v celkovém bodovém skóre pro produkční indikátory.

6. Diskuze

V roce 1985 byla provedena metoda bodového hodnocení produkčního potenciálu BPEJ týmem odborníků, kterou získali z provedeného ekologicko-půdního mapování. Toto hodnocení upřesnilo a doplnilo poznatky o půdě o soubor stanovištních podmínek. Hodnocením získali odborníci celkové body pro půdu, sklonitost, skeletovitost a hloubku půdy. Bodové hodnoty produkčního potenciálu byly seřazeny do následujících tříd – viz Tabulka 21. (Němeček a kol., 1985)

Třída	Charakteristika	Počet bodů
I.	vysoce produkční půda se stabilizovanými výnosy	100-96
II.	vysoce produkční půda	95-90
III.	velmi produkční půda	89-80
IV.	produkční půda	79-70
V.	středně produkční půda	69-60
VI.	méně produkční půda	59-50
VII.	málo produkční půda	49-38
VIII.	velmi málo produkční půda	37-25
IX.	produkčně málo významná půda	24-11
X.	produkčně nevýznamná půda	<10

Tabulka 24. Bodové hodnoty tříd produkčního potenciálu (Němeček a kol., 1985)

Tyto hodnoty lze porovnat s našimi výslednými body produkční funkce půdy, získané pomocí Saatyho metody.

Největší hodnoty produkční funkce půdy vykazují půdní sondy s označením MB02 (118 bodů), MB18 (110 bodů) a MB28 (112 bodů) které se podle tabulky č. 21 (Němeček a kol., 1985) vykazují jako vysoce produkční se stabilizovanými výnosy. Jedná se převážně o půdní sondy s půdním typem fluvizemě, které se řadí k velmi úrodným půdám.

Nejnižší hodnoty produkční funkce půdy vykazují půdní sondy s označením MB20 (62 bodů), MB21 (70 bodů), MB15 (72 bodů), MB22 (77 bodů), 435 (77 bodů), které se podle tabulky č. 21 (Němeček a kol., 1985) jeví jako středně produkční půdy. Jedná se o převážně o kambizemě, ale také černice nebo regozemě.

Zdaleka nejvyšší hodnotu pro produkční i mimoprodukční funkci půdy vykazuje půdní sonda MB02 s 241 body, která se nachází v západní části okresu Mladá Boleslav s využitím jako orné půdy. Půdním typem je hnědozem, která bývá pro hospodaření velmi kvalitní a bývá využívána zemědělsky, například pro pěstování obilovin a řepy. Půdní sonda se dle kódu BPEJ (VÚMOP, 2019) nachází na rovině, bez významného skeletu, s hlubokou půdou, střední rychlostí infiltrace vody, velkou bodovou výnosností a spadající do I. třídy ochrany půd. Z těchto údajů je zřejmé, že výsledné bodové

hodnocení podle Saatyho metody odpovídá kvalitě půdy a současnému hodnocení dle BPEJ.

Zdaleka nejnižší hodnotu pro produkční i mimoprodukční funkci půdy vykazují půdní sondy MB21 s 150 body a MB20 s 154 body, které se nachází ve východní části okresu Mladá Boleslav. Půdním typem sondy MB21 je pseudoglej a dle kódu BPEJ (VÚMOP, 2019) se půdní sonda vyskytuje na rovině, s celkovým obsahem skeletu do 10 %, nízkou rychlostí infiltrace, střední retenční vodní kapacitou, půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité. Z těchto údajů lze posoudit, že výsledné bodové hodnocení podle Saatyho metody odpovídá kvalitě půdy a současnému hodnocení dle BPEJ.

Půdním typem sondy MB20, která vykazuje nejlepší výsledky, je regozem, která málo zadržuje vodu, trpí nedostatkem živin, mívá kyselé pH a bývá vysychavá. Dle kódu BPEJ (VÚMOP, 2019) se půdní sonda vyskytuje v mírném sklonu, téměř bez skeletu, s hlubokou půdou, vysokou rychlostí infiltrace, nízkou retenční vodní kapacitou, s obsahem štěrku a písků, velmi nízkou produkční bodovou výnosností a ve IV. třídě ochrany půd. Z těchto údajů lze posoudit, že výsledné bodové hodnocení podle Saatyho metody odpovídá kvalitě půdy a současnému hodnocení dle BPEJ.

Co se týče vzájemného porovnání produkční a mimoprodukční funkce, tak půdní sondy, které dosáhly nejvyššího bodového hodnocení u produkční funkce půdy – MB02, MB18 a MB28, vykazují nízké bodové hodnocení mimoprodukční funkce půdy. Naopak půdní sondy, které dosáhly nejnižšího bodového hodnocení u produkční funkce půdy – MB20, MB15, 435, vykazují vysoké bodové hodnocení mimoprodukční funkce půdy. Z toho lze soudit, že je zde vzájemný vliv mezi produkční a mimoprodukční funkcí půdy.

Na začátku práce nebyla provedena korelační ani regresní matice, jelikož hodnocené půdní charakteristiky jsou na sobě nezávislé a vzájemně nekorelují. Například VÚMOP uvádí, že není větší korelace mezi retenční vodní kapacitou a hydrologickou skupinou půd (tento názor byl odborně ověřen profesorem Kozákem z ČZU).

