

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů**

Katedra pedologie a ochrany půd



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

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

Diplomová práce

Bc. Johana Posseltová

Hodnocení a ochrana půdy

Ing. Jaroslava Janků, CSc.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2021

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala Ing. Jaroslavě Janků, CSc., za vedení mé diplomové práce, za pomoc při jejím zpracování, za dobré rady a věcné připomínky. Za pomoc při zpracování a čas tomu věnovaný bych ráda poděkovala také Dr. Mgr. Ing. Danielu Tothovi. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Markétě Mihálikové, Ph.D., za čas, který mi věnovala, a za dobré rady, které mi udělila. Stejně tak mé díky patří prof. Ing. Josefu Kozákovi, DrSc. dr. h. c., a prof. Dr. Ing. Luboši Borůvkovi za poskytnutí odborných rad.

Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy

Souhrn

Hodnocení půdy probíhá zpravidla s ohledem na její produkční schopnost. Na kvalitu půdy mají ovšem vliv i její mimoprodukční funkce a s nimi související ekosystémové služby půdy.

Tato diplomová práce se zabývala návrhem nové metodiky hodnocení těchto ekosystémových služeb. K tomuto účelu byly využity indikátory kvality půdy, jež byly rozděleny podle toho, zda patří mezi produkční či mimoprodukční funkce, ty produkční byly následně ještě roztríděny na proměnné a stabilní.

Pro vytvoření metodiky byla použita Saatyho metoda pracující s párovým porovnáním vybraných kritérií a jejich stanovenými vahami. Pro otestování metody byl zvolen okres Kutná Hora. Výsledné bodové skóre bylo v programu ArcGIS převedeno do map, které znázorňují hodnotu půd na území okresu.

Po zpracování výsledků se ukázalo, že se nejkvalitnější půdy nacházejí v okolí měst Čáslav a Kutná Hora. Produkční funkce dosahovala vyšších hodnot než funkce mimoprodukční, dále stabilní kritéria vykazovala vyšší hodnoty než proměnná. V rámci půdního profilu kvalita stoupala s klesající hloubkou.

Výsledky práce mohou být dále rozvíjeny a nově vytvořená metoda může sloužit jako podklad pro oceňování půdy. Zahrnutí ekosystémových služeb půdy do jejího hodnocení může vést ke zlepšení ochrany půdy a zavedení přísnějších podmínek pro odebírání půd ze zemědělského půdního fondu, a tím i omezení záborů kvalitních půd.

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

Evaluation of soil ecosystem services through soil quality indicators

Summary

Soil is usually evaluated by its productive capacity. However, soil quality is also affected by its non-productive functions and the related soil ecosystem services.

This thesis dealt with the design of a new methodology for evaluation of soil ecosystem services. For this purpose, soil quality indicators were used and were classified into two categories, namely production and non-production functions. Within the production functions the indicators were classified in two other categories – variables and constants.

The Saaty method used for the purpose of the thesis is based on a pairwise comparison of selected indicators and their defined weights. The Kutná Hora district has been chosen to test the method. The calculated score was converted into maps in the ArcGIS programme so the maps showed the value of the soil in the district.

The conclusion is as follows the best soils are located close to the towns of Čáslav and Kutná Hora. The production function reached higher values than the non-production function, and the stable criteria showed higher values than the variable. Within the soil profile, the quality increased with the decrease in depth.

Results of the theses can be further developed and the newly created method can serve as a basis for soil valuation. The inclusion of soil ecosystem services in its evaluation can lead to improvement of soil conservation and tightening of the rules for the withdrawal of soil from the agricultural soil fund, thus reducing the occupation of quality land.

Keywords: soil conservation, soil quality indicators, ecosystem services of soil, Saaty's method

Obsah

1	Úvod	8
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Funkce půdy	11
3.2	Ekosystémové služby půdy	12
3.3	Kvalita půdy	13
3.4	Indikátory kvality půdy	14
3.4.1	Půdní reakce.....	14
3.4.2	Půdní organická hmota	14
3.4.3	Sorpční vlastnosti půdy.....	15
3.4.4	Voda v půdě	16
3.4.5	Objemová hmotnost.....	17
3.4.6	Zrnitost.....	17
3.4.7	Fosfor a draslík	18
3.4.8	Bonitovaná půdně ekologická jednotka.....	19
3.4.9	Hydrologické skupiny půd.....	21
3.5	Hodnocení ekosystémových služeb půdy	22
3.5.1	Hodnocení půdy na základě indikátorů kvality	22
3.5.2	Analýza nákladů a přínosů.....	23
3.5.3	Multikriteriální analýza.....	23
3.5.4	Analýza nákladové efektivity	24
3.5.5	Posuzování životního cyklu	24
3.5.6	Indexy kvality půdy	24
3.5.7	Delphi metoda.....	25
3.5.8	Saatyho metoda.....	25
3.6	Související legislativa	27
4	Metodika	28
4.1	Charakteristika území	28
4.2	Získání dat	29
4.3	Zpracování dat	29
4.3.1	Saatyho matice	32
4.3.2	Použité vzorečky	33
4.3.3	Bodové škály pro rozřazení naměřených dat	34
5	Výsledky	36
5.1	Tabulky	36
5.2	Mapové výstupy	41
6	Diskuze	51

7	Závěr	54
8	Literatura.....	55
9	Seznam obrázků a tabulek	62
10	Samostatné přílohy.....	63

1 Úvod

Ekosystémové služby jsou nepostradatelné pro blahobyt a zdraví lidí. Obecně je lze rozdělit na zajišťovací, podpůrné, kulturní a regulační. Poskytují pitnou vodu, potravu, suroviny jako dřevo či palivo, regulují klimatické podmínky a dostupnost živin, mají schopnost samočištění a mnoho dalšího (MEA 2005).

Půda je jednou z klíčových složek fungování ekosystému. Podílí se na množství důležitých procesů, jako je koloběh vody a živin, výměna energie, produkce biomasy či stabilizace ekosystému (Úřad vlády). Je také obydlím pro mnohé makro- i mikroorganismy, a tím pádem významnou zásobárnou genetické informace. Stejně tak je půda důležitá z ekonomického hlediska jako prostor pro umístování staveb či zdroj stavebního materiálu (MŽP).

Půda je člověkem využívána již tisíce let, stále intenzivněji a neopatrně (Lal et al. 1989; Oldeman 1992; Jie et al. 2002; Tsiafouli et al. 2014). Intenzivní hospodaření způsobuje kontaminaci, ztrátu organické hmoty, zaselování, ztrátu biodiverzity, zhutnění i erozi půdy. Hrozbou je také přenos znečišťujících látek z jiných složek životního prostředí do půdy či naopak. Dalším problémem je úbytek půdy v souvislosti se zástavbou. Kvalitní půdy jsou v územním plánu zabírány pro budoucí stavební projekty (Janků et al. 2016).

Jedním z důvodů, proč k těmto problémům dochází, je nedostatečná znalost hodnoty půdy. Její hodnocení a oceňování stále probíhá se zaměřením na produkční funkci. Pro půdu neexistuje jednotná metoda oceňování. Při něm se tak vzhledem k tomuto nedostatku postupuje stejně jako při oceňování nemovitosti. Tím jsou ale zanedbány vlastnosti půdy, které bývají na jednotlivých pozemcích jedinečné. V rámci tohoto oceňování nedochází ani k zohlednění mimoprodukčních funkcí půdy, jež výrazně ovlivňují její hodnotu.

K přesnějšímu hodnocení půdy nám mohou sloužit indikátory kvality půdy, které zahrnují fyzikální, chemické, fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půdy (Pokorný et al. 2007).

Diplomová práce je součástí projektu Ministerstva zemědělství (QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017–2025, ZEMĚ) s názvem Udržitelné hospodaření s přírodními zdroji s důrazem na mimoprodukční a produkční schopnosti půdy. Cílem projektu je navržení univerzálního způsobu stanovení environmentální hodnoty půdy, díky němuž bude možné určit ztráty zapříčiněné zábory zemědělských půd. Dalším záměrem je návrh postupu hodnocení půdy se zřetelem na retenční vodní kapacitu půdy, ekologickou stabilitu krajiny, kvalitu života a produkční schopnost půdy. V neposlední řadě má projekt za cíl navrhnout takové třídy ochrany půdy, které budou brát ohled rovněž na mimoprodukční schopnosti půdy.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vědecká hypotéza:

Saatyho metoda je vhodná pro hodnocení kvality půdy.

Cíle práce:

Cílem diplomové práce bylo vytvořit vhodnou metodu hodnocení ekosystémových služeb půdy, která by zahrnovala jak její produkční, tak i mimoprodukční funkci. K tomuto hodnocení bylo využito indikátorů kvality půdy, jež byly posouzeny pomocí Saatyho metody. Výsledkem práce je ucelená metodika obsahující bodové hodnocení kvality půdy, která bude moci dále sloužit ke stanovení její ceny.

3 Literární rešerše

Termín půda odkazuje na zvětralou vnější vrstvu zemského povrchu vzniklou rozpadem a rozkladem hornin fyzikálními, chemickými a biologickými procesy (Hillel 1973).