Piccolo (1996) uvádí, že na kvalitu půdy nejvíce působí její fyzikální a chemické vlastnosti, které jsou navzájem propojené a ovlivňují se mezi sebou. Největší vliv na „kvalitu půdy“ má obsah humusu, zrnitost a objemová hmotnost. Humusové látky jsou zodpovědné za agregaci půdy v přírodním a zemědělském prostředí. Ochrana a vylepšení humusu v půdě má příznivé účinky na zásobování rostlinnými živinami, strukturu půdy, stlačitelnost a schopnost zadržovat vodu. V porovnání s výsledky práce lze toto rčení potvrdit.

Chaudhari (2013) uvádí, že objemovou hmotnost půdy lze využít jako ukazatel zhutnění půdy, která ukazuje určitý pohled na fyzikální stav půdy. Objemová hmotnost půdy je dynamická vlastnost, která se mění s půdními strukturálními podmínkami. Obecně se zvyšuje s hloubkou profilu v důsledku změn v obsahu organické hmoty, pórovitosti a zhutnění. Dle článku od Chaudhari (2013) a kolektivu nemá objemová hmotnost vliv na pH, ale má vliv na množství organické hmoty. Výsledky práce ukázaly,

že půdní sondy s vysokým bodovým ohodnocením mají rovněž vysoké bodové ohodnocení humusu. V porovnání hloubek půdního profilu ukázala práce o něco málo vyšší bodové ohodnocení u hloubky 30 až 60 cm než u hloubky 0 až 30 cm.

Prax (1995) uvádí, že zrnitost má vliv na průběh pedogenetických procesů, ale také se podílí na agronomické a ekologické charakteristice půdy. Určuje rychlost odtoku vody při nasycení půdy vodou. Voda protéká rychleji v písčitéch půdách než v jílovitých. Zrnitost ovlivňuje také množství vody dostupné pro rostliny nebo obsah organické hmoty v půdě. Čím má půda více jílu, tím větší je množství půdní organické hmoty. Obsah jílu a půdní organické hmoty ovlivňuje kationtovou výměnnou kapacitu (KVK) a pufrací schopnost půd (schopnost půd vyrovnávat kolísání pH). Na základě zrnitosti se rozlišují půdy podle náchylnosti k erozi (erodovatelnosti). Jílovité půdy lépe erodují než například půdy písčité (za stejných podmínek). Z výsledků práce je zřejmé, že obsah jílu ovlivňuje retenční vodní kapacitu.

Změny ve využívání půdy a ztráta funkcí půdy zhoršující kvalitu životního prostředí v městských oblastech patří mezi environmentální rizika, která dosud nejsou adekvátně řešena. Ve většině měst ve střední Evropě je k dispozici značné množství údajů o kvalitě půdy a jejích různých funkcích. Doposud však neexistuje žádná společná strategie městského plánování, která by řešila potřebu ochrany půdního prostředí jako kritického prvku kontrolujícího funkce městského ekosystému. Masivní spotřeba cenných půd městskou strukturou vede k dramatické ztrátě biologické rozmanitosti, retenčních a vyrovnávacích funkcí a celkové kvality života městského obyvatelstva. Je naléhavě nutné vyvinout městský systém hospodaření s půdou doprovázený nástroji na podporu rozhodování pro analýzu scénářů a hodnocení dopadů různých možností plánování na půdu. Dnes je stále velmi malé povědomí veřejnosti o půdních problémech jako o klíčovém prvku městského ekosystému. Za hlavní příčinu dosud nezohlednění aspektů souvisejících s půdou v územním plánování bylo označeno chybějící povědomí kvůli nízké míře znalostí o funkční roli půd. Těmito problémy se zabývá projekt SMS URBAN (Urban Soil Management Strategy), který se zaměřuje na optimalizaci využití půdy v městských oblastech zachováním přírodního bohatství zdrojové půdy bez omezení hospodářského rozvoje (EUGRIS, 2009). Práce, která je součástí projektu, na tento problém navazuje a snaží se najít lepší způsob v oceňování přírodních zdrojů, který by přispěl k lepší ochraně půd.

Prvotní součástí projektu byla diplomová práce jiného autora v roce 2020, která se zabývala zhodnocením kvality půd na území Středočeského kraje. Toto téma bylo rozvinuto i v této diplomové práci, kde byla využita jiná metoda hodnocení kvality půdy prostřednictvím indikátorů. V této diplomové práci se hodnotí o něco větší počet půdních charakteristik (indikátorů) s určením jejich vah a přiřazuje se větší škála bodů, než tomu bylo v práci z roku 2020.

Práce z roku 2020 nerozlišuje v metodice produkční a mimoprodukční funkce a výsledky jsou stanoveny výpočtem průměrného a celkového bodového hodnocení jednotlivých lokalit a stanovením celkové sumy bodů.

Středočeský kraj je v kvalitě půdy značně variabilní, jelikož v severní části kraje jsou půdy úrodnější než v části jižní. V případě této práce se jedná o dobré výsledky z hlediska úrodnosti, jelikož se okres Mladá Boleslav nachází v severní části kraje. Je to dáno především půdně-klimatickými podmínkami, a v důsledku toho zastoupením půdních typů, které se zde nachází. Nejvíce jsou zde zastoupeny černozemě, černice a hnědozemě, které se vyznačují jako vysoce úrodné půdní typy.