Lingner a Borg (2000) uvádí ve své publikaci rovněž definici půdy zahrnující ekonomické hledisko, ve kterém je půda brána jako nepohyblivý výrobní faktor s omezenou dostupností. Z vědeckého hlediska půdu popisují jako nejsvrchnější, živou, volnou vrstvu pevniny, která je složena z produktů zvětrávání z místní matečné horniny a produktů rozkladu organických látek.

Vznik půdy ovlivňují tzv. půdotvorné faktory a podmínky. Mezi půdotvorné faktory patří matečná hornina, klimatické podmínky a organismy, dále pak činnost člověka. Tyto faktory se na vzniku půdy přímo podílejí. Na ně působí podmínky, mezi které řadíme čas a reliéf, přičemž reliéfem se rozumí utváření terénu (Šarapatka 2014; Tomášek 1995).

Matečná hornina je název pro podloží, ze kterého se půda vyvinula. Je to primární anorganický půdotvorný materiál a může být magmatického, sedimentárního nebo metamorfního původu (Chesworth 1973). Jeho složení má vliv na rychlost zvětrávání, hloubku půdy a její zrnitost. Podložní materiál ovlivňuje chemismus půdy, čímž udává například půdní reakci. Stejně tak ovlivňuje rychlost tvorby půdy klima, jelikož teplota a množství srážek působí významně na pochody v půdním prostředí (Tomášek 1995). Činnost organismů je důležitá zejména pro tvorbu organické hmoty, ale také výrazně ovlivňuje rozpustnost sloučenin, rizikových prvků a živin v půdě, a tím určuje jejich mobilitu (Tomášek 1995; Buscot 2005). Lidská činnost může mít pro půdu jak pozitivní, tak i negativní dopad. Zásah do přirozeného prostředí půdy může vést například k nárůstu živin a organické hmoty v půdě, na druhou stranu dochází také k erozi a kontaminaci půdy i okolního prostředí.

Půdy se od sebe výrazně liší v závislosti na prostředí, ve kterém se vyvíjejí, ať už se jedná o rozdíl v půdotvorném substrátu, nadmořské výšce, expozici ke světovým stranám, svažitosti či vodním režimu dané lokality. Stáří půdy hraje také významnou roli v odlišnosti jednotlivých půd. Doba, po kterou se půda vyvíjela, ovlivňuje její zralost (Tomášek 1995).

V průběhu vývoje se v rámci půdního profilu vytvořily horizontální vrstvy, které se od sebe navzájem liší. Jednotlivé horizonty v rámci půdního profilu se odlišují svou mocností, která je podmíněná působením půdotvorných faktorů. Vrchní horizonty jsou ovlivňovány procesy, jako je rozklad rostlinných zbytků a kořenů rostlin a jejich akumulace v podobě humusu, vyplavování rozpustných a koloidních minerálních a organických složek hlouběji do půdního profilu a jejich akumulace (Paul 2014).

3.1 Funkce půdy

Funkce půdy se dělí na produkční a mimoprodukční. Produkční schopnost zahrnuje produkci biomasy a nejčastěji bývá posuzována v souvislosti s půdní úrodností (Kozák et al. 2009), která je definována jako schopnost půdy vytvářet optimální podmínky pro růst a vývoj rostlin v období vegetace. Úrodnost půdy je ovlivňována přírodními podmínkami, v nichž půda vznikala, ale zejména zásahem člověka, jímž byly upraveny mnohé fyzikální a chemické vlastnosti půdy s cílem její úrodnost zvýšit (Sáňka et al. 2018). Úrodnost většinou souvisí se způsobem využití půdy, tzn. zda se jedná o ornou půdu, chmelnice, vinice, lesy, trvalý travní porost a tak podobně (Kozák et al. 2009).

Mimoprodukční funkce půdy zahrnují environmentální, ekonomické, sociální i kulturní aspekty kvality půdy. Půda je velmi bohatá z hlediska biodiverzity. Vyskytuje se zde obrovské množství organismů podílejících se na tvorbě půdy, koloběhu živin, vytváření struktury půdy či biodegradaci nežádoucích látek. Dále půda přispívá k fungování ostatních ekosystémů například tím, že slouží jako zásobárna vody či uhlíku (Sáňka & Materna 2004).

Půda má funkci filtrační, vyrovnávací a transformační, tzn. zprostředkovává výměny látek a energie mezi atmosférou, podzemní vodou a rostlinami, ovlivňuje koloběh vody a chrání životní prostředí a lidské zdraví před kontaminací. Tyto funkce lze také označit za ekosystémové služby půdy (Blum 2005).

Z ekonomického hlediska je půda hlavně předmětem vlastnictví. Také poskytuje množství surovin jako písek, jíl, minerály a jiné materiály. Půda je dále využívána i v rámci jiných vědních disciplín jako geologie, zoologie, klimatologie (Sáňka & Materna 2018) a je považována za geogenní a kulturní dědictví, které skrývá a chrání paleontologické a archeologické cennosti, díky kterým lze porozumět historii lidstva i Země. V neposlední řadě je půda fyzickým základem pro technické, průmyslové a sociálně-ekonomické struktury a jejich rozvoj, například průmyslové prostory, bydlení, doprava, sport, rekreace, skládky a podobně (Blum 2005).



Obrázek 1 Schéma znázorňující nejdůležitější funkce půdy (vlastní zpracování, obrázek: <https://ec.europa.eu>)

3.2 Ekosystémové služby půdy

Za ekosystémové služby jsou považovány podmínky a procesy, jež tvoří přírodní ekosystémy a v nich žijící druhy, které mají vliv na lidské životy (Daily 2003). Lze je také definovat jako zboží a služby, které ekosystémy poskytují, a prospívají tím blahu lidí (Pereira et al. 2018).

Mezi tyto služby lze zařadit poskytování výživy, materiálu či energie, dále regulaci a údržbu (Pereira et al. 2018), jinak také čištění, recyklaci a obnovu a v neposlední řadě i poskytování estetických a kulturních služeb. Obchodování s ekosystémovými službami představuje důležitou součást ekonomiky (Daily 2003).

Daily et al. (1997) zmiňují také vliv ekosystémů na klima projevující se například střídáním dob ledových a meziledových či stabilizací klimatu odstraňováním většího množství oxidu uhličitého z atmosféry, čímž dochází k zabránění přehřátí Země.

Půda je základem přísunu široké škály ekosystémových služeb, reguluje většinu ekosystémových procesů v krajině, je zásobárnou energie a biodiverzity a poskytuje fyzický základ mnoha lidským činnostem (Greiner et al. 2017; Pereira et al. 2018).

Greiner et al. (2017) odkazují na několik publikací, které uvádějí, že blahobyt člověka do značné míry závisí na půdních zdrojích, z čehož vyvozuje, že by půda měla být nedílnou součástí hodnocení ekosystémových služeb.

Pereira et al. (2018) konstatují, že k pochopení dynamiky půd jsou zapotřebí interdisciplinární přístupy, a to i z důvodu, že se půdy nacházejí na rozhraní ostatních zemských sfér.

3.3 Kvalita půdy

Kvalitní půda zajišťuje správný růst a vývoj rostlin a živočichů. Aby bylo této kvality dosaženo, je nutné přistupovat k její ochraně jako k ochraně celého ekosystému a brát v úvahu interakce živých a neživých složek prostředí. V současnosti se ke kvalitě půdy musí přistupovat nejen z produkčního, ale také z ekologického hlediska. Je důležité brát v úvahu všechny funkce, které půda zajišťuje (Pokorný et al. 2007). Významným problémem je přenos znečištění z jedné složky přírody do jiné. Jedná se například o kyselé deště či vymývání rizikových prvků či dusíku a fosforu z půdy do povrchových vod. Na ochranu půdy by se proto nemělo pohlížet izolovaně, ale jako na nedílnou součást širší ochrany životního prostředí zahrnující i ochranu lidského zdraví. Důležité je tedy řešit nejen problémy půdy, ale také dalších zúčastněných nebo zasažených oblastí (Lingner & Borg 2000).

Rozšířená je definice kvality půdy podle Karlena et al. (1997), která zní: „Kvalita půdy je schopnost konkrétního druhu půdy fungovat v rámci přirozených nebo řízených ekosystémových hranic k udržení produktivity rostlin a živočichů, k udržení nebo zlepšení kvality vody a ovzduší a k podpoře lidského zdraví a bydlení.“

Karlen et al. (1997) uvádějí, že na kvalitu půdy lze nahlížet dvěma způsoby. Jeden zaujímá postoj, že každá půda má přirozenou schopnost fungovat, a je tedy pohlíženo na její plný potenciál funkci vykonávat. Druhý způsob bere v úvahu, jak půda svůj potenciál využívá. Pokud ho využívá naplno, je půda hodnocena jako vysoce kvalitní.

Gill-Sotres et al. (2005) ve své publikaci odkazují na Dorana a Safleyho (1997), kteří se zabývali rozdílem mezi kvalitní a zdravou půdou. I přes to, že rozdíl mezi těmito termíny není zcela definován, obecně platí, že kvalita půdy se týká její specifické funkce a zdraví půdy se vztahuje na její celkový stav.