V práci používáme metodu, která je aplikována pro přírodní zdroje, například v pracích profesora Šauera, který je uveden v úvodní části práce. Je zde samozřejmě možná subjektivita, co se týče stanovení vah jednotlivých indikátorů. V případě diplomové práce se jedná o tzv. pozitivní subjektivitu, jelikož tyto výsledky jsou odborně podloženy. Například v Delphi metodě (Okoli, 2004) je také určitá subjektivita posuzovatelů, ale k tomuto typu hodnocení bezesporu patří. Tato práce se snaží nalézt metodu, která není tolik závislá na lidech – expertních názorech a bude generovat výsledky pro použití v praxi. Cílem práce je určitá inovace v oceňování přírodních zdrojů, jelikož aplikace této metody na půdu není běžně používána v praxi. Jak již zmiňovala případová studie Talukdera a kol. (2017), tak v každém hodnocení založeném na MCA je váha kritérií velmi subjektivní. Aby se tomu zabránilo, je užitečnou alternativou vyloučení kritérií založených na objektivních referenčních hodnotách – viz Obrázek 11.

Hypotéza, která byla definována v úvodu práce, byla potvrzena. Jednalo se o tvrzení, že Saatyho metoda je vhodná pro hodnocení kvality půdy.

Již v roce 2014 Vackář et al. navrhli metodu integrovaného hodnocení ekosystémových služeb a snažili se ocenit ekosystémové služby poskytované v České republice. Studie hodnotí ekosystémové služby na základě indikátorů týkající se zásobování, regulační a kulturní funkce. Výsledkem byla mapa, která umožnila zkonstruovat prostorové rozložení hodnot ekosystémových služeb a jejich souhrnnou hodnotu v České republice. Tato diplomová práce hodnotila ekosystémové služby na základě indikátorů kvality půd, aby bylo možné nalézt nový a lepší způsob v oceňování přírodních zdrojů.

7. Závěr

Diplomová práce se zabývala hodnocením ekosystémových služeb půdy v okrese Mladá Boleslav prostřednictvím indikátorů kvality půdy.

Hodnocení bylo založeno na Saatyho metodě, která koresponduje se současným trendem oceňování přírodních zdrojů. Pro hodnocení byl použit program Microsoft Office Excel. Hodnocení bylo provedeno pro produkční a mimoprodukční funkce půdy. Indikátory pro produkční funkci půdy byly rozděleny na dvě skupiny – proměnné a stabilní, které jsou uvedeny pro jednotlivé půdní sondy v hloubkách 0-30 cm a 30-60 cm od povrchu. Každé hodnotě pro konkrétní půdní sondu byl přiřazen bod podle bodové stupnice, stanovené na základě optimálních škál hodnot, uvedených ve vyhláškách nebo jiných odborných materiálech (např. Sáňka). Každý indikátor bylo nutné, pomocí Saatyho matice párového srovnání, porovnat mezi sebou a určit geometrické průměry a váhy všech indikátorů. Výsledkem jsou body, které nám určují hodnotu půdy. Z celkového bodového hodnocení jsou vykresleny mapy.

Nejvyšší počet získaných bodů pro celkovou hodnotu půdy okresu je půdní sonda s označením MB02 (241 bodů), která se vyskytuje na západ od města Mladá Boleslav, s půdním typem hnědozem, která bývá často zemědělsky využívána pro pěstování obilovin nebo řepy. Naopak nejnižší počet získaných bodů pro celkovou hodnotu půdy vykazuje půdní sonda s označením MB21 (150 bodů), která se vyskytuje na východ od města Mladá Boleslav, s půdním typem pseudoglej, který bývá dlouhodobě zamokřen a půdy jsou zde méně úrodné, využívané především jako louky. Z toho plyne, že výsledky korespondují se současnými poznatky o půdních typech.

Cílem práce bylo nalézt nový a lepší způsob v oceňování půdy, který se zdá být účinný a v praxi použitelný pro další studie, zaměřující se například na určení hodnoty půdy podle stanovených bodů nebo pro upřesnění kritérií stanovení tříd ochrany půd. Současné metody se více zaměřují na expertní názory, kdežto metoda této diplomové práce se snaží subjektivitu posouzení eliminovat.

Práce je součástí projektu, který se snaží ohodnotit zemědělskou půdu a nastavit nový systém hodnocení z komplexního hlediska, který zahrnuje i mimoprodukční funkce půdy. Starší systémy hodnocení zahrnují pouze produkční funkce půdy.

V úvodu této práce byla definována hypotéza, která předpokládala, že Saatyho metoda je vhodná pro hodnocení kvality půdy. Výsledky práce tuto hypotézu potvrdily.

Výsledné mapy, vytvořené v programu ArcGIS verze 10.4., přehledně vykreslují oblasti půd dle kvality.

V současné době Česká republika čelí velkým záborům kvalitní půdy, je proto nutné nastavit nový metodologický přístup oceňování půdy, který by přiměl společnost se na půdu dívat jako na vzácný přírodní neobnovitelný zdroj.

8. Seznam použité literatury

- 1) AMOROCHO-DAZA, Henry. 2019. A New Multi-Criteria Decision Analysis Methodology for the Selection of New Water Supply Infrastructure. *Water* 11:1-23.
- 2) ARTMANN M. 2014a. Institutional efficiency of urban soil sealing management from raising awareness to better implementation of sustainable development in Germany. *Landscape and Urban Planning*. **131**:83–95.
- 3) ARTMANN M. 2014b. Assessment of soil sealing management responses, strategies and targets towards ecologically sustainable urban land use management. *Ambio*. **43**:530–541.
- 4) BOUMA, J. 2014. Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **177**:111–120.
- 5) BOUMA, J., Droogers, P., Sonneveld, M. P. W., Ritsema, C. J., Hunink, J. E., Immerzeel, W. W., Kauffman, S. 2011a. Hydropedological insights when considering catchment classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **15**:1909–1919.
- 6) BOUMA, J., van Altvorst, A. C., Eweg, R., Smeets, P. J. A. M., van Latesteijn, H. C. 2011b. The role of knowledge when studying innovation and the associated wicked sustainability problems in agriculture. *Adv. Agron.* **113**:285–314.
- 7) CULEK, Martin. 2013. Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 978-80-210-6693-9.
- 8) ČERNÝ, Martin a Dagmar GLÜCKAUFOVÁ. 1982. Vícekriteriální vyhodnocování v praxi. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- 9) ČERNÝ, Jindřich. 2019. Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam. Agromanual.cz, Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam> (accessed March 2021).
- 10) Česká geologická služba. 2002. Geologická mapa České republiky 1: 50 000. Praha. Available from http://mapy.geology.cz/geocr_50/ (accessed March 2021).
- 11) DENMAN et al. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. *Climate Change*. Cambridge University Press, UK, New York, USA. 499–587.
- 12) DROBNIK, T., Greinerb, L., Kellerb, A., Grêt-Regameya, A. 2018. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*. **94**:151–169.
- 13) eKatalog BPEJ. 2019. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha-Zbraslav. Available from <https://bpej.vumop.cz/> (accessed March 2021).
- 14) EUGRIS. 2009. URBAN SMS Urban Soil Management Strategy. EUGRIS: portal for soil and water management in Europe. Available from <http://www.eugris.info/DisplayProject.asp?ProjectID=4743> (accessed February 2021).

- 15) FIALA P., Jablonský J., Maňas M. 1994. Vícekriteriální rozhodování. VŠE, geologický ústav, Praha. ISBN 80-707-5403-6.
- 16) HASSON, F., Keeney, S., McKenna, H. 2000. Research guidelines for the Delphi survey technique. *J. Adv. Nurs.* **32**:1008–1015.
- 17) HRUŠKA, Lubor a Vítězslav ZAMARSKÝ. 2013. Metodika hodnocení dopadů politik ochrany životního prostředí. Technologická agentura ČR, Ostrava. Available from https://www.tacr.cz/dokums_raw/metodiky/TB010MZP055_metodika.pdf (accessed January 2021).
- 18) Český statistický úřad. 2020. Charakteristika okresu Mladá Boleslav: stav ke dni 5. února 2020. Praha. Available from https://www.czso.cz/csu/xs/charakteristika_okresu_mlada_boleslav (accessed January 2021).
- 19) CHAUDHARI, Pravin. 2013. Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications, Indie.* **3**:50-58.
- 20) JAISWAL, R.K. 2015. Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) for Watershed Prioritization. *Aquatic Procedia.* **4**:1553-1560.
- 21) JANDÁK, J., POKORNÝ E. a PRAX A. 2010. Půdoznalství. Mendelova univerzita v Brně, Brno. ISBN 978-80-7375-445-7.
- 22) JANEČEK, Miloslav a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. 2012. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- 23) JANIKOWSKI, R., Kucharski, R. & Sas-Nowosielska, A. 2000. Multi-Criteria and Multi-Perspective Analysis of Contaminated Land Management Methods. *Environ Monit Assess.* **60**:89–102.
- 24) JANKŮ J, Jakšík O, Kozák J, Marhoul AM. 2016a. Estimation of land loss in the Czech Republic in the near future. *Soil and Water Research* **11 (3)**:155–162.
- 25) JANKŮ J, Sekáč P, Baráková J, Kozák J. 2016b. Land use analysis in terms of farmland protection in the Czech Republic. *Soil and Water Research* **11 (1)**:20-28.
- 26) JANKŮ, Jaroslava. 2019. Půda a legislativa. Česká technologická platforma pro zemědělství, Praha. Available from <https://www.ctpz.cz/vyzkum/puda-a-legislativa-866> (accessed December 2020).
- 27) KALINOVÁ, Jana. 2007. Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství: odborná monografie. Jihočeská univerzita a Zemědělská fakulta, České Budějovice. ISBN 978-80-7394-029-4.
- 28) KOSÁNOVÁ, Markéta. 2020. Použití indikátorů kvality půd pro posouzení jejich produkčních a ekologických funkcí [Ing. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- 29) KOZÁK J, Němeček J, Borůvka L, Lérová Z, Němeček K, Kodešová R, Janků J, Jacko K, Hladík J, Zádorová T. 2009. Atlas půd České republiky. 2. upravené vydání. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- 30) KULOVANÁ, Eliška. 2001. Produkční a mimoprodukční funkce půdy a její ochrana. Uroda.cz, Praha. Available from <https://www.uroda.cz/produkcni-a-mimoprodukcn-funkce-pudy-a-jeji-ochrana/> (accessed December 2020).
- 31) KUTÍLEK, Miroslav. 1978. Vodohospodářská pedologie. SNTL, Praha.
- 32) LÖW, Jiří a Igor MÍCHAL. 2003 Krajinný ráz. 1. vyd. Lesnická práce, Kostelec nad černými lesy. ISBN 80-86386-27-9.
- 33) MEA, 2003. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Millenium Ecosystem Assessment, Washington D.C.
- 34) MCCAULEY, Ann. 2017. Soil pH and Organic Matter. Nutrient Management, Montana, USA. 8:4449-4465. Available from <https://landresources.montana.edu/nm/documents/NM8.pdf> (accessed December 2020).
- 35) MCCLAUGHERTY, Charles. 2001. Soils and Decomposition. Geneseo, USA.
- 36) MIHÁLIKOVÁ, Markéta a Orhan DENGIZ. 2019. Towards more effective irrigation water usage by employing land suitability assesment for various irrigation techniques. Irrigation and Drainage. **68**:617-628.
- 37) Ministerstvo zemědělství. 2016. Strategie resortu ministerstva zemědělství České republiky s výhledem do roku 2030. Praha. Available from http://eagri.cz/public/web/file/460683/_460659_683669_Strategie_resortu_ministerstva_zemedelstvi_s_vyhledem_do_2030.pdf (accessed April 2021).
- 38) Ministerstvo životního prostředí. 2008. Definice, význam a funkce půdy. Praha. Available from [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf) (accessed April 2021).
- 39) MITCHELL D., Enemark S., Van der Molen P. 2015. Climate resilient urban development: Why responsible land governance is important. Land Use Policy. **48**:190–198.
- 40) Nabídka mapových a datových produktů – Hydrologické charakteristiky. 2013. VÚMOP, Praha 5 – Zbraslav. Available from https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_hydrologicke_c_harakteristiky.pdf (accessed January 2021).
- 41) NĚMEČEK, J. a kol. 1967. Průzkum zemědělských půd ČSSR (Souborná metodika). 1 díl. MZVŽ.
- 42) NĚMEČEK, Jan. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. uprav. vyd. Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 978-80-21321-557.
- 43) NOVÁK, Pavel. 2010. Assessment of the Soil Quality as a Complex of Productive and Environmental Soil Function Potentials. Soil & Water Res. **5 (3)**:113-119.
- 44) OLBRICHOVÁ A. 2008. Crop versus concrete. Economist, **52**:46–49.
- 45) OKOLI, C., Pawlowski, S.D. 2004. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. Inform. Manage. **42**:15–29.
- 46) PAVEL, L. a kol. 1984. Geologie a půdoznaectví. VŠZ Praha, 280 s.
- 47) PICCOLO, A. 1996. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Elsevier Science. ISBN 9780444815163.