Doran a Parkin (1994) definují kvalitu půdy jako „schopnost půdy fungovat v hranicích ekosystému a udržovat jeho produktivitu, zajišťovat kvalitu prostředí a podporovat zdravý vývoj rostlin a živočichů“ a uvádí kritéria, která by mělo hodnocení kvality půdy splňovat. Kromě fyzikálních, chemických a biologických vlastností a procesů je potřeba zohlednit také variabilitu způsobů hospodaření a klimatických podmínek. Larson a Pierce (1991) uvádí i potřebu zahrnout parametry měnící se vzhledem ke způsobu hospodaření za poměrně krátkou časovou periodu.

3.4 Indikátory kvality půdy

Ukazatele kvality půdy odkazují na měřitelné vlastnosti půdy ovlivňují její produkční schopnost a funkce životního prostředí. Jako indikátory půdy by měly být vybrány takové vlastnosti, jež jsou na změny v kvalitě nejcitlivější (Arshad & Martin 2002). V následujících podkapitolách jsou uvedeny indikátory půdy využitě v experimentální části této diplomové práce.

3.4.1 Půdní reakce

Jednou z nejdůležitějších vlastností půdy je její pH. Ovlivňuje dostupnost živin, reguluje složení a diverzitu mikrobiálního společenství, ovlivňuje přeměny organické hmoty, růst vyšších rostlin, půdní sorpci nebo půdotvorné procesy (Dick et al. 2000; Šarapatka 2014).

Půdní reakce je vlastnost půdy udávající rozpustnost látek v půdním roztoku (Šarapatka 2014). Podle ní lze půdy dělit na kyselé, neutrální a alkalické (Sáňka et al. 2018).

Kyselou půdní reakci, jež je u nás typická na zemědělských a lesních půdách, způsobuje zejména promývání kyselinou uhličitou hojně se tvořící v humidnějších oblastech. Vypovídá o nedostatečném množství uhličitů a nenasycenosti sorpčního komplexu. Další příčinou kyselé reakce jsou vyšší srážky vymývající z půdy zejména ionty Ca^{2+} (Šarapatka 2014).

Půdní reakce má dále vliv na biologickou dostupnost živin. Například množství rostlinám přístupného fosforu závisí na formách, ve kterých se fosfor v půdě nachází, což je ovlivněno jeho reakcí s jinými prvky, již udává míra kyselosti půdy (Smil 2000; Sáňka et al. 2018). Dále hodnota pH ovlivňuje mobilitu prvků v půdě. Například mobilita většiny rizikových prvků se zvyšuje s klesajícím pH (Sáňka et al. 2018), při nízkém pH se zvyšuje pohyblivost hliníku, železa a manganu, a prvky se tak stávají potenciálně toxickými pro rostliny. V alkalické půdě mohou naopak rostliny trpět jejich nedostatkem (Sparks 2003).

Když je pH půdy nízké, mohou být populace a aktivita organismů odpovědných za transformaci dusíku, síry a fosforu na formy dostupné pro rostliny sníženy. Dále může být ovlivněna dostupnost i jiných minerálních prvků pro rostliny. Kyselé půdy, zejména ty s nízkým obsahem organické hmoty, bývají špatně agregované (Fernández a Hoefl 2009).

3.4.2 Půdní organická hmota

Zdrojem organického materiálu v půdě je zejména akumulovaný uhlík, jenž je v rámci svého koloběhu poután a uvolňován rostlinami a mikroorganismy. Uhlík se v půdě vyskytuje ve stabilní formě, to znamená, že je poután na hůře rozložitelný organický materiál, dále jako aktivní uhlík, vázaný naopak na snadno rozložitelné látky, a volný uhlík, který se neváže na žádné minerály a neslučuje se s minerálními agregáty (Šarapatka 2014).

Lehmann a Kleber (2015) uvádějí, že půdní organická hmota obsahuje více organického dusíku než vegetace a atmosféra dohromady. Dále pojímá také velké množství živin a polutantů. Organické látky přispívají k úrodnosti půdy tím, že zadržují vodu a živiny dostupné rostlinám a podporují formování struktury půdy. V procesu hospodaření na orné půdě se ovšem spotřebovávají, protože uvolňují potřebné živiny a energii, když se rozkládají.

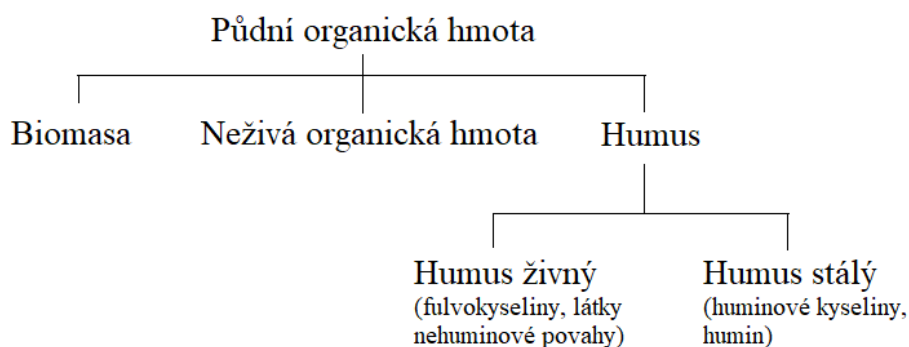
Organická hmota v půdě má zásadní vliv na její úrodnost. Důležitá je nejen kvantita, ale také kvalita, která se udává poměrem uhlíku k celkovému dusíku v půdě či poměrem

huminových kyselin a fulvokyselin. Další podstatnou roli má organická hmota při půdní sorpci a tvorbě struktury půdy, jelikož váže půdní částice do agregátů, a tím zlepšuje půdní fyzikální vlastnosti. Je také zdrojem potravy pro mikroorganismy a zásobárnou živin a má pozitivní vliv na pufrací kapacitu půdy (Sáňka & Materna 2004).

Organický uhlík v půdě podléhá tzv. humifikačnímu procesu, jehož výsledkem je tvorba humusu (Šarapatka 2014; Vinhal-Freitas et al. 2017). Manahan (2004) uvádí humus jako nejzastoupenější formu organické hmoty v půdě a definuje jej jako černý organický materiál mající různorodou chemickou strukturu. Většina rostlinné biomasy, ze které humus vzniká, obsahuje celulózu a lignin. K procesu humifikace dochází poměrně snadným rozkladem celulózy a modifikací ligninu bakteriemi a houbami.

Humus je možné rozdělit na živný a stálý. Jako humus živný jsou označovány fulvokyseliny a látky nehumínové povahy, jež lze snadno rozložit. Humus stálý tvoří huminové kyseliny a humin, tzn. látky huminové povahy, které jsou naopak obtížně rozložitelné. Podle obsahu humusu se rozlišují půdy humózní, obsahující méně než 20 % humusu, a půdy humusové, ve kterých se humusu nachází více než 20 % (Šarapatka, 2014). V dlouhodobých zemědělských systémech se huminové látky ztrácejí v důsledku intenzivního využívání půdy, což má dopad na zásoby uhlíku v půdě a obecně na její kvalitu (Vinhal-Freitas et al. 2017; Batlle-Bayer et al. 2010).

Humus v půdě poutá velké množství vody a díky obsahu H^+ iontů má pufrací vlastnosti. Dále je schopný poutat kovové ionty a živiny nebo dokáže imobilizovat syntetické organické polutanty, jako jsou například pesticidy, které se do půdy dostávají v rámci zemědělské produkce (Manahan 2004).



Obrázek 2 Schéma rozdělení půdní organické hmoty (upraveno z Šarapatka 2014)

3.4.3 Sorpční vlastnosti půdy

Sorpční vlastnosti půdy vyjadřují její schopnost poutat různé prvky a látky (Sáňka et al. 2018). Ovlivňují například uvolňování živin do půdního roztoku, a tím i jejich přístupnost pro rostliny. Dále je sorpce také významná z hlediska zadržování látek a zamezování jejich vymývání (Honsa 2008).

Sorpční vlastnosti mají v půdě koloidní látky, což jsou látky o velikosti do 2 μm , které se vyznačují velkým specifickým povrchem. Jsou jimi jílové minerály, humus, oxidy železa a hliníku či alofan a amorfní jíly (Šarapatka 2014).

V našich půdách převažuje obsah jílových minerálů a huminových kyselin (Šarapatka 2014). Jejich povrch má obvykle záporný náboj, z toho důvodu se zde můžeme setkat hlavně s kationtovou výměnou (Honsa 2008; Strawn 2015).

Koloidní částice k sobě přitahují ionty s opačným nábojem, v případě kationtové výměny jde tedy například o kationty vápníku, hořčíku, hliníku, draslíku či sodíku, které jsou poutány na záporně nabitě povrchy jílových minerálů a organických látek.