- 48) POLÁŠKOVÁ, Anna a kol. 2011. Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí. Karolinum, Praha.
- 49) PRAX, Alois, JANDÁK, Jiří a POKORNÝ, Eduard. 1995. Půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. ISBN 8071571458.
- 50) PRIMACK, Richard B., KINDLMANN, Pavel a JERSÁKOVÁ, Jana. 2011. Úvod do biologie ochrany přírody. Portál, Praha. ISBN 978-80-7367-595-0.
- 51) PURTON, Kendra. 2015. Will changes in climate and land use affect soil organic matter composition? Evidence from an ecotonal climosequence. *Geoderma*. **253-254**:48-60
- 52) RENGEL, Zdenko. 2011. Soil pH, Soil Health and Climate Change. *Soil Biology*. **29**:69–85.
- 53) RICHTER, Rostislav. 2004. Tuhá fáze půdy – organický podíl: Humifikované organické látky. Ústav agrochemie a výživy rostlin, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/ol_humifikovane.htm (accessed January 2021).
- 54) RIZA, Samir Pur. 2012. Application saaty pair comparisons method to the investments distribution in parameters of ecological sustainability. IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI), Azerbaijan. 12-14.
- 55) ROSS, Donald. 2011. Recommended Methods for Determining Soil Cation Exchange Capacity. *Cooperative Bulletin*. **493**:75-86.
- 56) SAATY, Thomas. 2006. Decision Making with the Analytic Network Process. Springer, Pittsburgh, USA. ISBN 978-0387338590.
- 57) SÁŇKA, Milan a Jan MATERNA. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- 58) SÁŇKA, Milan, Radim VÁCHA, Šárka POLÁKOVÁ a Přemysl FIALA. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Ministerstvo životního prostředí, Praha. ISBN 978-80-7212-627-9.
- 59) SEJÁK, Josef. 2010. Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem. ISBN 978-80-7414-235-2.
- 60) SEKAC, Tingneyuc. 2016. A GIS Based Approach into Delineating Liquefaction Susceptible Zones Through Assessment of Site-Soil-Geology-A Case Study of Madang and Morobe Province in Papua New Guinea (PNG). *IJRSET*, Nová Guinea. **5**:6616-6629.
- 61) SEZIMA, Tomáš. 2018. Vybrané metody hodnocení životního prostředí. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Available from <https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2018/12/5987-VTEI-Vybrane-metody-hodnoceni-zivotniho-prostredi.pdf> (accessed March 2021).
- 62) STRAKA, Josef. 2009. Práce s půdou. Skripta. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
- 63) Strategie resortu Ministerstva zemědělství České republiky s výhledem do roku 2030. 2016. Ministerstvo zemědělství, Praha. ISBN 978-80-7434-356-8.

- 64) ŠANTRŮČKOVÁ, Hana. 2014. Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- 65) ŠARAPATKA, B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- 66) ŠAUER, Petr. 2007. Kapitoly z environmentální ekonomie a politiky i pro neekonomy. Centrum pro otázky životního prostředí. Univerzita Karlova, Praha. ISBN 978-80-87076-06-4.
- 67) ŠIMEK, Miloslav. 2020. Živá půda 1. Kdo v půdě žije? Časopis ŽIVA.
- 68) ŠIMEK, Miloslav. 2003. Základy nauky o půdě. 1. Neživé složky půdy. JČ Univerzita, České Budějovice.
- 69) TALUKDER, Byomkesh. 2017. Elimination Method of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A Simple Methodological Approach for Assessing Agricultural Sustainability. *Sustainability*. **9** (2):1-17.
- 70) TOMÁŠEK, Milan. 2014. Půdy České republiky. 5., upr. a dopl. vyd. Česká geologická služba, Praha. ISBN 978-80-7075-861-8.
- 71) URBAN, Jiří. 2003. Ekologické zemědělství. Available from https://orgprints.org/id/eprint/21924/26/Ekologie_05.pdf (accessed March 2021).
- 72) VACKÁŘ, David. 2014. Integrated assessment of ecosystem services in the Czech Republic. *Ecosystem Services*.
- 73) VANĚK, Václav a kolektiv. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha. ISBN 978-80-86726-25-0.
- 74) VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík. 2006. Humus – půda – rostlina. *Biom.cz*, Teplice. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda> (accessed March 2021).
- 75) Vzdělávací manuál pro hodnocení dopadů regulace (RIA). 2007. Úřad vlády České republiky. Available from <https://ria.vlada.cz/wp-content/uploads/Vzdelavaci-manual-pro-RIA-UV-2017.pdf> (accessed March 2021).
- 76) ZÁDOROVÁ, Tereza a Vít PENÍŽEK. 2020. Základní půdní klasifikace I. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- 77) 334/1992 Sb. Zákon o ochraně zemědělského půdního fondu

9. Seznam použitých zkratek a symbolů

AHP	Analytický hierarchický proces
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
CULS	Czech University of Life Sciences Prague
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
EHP	Erozně hodnocené plochy
GIS	Geografický informační systém
HSP	Hydrologická skupina půd
KPOP	Katedra pedologie a ochrany půd
KPP	Komplexní průzkum půd
KVK	Kationtová výměnná kapacita
MB	Mladá Boleslav
MCA	Multikriteriální analýza
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
MZe	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OSN	Organizace spojených národů
RVK	Retenční vodní kapacita
TKSP	Taxonomický klasifikační systém půd ČR
UK	Univerzita Karlova
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
ZPF	Zemědělský půdní fond

10. Seznam obrázků

Obrázek 1. Vztah mezi ekosystémovými službami a lidským blahobytem, zdroj: časopis Vesmír, autor překladu: Ing. Jiří Dlouhý, UK.	10
Obrázek 2. Vznik a vývoj půdy (Kozák et al. 2009)	11
Obrázek 3. Průměrné zastoupení jednotlivých složek minerální hlinité půdy ve stavu příznivém pro růst rostlin, hodnoty jsou uvedeny v objemových procentech (Šimek, 2003).	11
Obrázek 4. Schéma složení pevné fáze půdy (Vaněk a kol., 2007).....	12
Obrázek 5. Zjednodušené rozdělení složek půdní organické hmoty (Černý a spol., 2019)	13
Obrázek 6. Oceňovací mapa ekosystémů v České republice (Vackář, 2014)	29
Obrázek 7. Cíle udržitelného rozvoje v grafickém znázornění (OSN).....	29
Obrázek 8. Rovnice SQUID indexu (Drobnik, 2018)	34
Obrázek 9. Rovnice BOKS indexu (Drobnik, 2018).....	34
Obrázek 10. Postup MCA (Úřad vlády České republiky, 2017)	37
Obrázek 11. Systém hodnocení jednotlivých kritérií (Sezima, 2018)	38
Obrázek 12. Obecný zápis Saatyho matice (Fiala, 1994)	39
Obrázek 13. Výpočet geometrického průměru (Fiala, 1994)	39
Obrázek 14. Výpočet vah jednotlivých řádkových prvků (Fiala, 1994).....	39
Obrázek 15. Hodnocení kritéria „vodní prostředí“ (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013)	42
Obrázek 16. Ukázka Paprskovitého grafu pro vyhodnocení environmentální oblasti (Hruška, a kol., Zamarský a kol., 2013)	42
Obrázek 17. Půdní sondy okresu Mladá Boleslav	50
Obrázek 18. Struktura kódu BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka) (Droben, 2015).....	57
Obrázek 19. Klasifikace zrnitosti dle Nováka	60
Obrázek 20. Středočeský kraj (oranžově) a okres Mladá Boleslav (červeně) (Wikipedia, 2011)	62
Obrázek 21. Půdní mapa Středočeského kraje a Prahy (MŽP).....	64
Obrázek 22. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 0 do 30 cm	81
Obrázek 23. Mapa bodů pro produkční proměnné indikátory v hloubce od 30 do 60 cm	82
Obrázek 24. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 0 do 30 cm ...	83
Obrázek 25. Mapa bodů pro produkční stabilní indikátory v hloubce od 30 do 60 cm .	84
Obrázek 26. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 0 do 30 cm.....	85
Obrázek 27. Mapa pro celkové bodové skóre produkčních indikátorů (proměnné + stabilní) v hloubce od 30 do 60 cm.....	86
Obrázek 28. Mapa pro celkové bodové skóre mimoprodukčních indikátorů.....	87
Obrázek 29. Mapa pro celkovou hodnotu půdy (produkční + mimoprodukční)	88