Síla sorpce, kterou jsou kationty poutány, je přímo úměrná velikosti jejich náboje. Dále je sorpce ovlivněna koncentrací těchto iontů v půdním roztoku a půdní reakcí. V kyselých půdách převládá nasycení H^+ či Al^{3+} ionty, neutrální půdy jsou nasyceny především dvojmocnými kationty a jednomocné kationty převažují v půdách alkalických, které pak obvykle bývají z důvodu obsahu Na^+ iontů zasolené (Šarapatka 2014).

Kationtovou výměnu v půdě lze určit tzv. kationtovou výměnnou kapacitou (KVK). Kationtová výměnná kapacita je schopnost půdy vyměňovat kationty adsorbované na záporně nabitých půdních částicích (Honsa 2008). Kationty zadržené elektrostaticky jsou snadno zaměnitelné s kationty v půdním roztoku, takže půda s vyšší KVK má větší schopnost udržovat adekvátní množství vápenatých, hořečnatých, sodných a dalších kationtů než půda s nízkou KVK (Ross & Ketterings 1995).

Kationtová výměnná kapacita je také ovlivňována množstvím koloidních částic obsažených v půdě. Písčité půdy mají tedy menší výměnnou kapacitu, jelikož jsou chudší na jílové minerály a humus. Jednotlivé jílové minerály mají různé sorpční schopnosti, proto závisí KVK také na přítomnosti a poměru jejich jednotlivých druhů (Šarapatka 2014).

Důležitost KVK spočívá v určování kapacity půdy zachovat ionty ve formě, ve které jsou dostupné rostlinám a nejsou náchylné k vyluhování do půdního profilu. Její míra závisí na typu a množství anorganických a organických složek v půdě a velikosti náboje přítomných iontů (Sparks 2003).

Soubor půdních částic a látek podílejících se na výměně se nazývá sorpční komplex (Honsa 2008). Nasycenost sorpčního komplexu se chápe procentuální podíl bazických iontů v komplexu (Sánka et al. 2018). Tato hodnota se liší pro jednotlivé půdní typy. Nejvyšší bývá pro černozemě, kde dosahuje více než 95 %. V neutrálních půdách odpovídá hodnota nasycenosti sorpčního komplexu přibližně 80 %. Při alkalické půdní reakci dosahuje hodnota téměř 100 %. Silněji alkalické půdy dohromady obsahují ještě více iontů Na^+ a rozpustných solí (Šarapatka 2014).

3.4.4 Voda v půdě

Voda je jedním z nejdůležitějších chemických komponentů v půdě (Manahan 2004). Vyskytuje se zde ve všech skupenstvích a je součástí svého koloběhu v přírodě (Šarapatka 2014). Množství vody uložené v půdě v nenasyčené zóně je označováno jako půdní vlhkost. Ta závisí na zrnitosti půdy a není v půdním profilu horizontálně ani vertikálně homogenně rozložena (Seneviratne et al. 2010; Hillel 1998).

Obsah půdní vody je rozhodující nejen pro zásobování plodiny potřebnou vodou, ale také pro rozpuštění živin a jejich poskytnutí rostlině (Fernández a Hoefl 2009). Půdní vlhkost je důležitá pro život rostlin a půdních organismů či ovlivňování fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických pochodů a půdotvorných procesů (Šarapatka 2014).

Nejdůležitější je pro růst rostlin půdní roztok, tzn. voda v kapalném skupenství, ve které jsou rozpuštěny živiny, jež jsou pro rostliny klíčové. Voda je rostlinami přijímána pomocí kořenového systému, dále transportována skrz rostlinu až k listům, odkud je evaporována (Manahan 2004; Sposito 2008). Čím nižší množství vody se v půdě nachází, konkrétně v kořenové zóně, tím obtížněji ji mohou rostliny přijímat, jelikož zbývající voda je pevně poutána na půdní částice. To má za následek snižování evaporace. Půdní voda má tak vliv nejen na rostliny, ale i na klima (Ritchie 1981; Senevirante et al. 2010).

Největším zdrojem vody v půdě jsou atmosférické srážky. Dále se voda do půdy dostává povrchovým odtokem či vzlínáním z podzemních zdrojů. V souvislosti s půdní vodou je důležité znát nejen její množství, které se do půdy dostává, ale také schopnost půdy vodu zadržet či pohyblivost vody a její přístupnost rostlinám. K určení těchto schopností slouží tzv. hydrolimity (Šarapatka 2014).

Jedním z hydrolimitů je tzv. retenční vodní kapacita půdy (RVK) vyjadřující maximální množství vody, které je půda schopná vlastními silami trvaleji zadržet (Šarapatka 2014; Pokorný 2007).

3.4.5 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je definována jako hmotnost suché půdy k jejímu objemu (Jury a Horton 2004). Udává poměr mezi pevnou fází půdy a pórovitostí. Čím nižší je objemová hmotnost, tím více pórů půda obsahuje. Její vyšší hodnota může tedy značit nižší obsah organických látek, menší tvorbu agregátů či zhutnění půdy. Z toho vyplývá, že větší objemová hmotnost bývá zaznamenána u povrchových horizontů, dále pak u těžkých půd, jež obsahují větší procento jemné zrnitostní frakce (Šarapatka 2014). Objemová hmotnost má vliv na tepelné, hydraulické a mechanické půdní vlastnosti (Tian et al. 2020). Závisí na ní možnosti růstu kořenů rostlin (Pabin et al. 1998) či zadržování vody v půdě a transport půdních plynů (Tian et al. 2020).

3.4.6 Zrnitost

Pevné částice se v půdě vyskytují v různých velikostech, tzv. frakcích. Jednotlivé frakce mají v půdách různé zastoupení. V souvislosti s tím se mluví o zrnitosti, kterou lze definovat jako vlastnost půdy udávající relativní zastoupení těchto frakcí. Z hlediska velikosti půdních částic lze frakce rozdělit na tři základní – písek, prach a jíl. Podle různého poměru zastoupení jednotlivých frakcí se půdy dělí na půdní druhy – písčité, hlinitopísčité, písčitolhinité, hlinité, jílovitolhinité, hlinitojílovité a jílovité. Zrnitostní složení půdy je její nejdůležitější vlastností, jelikož ovlivňuje ostatní půdní vlastnosti jako pórovitost, retenční vodní kapacitu, pohyby živin a rizikových prvků v půdě (Fernandez-Illesca 2001; Novák 2008; Sánka et al. 2018; Moyes 2018), dále rychlost infiltrace, pH půdy, pufrovací kapacitu, strukturu půdy či přítomnost mikrobiální biomasy (Seyedmohammadi et al. 2019).

Písek a prach obsahují velké množství primárních minerálů, které ovlivňují chemické procesy v půdě. Dále mohou hrát minerály roli při zvětrávání těchto větších částic na jílové minerály a určovat jejich charakter (Jury a Horton 2004).

Tabulka 1 Novákova klasifikace půdního druhu (upraveno ze Sánka 2018)

obsah jílnatých částic <0,01 mm (%)	půdní druh	
0–10	píščitá	lehká
10–20	hlinitopíščitá	
20–30	píščitohlinitá	střední
30–45	hlinitá	
45–60	jílovitohlinitá	těžká
60–75	jílovitá	
>75	jíl	

3.4.7 Fosfor a draslík

Fosfor je živina zásadní pro výživu rostlin, jimiž je přijímána ve formě iontů. Pro svůj růst a vývoj potřebují rostliny velké množství dostupného fosforu, jehož obsah je v půdě ale obvykle velmi nízký (Achat et al. 2010; Schachtman et al. 1998). Je důležitý pro tvorbu a růst kořenů, zralost plodin, dále stimuluje kvetení či produkci semen apod. (Seyedmohammadi et al. 2019).

K uvolňování fosforu do půdy dochází v rámci zvětrávání fosfátových minerálů, převážně apatitu, v důsledku snižování pH v půdním prostředí. Fosfátový iont se v půdě buď adsorbuje na povrch půdních částic, a dá se tak přímo přijímat kořeny rostlin, nebo se naváže na organickou hmotu, z níž musí být nejprve uvolněn pomocí enzymů produkovaných rostlinami, houbami (mykorhiza) či mikroorganismy (Filippelli 2002). Půdní mikroorganismy jsou také schopny fosfor imobilizovat jeho zabudováním a později ho uvolňovat remineralizací nebo po svém odumření (Achat et al. 2010).

Dostupnost fosforu rostlinám je silně ovlivněna půdní reakcí. V kyselém prostředí reagují fosfáty s hliníkem, při alkalické půdní reakci zase s vápníkem. Takto poutaný fosfor poté nemohou rostliny přijímat a obsah jeho přístupné formy je pak v půdě velmi nízký (Smil 2000). Kyselá nebo zásaditá půda vyžaduje tedy pro zdravý růst rostlin větší přísun fosforu (Seyedmohammadi et al. 2019). Na přístupnost fosforu mají vliv i další půdní vlastnosti jako koncentrace iontů v půdě či přítomnost různých půdních minerálů, na které se fosfor poutá. Jeho uvolňování poté závisí opět na pH půdy (Devau et al. 2009).

Ovšem i nadměrný obsah fosforu v půdě může být škodlivý. Může způsobit například nižší aktivitu enzymu fosfatázy, snižování počtu půdních bakterií, zrychlené kvetení rostlin či zpomalení jejich růstu nebo blokování příjmu ostatních živin, například zinku, manganu a molybdenu, což má za následek další problémy spojené s jejich nedostatkem (Sánka & Materna 2004).