11. Seznam tabulek

Tabulka 1. Cíle udržitelného rozvoje (OSN)	32
Tabulka 2. Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné (příloha č. 5 k vyhl. č. 275/1998, ve znění pozdějších předpisů)	51
Tabulka 3. Hodnocení obsahu humusu (Sáňka, 2018)	52
Tabulka 4. Kategorizace retenční vodní kapacity (VÚMOP).....	53
Tabulka 5. Kritéria pro hodnocení hodnot celkové sorpční kapacity (T) a nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (V) (Sáňka, 2018).....	54
Tabulka 6. Kritéria hodnocení obsahu fosforu (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření	55
Tabulka 7. Kritéria hodnocení obsahu draslíku pro ornou půdu (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření	55
Tabulka 8. Kritéria hodnocení obsahu draslíku pro trvale travní porosty (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů) podle spektrofotometrického měření	56
Tabulka 9. Doporučené hodnoty měrné hmotnosti a pórovitosti (Kutílek, 1978).....	56
Tabulka 10. Klasifikace skeletovitosti (příloha č. 4 k vyhláše č. 327/1998 Sb., v platném znění)	59
Tabulka 11. Půdní jednotky a subtypy půdních sond v okrese Mladá Boleslav	68
Tabulka 12. Saatyho matice proměnných indikátorů produkční funkce půdy	69
Tabulka 13. Saatyho matice stabilních indikátorů produkční funkce půdy.....	70
Tabulka 14. Saatyho matice indikátorů mimoprodukční funkce půdy.....	70
Tabulka 15. Výpočet geometrický průměrů a vah pro proměnné indikátory produkční funkce půdy.....	70
Tabulka 16. Výpočet geometrický průměrů a vah pro stabilní indikátory produkční funkce půdy	71
Tabulka 17. Výpočet geometrický průměrů indikátory mimoprodukční funkce půdy ..	71
Tabulka 18. Hodnoty pro vytvoření intervalů výsledných bodů u tvorby map	74
Tabulka 19. Bodové ohodnocení dat produkční funkce půdy pro proměnné indikátory pro okres Mladá Boleslav.....	76
Tabulka 20. Bodové ohodnocení dat produkční funkce půdy pro stabilních indikátory pro okres Mladá Boleslav.....	77
Tabulka 21. Celkové bodové ohodnocení produkční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav	78
Tabulka 22. Celkové bodové ohodnocení mimoprodukční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav	79
Tabulka 23. Celková hodnota půdy (produkční + mimoprodukční funkce půdy pro okres Mladá Boleslav	80
Tabulka 24. Bodové hodnoty tříd produkčního potenciálu (Němeček a kol., 1985).....	91

12. Seznam příloh

Příloha 1. Bodová stupnice škály hodnot produkční funkce půdy pro proměnné indikátory (RVK = retenční vodní kapacita, V = nasycenost sorpčního komplexu, KVK = kationtová výměnná kapacita, P = fosfor, K = draslík, O = orná půda, TTP = trvale travní porost)	105
Příloha 2. Bodová stupnice škály hodnot produkční funkce půdy pro stabilní indikátory (KR = klimatický region)	106
Příloha 3. Bodový stupnice pro škálu hodnot mimoprodukční funkce půdy (OP = orná půda, TTP = trvale travní porost, KR = klimatický region)	106

13. Přílohy

Indikátory proměnné	Pozn.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10										
Výměnné pH		0 <	3,99	4,00	-	4,49	4,50	-	4,99	5,00	-	5,49	5,50	-	5,99	6,00	-	6,49	6,50	-	6,69	6,70	-	6,79	6,80	-	6,99	7,00	-	7,10
		>	8,00	7,80	-	7,99	7,70	-	7,79	7,60	-	7,69	7,50	-	7,59	7,40	-	7,49	7,30	-	7,39	7,20	-	7,29	7,11	-	7,19		-	
Obsah humusu		0 <	0,49	0,50	-	0,99	1,00	-	1,49	1,50	-	1,89	1,90	-	2,29	2,30	-	2,69	2,70	-	2,99	3,00	-	3,99	4,00	-	4,99		nad	5,00
RVK			0,00				4,00				3,00		2,00		-		-		-		-		-		-		1,00			
V		0 <	19,99	20,00	-	29,99	30,00	-	39,99	40,00	-	49,99	50,00	-	59,99	60,00	-	69,99	70,00	-	79,99	80,00	-	89,99	90,00	-	94,99	95,00	-	100,00
T (KVK)		0 <	6,99	7,00	-	9,99	10,00	-	12,99	13,00	-	15,99	16,00	-	18,99	19,00	-	20,99	21,00	-	23,99	24,00	-	26,99	27,00	-	29,99		>	30,00
P - O	ZP	0 <	49,99	50,00	-	64,99	65,00	-	79,99	80,00	-	94,99	95,00	-	109,99	110,00	-	134,99	135,00	-	144,99	145,00	-	164,99	164,99	-	184,99		>	185,00
P - TTP	TTP	0 <	24,99	25,00	-	36,99	37,00	-	49,99	50,00	-	62,99	63,00	-	75,99	76,00	-	89,99	90,00	-	109,99	110,00	-	129,99	130,00	-	149,99		>	150,00
K - O - lehká	ZP	0 <	99,99	100,00	-	129,99	130,00	-	159,99	160,00	-	199,99	200,00	-	237,99	238,00	-	274,99	275,00	-	309,99	310,00	-	344,99	345,00	-	379,99		>	380,00
K - O - střední	ZP	0 <	104,99	105,00	-	137,99	138,00	-	169,99	170,00	-	169,99	170,00	-	264,99	265,00	-	309,99	310,00	-	346,99	347,00	-	382,99	383,00	-	419,99		>	420,00
K - O - těžká	ZP	0 <	169,99	170,00	-	214,99	215,00	-	259,99	260,00	-	289,99	290,00	-	319,99	320,00	-	349,99	350,00	-	402,99	403,00	-	455,99	456,00	-	509,99		>	510,00
K - TTP - lehká	TTP	0 <	69,99	70,00	-	109,99	110,00	-	149,99	150,00	-	179,99	180,00	-	209,99	210,00	-	239,99	240,00	-	276,99	277,00	-	312,99	313,00	-	349,99		>	350,00
K - TTP - střední	TTP	0 <	79,99	80,00	-	119,99	120,00	-	159,99	160,00	-	189,99	190,00	-	219,99	220,00	-	249,99	250,00	-	299,99	300,00	-	349,99	350,00	-	399,99		>	400,00
K - TTP - těžká	TTP	0 <	109,99	110,00	-	159,99	160,00	-	209,99	210,00	-	239,99	240,00	-	269,99	270,00	-	299,99	300,00	-	356,99	357,00	-	413,99	414,00	-	469,99		>	470,00
Obj. hm. st.t.,t		>	1,80	1,80	-	1,60	1,60	-	1,50	1,50	-	1,45	1,45	-	1,40	1,40	-	1,35	1,35	-	1,30	1,30	-	1,25	1,25	-	1,20	0,00	<	1,20

Příloha 1. Bodová stupnice škály hodnot produkční funkce půdy pro proměnné indikátory (RVK = retenční vodní kapacita, V = nasycenost sorpčního komplexu, KVK = kationtová výměnná kapacita, P = fosfor, K = draslík, O = orná půda, TTP = trvale travní porost)

Indikátory stabilní		1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
Zrnitost % jilu -č. <0,01					0,00	-	4,99	5,00	-	9,99	10,00	-	14,99	15,00	-	19,99	20,00	-	25,00	25,00	-	29,99	35,00	-	39,99	30,00	-	34,99			
		100	>	75,00	65,00	-	74,99	60,00	-	64,99	55,00	-	59,99	50,00	-	54,99	45,00	-	44,99	40,00	-	44,99	35,00	-	39,99	30,00	-	34,99			
KR		9			8			7			6			5			4			3			2			1			0		
Mocnost 1. horiz (cm)	Var. 1 (BPEJ) - aplikována	5	nebo	6,00				8,00		9,00							1,00	4,00	7,00							0,00	2,00	3,00			
Mocnost horiz (cm)	Var. 2 APLIKOVÁNA	0	<	1,99	2,00	-	4,99	5,00	-	9,99	10,00	-	14,99	15,00	-	19,99	20,00	-	24,99	25,00	-	29,99	30,00	-	34,99	35,00	-	39,99	>	40,00	
Skelet dle kodu BPEJ					9			8						3	4	6							2	+	5	1	+	7	0		
Sklonitost		8	-	9,00				6,00	-	7,00				4,00	-	5,00							1,00	2	3,00				0,00		
Expozice	KR - 0,1,2,3,4,5 (J-neg)	2,4,6,8																											0,1,3,5,7,9		
Var. 1 APLIKOVÁNA	KR - 6,7,8,9 (S-neg)	3,5,7,9																											0,1,2,4,6,8		
Expozice dle KR	KR - 0,1,2,3,4,5 (J-neg)	8			9,00			6,00			7			5,00			4,00			2,00			3,00			1,00			0,00		
Var. 2	KR - 6,7,8,9 (S-neg)	9			8,00			7,00			6			5,00			4,00			3,00			2,00			1,00			0,00		

Příloha 2. Bodová stupnice škály hodnot produkční funkce půdy pro stabilní indikátory (KR = klimatický region)

Indikátory mimoprodukční	1,00			2,00			3,00			4,00			5,00			6,00			7,00			8,00			9,00			10,00		
Kvalita ekosystému													OP															TTP		
HSP	D						C						B															A		

Příloha 3. Bodový stupnice pro škálu hodnot mimoprodukční funkce půdy (OP = orná půda, TTP = trvale travní porost, KR = klimatický region)