Draslík je prvek dominantně zastoupený v půdách. Vyskytuje se zde ve formě bazického iontu K^+ (Essington 2015). Jeho obsah v půdě je pro rostliny důležitý z hlediska aktivity

fotosyntézy, odolnosti vůči chorobám, pevnosti rostliny nebo obsahu oleje v semenech (Seyedmohammadi et al. 2019). Draslíkový kationt se v půdě účastní kationtové výměny na povrchu jílových minerálů či organické hmoty (Essington 2015).

V písčitéch půdách bývá jeho obsah nižší, protože minerály, z nichž se vyvinuly tyto půdy, mají nízkou hladinu draslíku. Vyšší množství tohoto prvku je pravděpodobnější v půdách, které jsou z hlediska vývoje starší (Fernández & Hoef 2009).

Nadměrné množství draslíku může zapříčinit rozpad struktury půdy s následkem větší náchylnosti k jejímu zhutnění. Dále může mít vliv na zpomalení růstu a kvetení rostlin nebo na pokles počtu půdních mikroorganismů. Stejně jako v případě fosforu je draslík v nadměrném množství schopný ovlivnit přístupnost ostatních prvků, v tomto případě vápníku, molybdenu, zinku či mědi, a způsobit tím snížení kvality produkce. Například zablokování příjmu vápníku může mít za následek slabší rozvoj kořenového systému (Sánka & Materna 2004).

3.4.8 Bonitovaná půdně ekologická jednotka

V letech 1961–1970 u nás proběhl komplexní průzkum zemědělských půd, který poskytl první rozsáhlé údaje o úrodnosti, vlastnostech či typologii půd na našem území. Na základě těchto údajů byla mezi lety 1971–1980 uskutečněna bonitace zemědělského půdního fondu (ZPF), k jejíž aktualizaci dochází dodnes. Pro její účely byla vymezena tzv. půdně ekologická jednotka, územní celek se specifickými agroekologickými vlastnostmi a určitým produkčním potenciálem (Sánka 2004; Janků 2003).

V rámci bonitace byla vytvořena bonitovaná půdně ekologická jednotka (BPEJ), pomocí níž dochází k hodnocení produkčních schopností zemědělských půd. Jedná se o pětimístný kód sloužící jako bodové hodnocení půdy podle vybraných vlastností – klimatického regionu, půdní jednotky, sklonitosti a expozice pozemku a hloubky a skeletovitosti půdy. Na základě tohoto hodnocení je poté možné stanovit úrodnost půdy, podmínky jejího využití, zařazení do třídy ochrany či základní cenu pozemku (VÚMOP; Sánka 2018).

Pro bonitaci bylo vytvořeno deset regionů, pro jejichž vymezení byla stanovena kritéria související s klimatickými podmínkami v různých částech České republiky ovlivňující produkční schopnost půdy. Mezi ně patří zejména suma teplot nad 10 °C, průměrná roční teplota (°C), průměrný roční úhrn srážek (mm), pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období (%) či vláhová jistota ve vegetačním období. Regiony jsou pak na základě těchto údajů charakterizovány podle míry teploty a vlhkosti, kterou lze na jejich území očekávat (VÚMOP; Pokorný et al. 2007).

Jednotlivé půdy byly při vytváření kódu BPEJ seskupeny do tzv. hlavních půdních jednotek (HPJ) podle toho, jaké půdní vlastnosti u nich převažovaly. Tímto způsobem vzniklo dohromady 78 HPJ a půdy jsou do nich tříděny v závislosti na půdním typu, půdotvorném substrátu, zrnitosti a vláhových poměrech. V kombinaci HPJ s příslušným klimatickým regionem vzniká hlavní půdní klimatická jednotka (Janků 2003).

Hospodaření na zemědělské půdě výrazně ovlivňuje sklonitost pozemku, na němž se půda nachází. Stupeň sklonitosti rozhoduje o využití agrotechniky, ale i o ohrožení půdy erozí. Se zvětšováním svažitosti terénu (nad 7°) se zvyšuje i riziko erozní události. Významnou roli hraje také expozice pozemku ke světovým stranám. Ta je důležitá převážně kvůli vlivu intenzity slunečního záření a množství srážek na vegetaci. Podstatná je hlavně expozice jižní a severní.

Se sklonitostí půdy úzce souvisí její hloubka. Na svazích se obvykle nacházejí méně hluboké půdy, které jsou více ohroženy erozí. Půdy hluboké se rozkládají na mírně svažitém povrchu. Hloubka půdy je důležitou vlastností určující možnosti prokořenění rostlin a jejich možnosti využívat dostupnou vodu a živiny. To dále ovlivňuje hydrologické vlastnosti půdy a její odolnost proti erozi. Na sklonu povrchu a hloubce půdy pak závisí také obsah půdních živin a minerálů (Seyedmohammadi et al. 2019). Dalším faktorem spojeným s hloubkou půdního profilu je skeletovitost. Jako skelet jsou chápány pevné částice v ornici a podornici větší než 4 mm. V závislosti na jejich velikosti rozlišujeme štěrky, kameny a balvany. Velký obsah skeletu může způsobit snížení hloubky půdy, a tím představovat problém při jejím obdělávání (Kozák et al. 2009).

Na základě BPEJ jsou půdy dále zařazeny do pěti tříd ochrany zemědělského půdního fondu stanovených vyhláškou Ministerstva životního prostředí 48/2011 Sb. Třídy ochrany slouží k zachování úrodnosti zemědělské půdy a jsou klíčovým aspektem při rozhodování o odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu.

Tabulka 2 Třídy ochrany půdy stanovené vyhláškou č. 48/2011 Sb. o stanovení tříd ochrany

třída ochrany	půdy	odejmutí ze ZPF
I.	bonitně nejcenější	pouze ve výjimečných případech
II.	nadprůměrná produkční schopnost	podmínečně s ohledem na územní plánování
III.	průměrná produkční schopnost	možné využití v rámci územního plánování
IV.	podprůměrná produkční schopnost	pro stavební a jiné nezemědělské účely
V.	velmi nízká produkční schopnost	nedoporučuje se zemědělské využití

I. třída ochrany zahrnuje bonitně nejcenější půdy nacházející se na rovinatém či mírně svažitém terénu. Ze ZPF je lze odejmout pouze ve výjimečných případech, zejména v rámci zachování ekologické stability krajiny. Do II. třídy ochrany ZPF patří nadprůměrně produkční půdy, které jsou vysoce chráněné. Ze zemědělského půdního fondu se odejímají pouze podmíněně s ohledem na územní plánování. Půdy spadající do III. třídy ochrany mají zpravidla průměrnou produkční schopnost a je možné je využít v rámci územního plánování například pro účely stavby. Do IV. třídy ochrany jsou zařazeny půdy s podprůměrnou produkcí, na které spadá pouze omezená ochrana. Jsou využitelné pro stavební a jiné nezemědělské účely. V. třída ochrany je určena půdám s velmi nízkou produkční schopností. Patří k nim půdy mělké, hydromorfí, půdy s vysokým obsahem skeletu či půdy vážně ohrožené erozí. S výjimkou ochranných pásem a chráněných území mají půdy v této třídě ochrany velmi nízký stupeň ochrany a jejich zemědělské využití pro ně často není efektivní (VÚMOP, vyhláška č. 48/2011 Sb.).

Němeček et al. (1985) navrhli metodiku bodového hodnocení produkčního potenciálu půdy pomocí BPEJ. Podle číselné hodnoty jednotlivých míst kódu byly přiřazeny body k HPJ (jako součet bodů genetické jednotky a zrnitosti), ke sklonitosti a expozici (SE) a ke

skeletovitosti a hloubce půdy (SH). U klimatických regionů (KR) byl na základě HPJ stanoven koeficient, kterým byl vynásoben součet všech bodů.

$$PP = (HPJ + SE + SH) \times k_{KR}$$

(Němeček et al. 1985)

3.4.9 Hydrologické skupiny půd

Důležitým faktorem pro kvalitu půdy je její schopnost pohlcovat vodu – tzv. infiltrace. Na základě rychlosti infiltrace se půdy dělí do čtyř hydrologických skupin označených A, B, C a D. Určuje se vždy minimální rychlost vsakování po dlouhodobém sycení do půdy bez pokryvu i při úplném nasycení.

Infiltrace může být ovlivněna například intenzitou, množstvím a dobou trvání srážek, dále také fyzikálními vlastnostmi půdy, jako je zrnitost, struktura, pórovitost či obsah organické hmoty, vlhkostními poměry půdy, ale i prokořeněním či způsobem využití (VÚMOP).

Tabulka 3 Hydrologické skupiny půd (vlastní zpracování, data: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd)

skupina	mm/min	rychlost infiltrace	půdy
A	>0,20	vysoká	hluboké dobře až nadměrně odvodněné písky a šterky
B	0,10–0,20	střední	středně hluboké až hluboké středně až dobře odvodněné hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	0,05–0,10	nízká	s málo propustnou vrstvou v půdním profilu jílovitohlinité až jílovité
D	<0,05	velmi nízká	s vysokou bobtnavostí s trvale vysokou hladinou podzemní vody s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním mělké půdy nad téměř nepropustným podložím

Optimální podmínky vsakování nastávají při vysoké až středně vysoké rychlosti infiltrace. Předchází se tak zvýšenému povrchovému odtoku. Když je ale rychlost infiltrace extrémně vysoká, může docházet k vyplavování živin a znečišťujících látek do podloží a podzemních vod (VÚMOP).

3.5 Hodnocení ekosystémových služeb půdy

Jelikož jsou ekosystémové služby převážně netržním zbožím, bývají při ekonomickém rozhodování vyloučeny. To způsobuje jejich podhodnocení a nadměrné využívání. Půda zajišťuje velké množství těchto služeb (viz kapitola Funkce půdy), přesto je s ní člověkem zacházeno neopatrně, což vede k její degradaci. Podle Jónssona et al. (2017) je jednou z příčin tohoto procesu opomíjení oceňování ekologických funkcí půdy při rozhodování o jejím využití.

S tím souhlasí Novák (2008), který uvádí, že by zhodnocení půdy mělo vždy probíhat z různých hledisek a tak, aby byly zahrnuty všechny její funkce. Konstatuje, že čistě ekonomické hledisko hodnocení není dostatečné a že by se do finančního ocenění půdy mělo promítnout i hledisko environmentální.

Zahrnutí hodnocení půdy do hodnocení ostatních složek životního prostředí naráží na problém roztržité podstaty informací o půdě napříč mnoha separovanými, vysoce specializovanými subdisciplínami, což omezuje jejich využitelnost mimo obor. Dalším problémem je také porozumění těmto informacím v jiných oborech, jelikož jsou údaje o půdách velmi složitě strukturované a interpretované (Drobnik et al. 2018; Bouma 2014).

Novák (2008) porovnává potenciály ekologických funkcí půdy s potenciály produkční funkce. Vybírá různé půdní vlastnosti a těm přiřazuje významnost v rámci jednotlivých funkcí půdy, a tak dochází k přibližnému zhodnocení, na jakých vlastnostech závisí jednotlivé funkce nejvíce. Jeho výsledky ukazují, že infiltrační, retenční, stabilizační i degračně-stabilizační funkce dosahují přibližně stejné důležitosti jako funkce produkční, proto není vhodné tyto ostatní z hodnocení vypustit.

3.5.1 Hodnocení půdy na základě indikátorů kvality

Hodnocením kvality půd na základě indikátorů se zabývala Kosánová (2020) ve své diplomové práci. Pro její zpracování využila data produkčních i mimoprodukčních funkcí půdy a dalších s nimi souvisejících indikátorů pro území Středočeského kraje. Hodnoty indikátorů poté rozřadila do tří kategorií – dobrá, střední, špatná. V rámci práce se také zaměřila na schopnosti těchto půd poskytovat ekosystémové služby. Dospěla k závěru, že je možné využít jak produkčních, tak i ekologických služeb půdy k určení její celkové hodnoty.

Tabulka 4 Rozdělení hodnot indikátorů kvality půdy (Kosánová 2020)

Charakteristika	dobrá (3)	střední (2)	špatná (1)
Výměnné pH	6,5-7	6,4-4,0	<4,0; >7,0
Obsah humusu [%]	>3,5	3,5-1	<1
Hloubka 1. půdního horizontu [cm]	>30	30 až 10	<10
Bonitace půd/ třídy ochrany půd	I; II	III; IV	V
Zrnitost	<25 % jílu a písku	ostatní	písek; jíl
RVK	4	3; 2	1
HSP	A	B	C; D
Průměrný úhrn srážek [mm]	550-650	500-550; 650-900	<500; >900
Nasycenost sorpčního komplexu [%]	>75	75-50	<50
Celková sorpční kapacita [mmol chem. ekv. .kg-1]	>25	25-13	<13
Kvalita ekosystému	Listnaté lesy, luční porosty, TTP	Smíšené lesy, zemědělské půdy	průmyslové areály, jehličnaté lesy
Soil sealing [%]	<5	5 až 25	>25

3.5.2 Analýza nákladů a přínosů

Analýza Cost-Benefit (CBA), tzn. analýza nákladů a přínosů, je široce využívanou metodou hodnocení ekosystému. Jde o proces identifikace, oceňování a porovnání kladů a záporů určitého projektu, politiky nebo rozhodnutí v souvislosti s dopadem na ekosystém. Hlavním cílem této analýzy je určení, zda a případně o kolik přínosy převažují nad náklady, a dále srovnání s možnými alternativami. Nevýhodou může být úzký výběr respondentů, kteří nemusí dostatečně reprezentovat základní skupinu. Problémem také může být zahrnutí pouze některých faktorů. Z hlediska ekosystémů se jedná například pouze o zajišťovací služby a ty ostatní, jako regulační, kulturní či podpůrné, mohou být zanedbány (Greenhalgh et al. 2017).

Podstatou CBA je přiřadit peněžní hodnotu ke všem nákladům a přínosům a porovnat výsledné rozdíly. Potíž může být v tom, jak tyto peněžní hodnoty přiřadit, jelikož CBA je do značné míry založena na odhalených preferencích na skutečných trzích. Například při hodnocení ekosystému se řeší i hledisko veřejného zájmu, se nímž se na formálních trzích neobchoduje, a tak nemá konkurenceschopnou tržní cenu, ze které by bylo možné hodnotu odvodit (Sijtsma 2009).

3.5.3 Multikriteriální analýza

Multikriteriální analýza (MCA) je metoda založená na seskupení dat na základě různých kritérií a jejich váhy. Jejím cílem je najít jedinou hodnotu zachycující všechny informace relevantní pro učinění rozhodnutí. Základním rysem MCA je vývoj matice, ve které je výkon údajů vážen proti každému kritériu a od níž je odvozena ona hodnota (Morato et al. 2018). Při hodnocení metodou MCA může dojít k problému při přiřazování vah jednotlivým kritériím, pokud průzkum zahrnuje příliš velké množství kritérií s poměrně malými vahami. Dalším problémem může být nedostatečně různorodé zastoupení zúčastněných stran (Sijtsma 2009).

Sijtsma (2009) pracoval ve svém zkoumání biodiverzity s kombinací těchto metod – multikriteriální analýzou nákladů a přínosů (MCCBA). Tato metoda přebírá základní

strukturu hodnocení a seskupování dopadů do uceleného formátu z MCA a kvantifikaci fyzických dopadů přejímá z analýzy CBA.

3.5.4 Analýza nákladové efektivity

Analýza nákladové efektivity (CEA) je metoda, která se nespolehá na peněžní ocenění, ale vybírá projekty na základě nákladů a efektivity ve vztahu k předem stanovenému cíli (Macmillan et al. 1998).

Jedná se o užitečný nástroj pro posuzování nákladově nejefektivnějšího programu opatření a pro hodnocení alternativních opatření, aby bylo možné vyhodnotit, zda nejsou programy opatření nepřiměřeně drahé. V CEA se zpeněžují pouze náklady na prováděcí opatření, ale účinky opatření jsou vyjádřeny fyzicky (Balana et al. 2011). Chen a Li (2018) metodu CEA využili například pro zhodnocení nejvýhodnějšího způsobu odstranění kontaminace půdy těžkými kovy.

3.5.5 Posuzování životního cyklu

Výzkumný tým ve Švýcarsku vyvinul z analýzy posuzování životního cyklu (LCA) operativní metodu posouzení dopadů využití zemědělské půdy na kvalitu půdy v orných oblastech s mírným podnebím ve střední Evropě. Jedná se o multiindikátorový přístup kombinující odborné znalosti o půdě a LCA založenou na zemědělských praktikách na orné půdě ve Švýcarsku. Metoda byla podle toho nazvána Hodnocení švýcarského zemědělského životního cyklu pro kvalitu půdy (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment – SALCA-SQ).

Její výhodou je, že za pomoci podrobných informací o postupech hospodaření v zemědělství umožňuje diferencované hodnocení účinků řízení na kvalitu půdy, jelikož dokáže zohlednit účinky různých postupů řízení a různé intenzity u shodných postupů řízení. Výsledky hodnocení slouží poté k doporučení, jak přizpůsobit postupy hospodaření k zachování, či dokonce zlepšení kvality půdy a zavedení udržitelnosti.

Metoda byla využita například v roce 2012 Oberholzerem et al., kteří pomocí několika případových studií a testů věrohodnosti došli k závěru, že je metoda použitelná a propojení pedologie a LCA se zdá být pro vývoj posuzovací metody slibné. Upozornili však na fakt, že je potřeba zredukovat množství indikátorů se zachováním přesnosti metody pro snadnější interpretaci výsledků. Oberholzer et al. k experimentu využili indikátory jako například stabilitu agregátů, obsah organických polutantů, obsah těžkých kovů, pórovitost, obsah organického dusíku či různé druhy biomasy.

3.5.6 Indexy kvality půdy

Na mezinárodní konferenci o hodnocení a monitorování kvality půdy (Rodale Institute, 1991) byly navrženy tři základní složky indexu kvality půdy – produktivita, životní prostředí a zdraví. Ukazatele kvality půdy odkazují na měřitelné vlastnosti půdy ovlivňující její produkci a ekosystémové funkce. Jako indikátory jsou voleny ty nejcitlivější vlastnosti. Jedná se obvykle o hloubku půdy, obsah organické hmoty, respiraci, agregaci, strukturu, objemovou hmotnost, infiltraci, dostupnost živin a retenční kapacitu půdy. Mnoho indikátorů mezi sebou reaguje, a hodnoty jednoho mohou být tedy ovlivněny změnami jiného (Arshad & Martin 2002).

Pouladi et al. (2020) pro vytvoření indexu kvality půdy vybrali fyzikální, chemické a biologické vlastnosti na základě jejich citlivosti a schopnosti vyjádřit komplexnost a funkčnost půd. Tyto vlastnosti obodovali a sjednotili. Ke zpracování využili analýzu hlavních komponent, s jejíž pomocí vybrali z těchto vlastností ty nejdůležitější – tzv. ukazatele kvality půdy. Jedná se o obsah organického uhlíku, obsah dusíku, fosforu a draslíku, procento nasycení, mikrobiální respiraci a populaci, zrnitost, kationtovou výměnnou kapacitu, obsah uhličitanu vápenatého, objemovou hmotnost, vodivost či stabilitu agregátů. K výpočtu indexu použili Pouladi et al. váhy jednotlivých indikátorů, které odvodili z faktorové analýzy, a jejich lineární a nelineární skóre.

Drobníkův (2019) index kvality půdy – SQUID – kombinuje funkce půdy a ekosystémové služby a byl vytvořen za účelem zapojení hodnocení půdy do hodnocení celého ekosystému, a tím i předcházení její degradace. Půda je zde tedy hodnocena na základě své schopnosti podporovat různé ekosystémové služby. K propojení funkcí půdy s ekosystémovými službami je zde dosaženo využitím metody Delphi. Za nevýhodu SQUID Drobník považuje jeho nepoužitelnost při obecném hodnocení kvality půdy, doporučuje však jeho použití při konkrétním posuzování dvou způsobů využití půdy.

3.5.7 Delphi metoda

Linstone a Turoff (2002) charakterizují Delphi jako metodu vypořádávání se s komplexním problémem skupinou jednotlivců využitím strukturovaného skupinového komunikačního procesu. K dosažení zmíněné strukturované komunikace je nutná zpětná vazba k jednotlivým informacím a znalostem, příležitost pro jednotlivce přezkoumat různé názory a dále hodnocení skupinového úsudku a závěru.

Delphi obvykle prochází čtyřmi fázemi. V první fázi dochází ke zkoumání problematiky a zařazování relevantních informací. Druhá fáze zahrnuje proces odborného posuzování těchto informací, jejich porozumění a vyjádření k důležitosti, vhodnosti a proveditelnosti. V třetí fázi se diskutují výrazné neshody mezi odbornými názory a zjišťují se jejich příčiny. V poslední fázi je vytvořeno závěrečné hodnocení, ve kterém je po zanalyzování nashromážděných informací provedeno další posouzení (Linstone & Turoff 2002).

Tato metoda byla využita k hodnocení půdy v provincii Jiangsu v Číně (Qi et al. 2009). Pomocí Delphi byly vybrány a seřazeny indikátory kvality půdy několika odborníky, kteří poté upravili svůj výběr po přezkoumání výběru ostatních. Tento proces se opakoval třikrát. Poté byl pro výpočet vah použit proces analytické hierarchie (viz níže). Delphi využívá dále Zhang a Xi (2021) pro sestavení ukazatelů ekonomické ztráty při znečištění půdy.

3.5.8 Saatyho metoda

Saatyho metoda, taktéž proces analytické hierarchie, je obecná teorie měření zabývající se párovým srovnáním stanovených kritérií a určením jejich priorit. Použití této metody spočívá v porovnání dvojic proměnných v rámci jedné matice, kde jsou jim přiřazovány číselné hodnoty od 1 do 9 podle stupně jejich důležitosti (Saaty 1987; Saaty 1994; Saaty 1984; Kudláč et al. 2017).

Tabulka 5 Bodové vyjádření rozdílu významnosti kritérií podle Saatyho (Kudláč et al. 2017)

počet bodů	deskriptor
1	Kritéria jsou stejně významná.
3	První kritérium je slabě významnější než druhé.
5	První kritérium je dosti významnější než druhé.
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé.
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé.

Hodnoty 2, 4, 6, 8 lze využít k jemnějšímu rozlišení rozdílu v důležitosti u dvojic kritérií (Kudláč et al. 2017).

Z matice jsou poté získány váhy jednotlivých proměnných. Saatyho metoda je také vhodná pro analýzu složitěji strukturovaných problémů a v takových případech se právě využívá výše zmíněná hierarchie, která umožňuje porovnání jednotlivých faktorů v rámci různých vrstev (Saaty 1987; Saaty 1994; Saaty 1984; Kudláč et al. 2017).

Saatyho metoda je komplexní rámec navržený tak, aby si poradil s mírou subjektivity při multikritériálním rozhodování tím, že rozloží problém na jednotlivé části. Metoda dále obsahuje vnitřní měření inkonzistence pro každou vrstvu i celé hierarchie. Její znalost poté umožňuje určit ty úsudky, které je potřeba opětovně zhodnotit (Harker & Vargas 1987).

Saaty (1995) uvádí čtyři principy, na nichž je proces analytické hierarchie založen, a to rozklad (1), stanovení priorit (2), syntéza (3) a analýza citlivosti (4).

Saatyho metodu využil Bozali (2020) při posuzování ochranné funkce lesních ekosystémů v souvislosti s půdní erozí. Pomocí této analýzy zhodnotil vliv různých faktorů na erozi. Výsledky metody mu posloužily pro mapové zpracování citlivých skupin půd a identifikaci oblastí vhodných pro zavedení funkcí ochrany půdy podle rizika eroze. Použitou metodu zhodnotil k tomuto účelu jako flexibilní a dostatečně praktickou.

Vulević et al. (2014) využili proces analytické hierarchie ke stanovení prioritních oblastí vzhledem ke zranitelnosti s ohledem na erozi půdy. Za výhody této metody považují její robustnost a flexibilitu.

Dále byla metoda využita pro zjištění nejlepšího způsobu posouzení vhodnosti půdy pro různé zavlažovací systémy (Miháliková & Dengiz 2019), kde byla porovnána parametrická metoda s metodou multikritériální analýzy právě v podobě Saatyho AHP. Proces analytické hierarchie byl vyhodnocen jako flexibilnější a citlivější, jelikož obsahuje rozřazení hodnot na základě odborných znalostí. V parametrické metodě jsou hodnoty seřazovány pomocí rovnice.

3.6 Související legislativa

V České republice je půda v legislativě zakotvena v rámci čtyř kategorií – bonitace a cena půdy, pozemkové úpravy, evidence půdy, vlastnictví půdy a ochrana půdy (Janků). Následující právní předpisy se v souvislosti s diplomovou prací týkají bonitace a ceny půdy a ochrany půdy.

V rámci těchto dvou kategorií je třeba zmínit zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. Zemědělský půdní fond (ZPF) je zde definován jako „základní přírodní bohatství naší země, nenahraditelný výrobní prostředek umožňující zemědělskou výrobu a jedna z hlavních složek životního prostředí“. Dále zákon vymezuje pozemky, jež jsou jako součást ZPF vnímány. Jedná se o pozemky zemědělsky obhospodařované i pozemky, které dočasně obhospodařované nejsou, ale jsou k tomu určeny. Konkrétně se jedná o ornou půdu, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady a trvalé travní porosty. V zákoně jsou také určeny podmínky změny využití zemědělské půdy či odnětí ze ZPF, zásady ochrany zemědělské půdy a další. Zákon doplňuje vyhláška č. 271/2019 Sb., o stanovení postupů k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu.

BPEJ jsou spravovány vyhláškou č. 227/2018 Sb., o charakteristice bonitovaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich vedení a aktualizaci. Jsou zde vymezeny jednotlivé klimatické regiony, hlavní půdní jednotky, hodnocení sklonitosti, expozice, skeletovitosti a hloubky půdy.

Dalším právním předpisem týkajícím se ochrany půdy je vyhláška č. 48/2011 Sb., o stanovení tříd ochrany. Ta vymezuje třídy ochrany půdy stanovované pomocí bonitované půdně ekologické jednotky. V příloze vyhlášky jsou jednotlivé kódy BPEJ přiřazeny do konkrétních tříd ochrany.

Ochrana půdy je zakotvena také v dalších zákonech či jiných předpisech, nejdůležitější z nich jsou uvedeny níže:

- zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů,
- zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů,
- zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů,
- zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství,
- nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programem.

Oceňování půdy je legislativně upraveno zákonem č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku a o změně některých zákonů. Úřední cenu půdy udává kód BPEJ.

4 Metodika

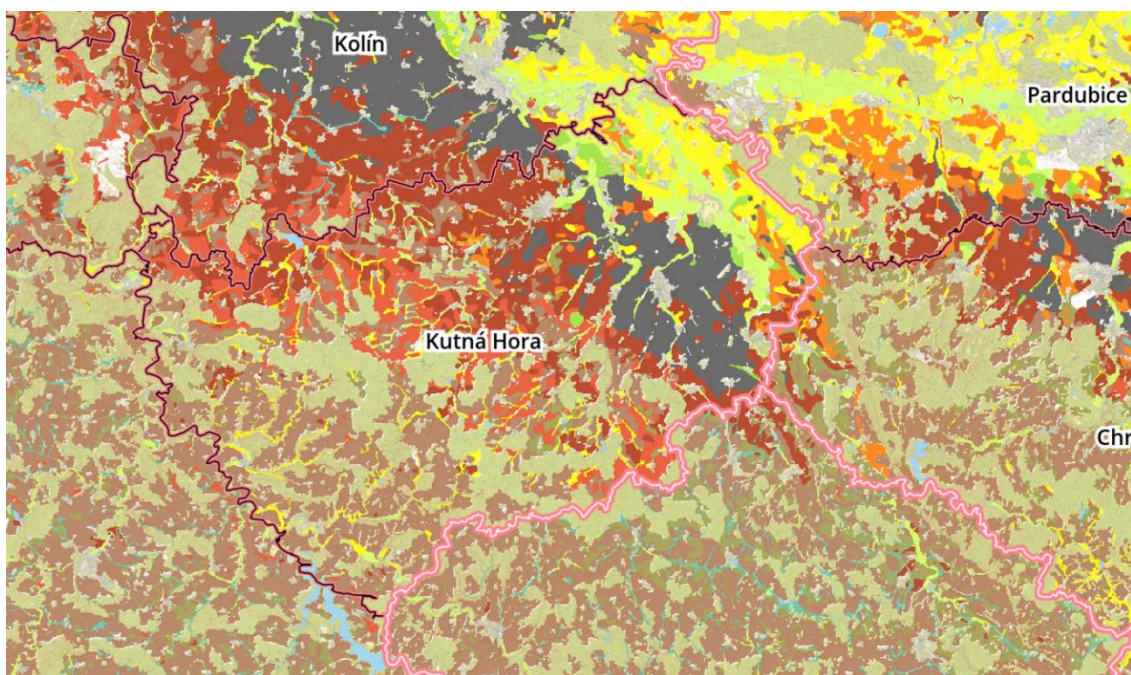
4.1 Charakteristika území

Pro otestování metody hodnocení půdy v rámci diplomové práce byl vybrán okres Kutná Hora nacházející se na jihovýchodním okraji Středočeského kraje.

Podloží v okolí okresního města tvoří převážně nezpevněné sedimenty, zejména spraše a sprašové hlíny. Zbytek okresu pokrývají metamorfované horniny jako ortorula, pararula či dvojslídkové svory.

V celém okrese se vyskytují poměrně kvalitní půdy. Nejčastějším půdním typem na tomto území jsou hnědozemě zastoupené rovnoměrně po celém okrese. Dále se zde hojně vyskytují kambizemě a luvizemě, místy také černozemě mající své největší zastoupení na východě okresu kolem města Čáslav. Na severovýchodě tohoto správního celku, u hranic s Pardubickým krajem, se nachází oblast, kde výrazně dominují fluvizemě.

Půdy v Kutné Hoře se vzhledem ke své historii, kdy zde ve středověku probíhala těžba a zpracování stříbrné rudy, potýkají s kontaminací některými rizikovými prvky. Znečištění se netýká bezprostředně míst, kde důlní činnost probíhala, ale vlivem vodní a větrné eroze došlo také k jeho rozšíření do nejbližšího okolí města (Sáňka 2003).



Obrázek 3 Zastoupení půdních typů v okrese Kutná Hora (vumop.cz)

4.2 Získání dat

Ke zpracování diplomové práce byla použita data z databáze KPOP, většina z nich byla naměřena při komplexním průzkumu půd probíhajícím v letech 1961–1970. Informace týkající se hydrologické skupiny půd, klimatického regionu, expozice ke světové straně a skeletovitosti byly získány z eKatalogu BPEJ spravovaným Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy. Informace o retenční vodní kapacitě byly poskytnuty rovněž Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy a pochází z projektu Ministerstva zemědělství (NAZV QJ1520026). Data o kvalitě ekosystému pochází z CORINE Land Cover 2012.

Pro testování Saatyho metody byla vybrána data z hloubky 0–30 cm a 30–60 cm. Obě hloubky byly v rámci práce hodnoceny odděleně.

4.3 Zpracování dat

K otestování vhodnosti Saatyho metody k hodnocení kvality půd bylo vybráno několik kritérií zahrnujících jak přímo fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, tak i ostatní charakteristiky, které tyto vlastnosti ovlivňují. Společně pak tyto vlastnosti určují hodnotu půdy.

Vybraná kritéria byla rozdělena na variabilní a konstantní podle toho, jakou mají tendenci kolísat v čase. Toto rozdělení je zobrazeno v následující tabulce.

Tabulka 6 Rozdělení vybraných variabilních a konstantních kritérií (vlastní zpracování)

variabilní kritéria	konstantní kritéria
pH KCl	zrnitost
obsah humusu	hloubka humusového horizontu
kationtová výměnná kapacita	skeletovitost
nasycenost sorpčního komplexu	svažitost
retenční vodní kapacita	expozice ke světové straně
obsah fosforu	klimatický region
obsah draslíku	
objemová hmotnost	

Mezi variabilní kritéria spadají výše zmíněné fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy měnící se v čase. Konstantní kritéria zahrnují zejména charakteristiky dané místem výskytu jednotlivých půd, jako je klimatický region, nadmořská výška či členitost terénu.

V rámci těchto dvou variant byla pak na základě názorů odborníků z Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na České zemědělské univerzitě v Praze kritéria párově porovnána z hlediska jejich významu pro zjišťovanou hodnotu půdy. Dvojice kritérií byly porovnány a obodovány na škále od 1 do 9 podle rozdílu jejich důležitosti, přičemž hodnota devět znamenala největší důležitost. Bodové hodnocení bylo zpracováno do Saatyho matice.

Tabulka 7 Saatyho matice (vlastní zpracování podle Saaty 1984)

	K1	K2	K3
K1	1	x	y
K2	1/x	1	z
K3	1/y	1/z	1

Každé párové porovnání obsahuje číselnou hodnotu přiřazenou ke kritériu vyhodnoceném v půdě jako důležitější a její převrácenou hodnotu přiřazenou naopak ke kritériu s menší důležitostí.

U výsledné Saatyho matice byla pro kontrolu vypočítána její konzistentnost.

Pro každé kritérium byl vypočítán geometrický průměr, jednotlivé průměry byly následně sečteny a vznikla jejich suma.

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

(Kudláč et al. 2017)

Pomocí geometrického průměru bylo dále možné vypočítat váhy jednotlivých kritérií. Geometrický průměr každého kritéria byl vydělen sumou geometrických průměrů všech kritérií (viz vzorec níže).

$$\frac{\bar{x}_{Gn}}{\sum \bar{x}_G}$$

(Kudláč et al. 2017)

Pro vypočítané váhy platily následující podmínky:

1. Součet všech vah musí být rovný 1.
2. Váhy jednotlivých kritérií musí odpovídat jejich důležitosti stanovené v předchozím kroku.

V dalším kroku byly stanovené váhy vyjádřeny procentuálně. Byla také porovnána důležitost obecně variabilních a konstantních kritérií. Variabilní kritéria byla vyhodnocena jako důležitější a byla jim přiřazena 60% váha, konstantním kritériím váha 40 %. Stejným způsobem se porovnály produkční i mimoprodukční funkce – 95 % produkční, 5 % mimoprodukční.

Následně bylo nutné vytvořit další škálu, pomocí které byla data jednotlivých charakteristik převedena na číselné hodnoty vhodné ke statistickému zpracování. Škála byla navržena tak, aby bylo možné hodnoty zařadit do tří skupin podle toho, zda jsou pro půdu optimální či nikoliv. Pro toto posouzení bylo zvoleno bodové hodnocení od 1 do 10.

1–3 body	nevyhovující podmínky
4–6 bodů	vyhovující podmínky
7–10 bodů	optimální podmínky

Přiřazené body byly poté vynásobeny spočítanými vahami jednotlivých parametrů. Vzniklá bodová skóre každého parametru byla sečtena a vynásobena vahou buď variabilních, nebo konstantních kritérií, stejně tak jejich celkovou vahou a vahou produkční funkce. Tím vzniklo celkové bodové skóre pro konkrétní půdní blok.

Stejný postup byl aplikován i při hodnocení mimoprodukčních funkcí půdy. Byla vybrána dvě kritéria – hydrologická skupina půdy a kvalita ekosystému. Tato kritéria prošla opět hodnocením v rámci Saatyho matice, pomocí geometrického průměru byla vypočítána jejich váha. Vynásobením váhy přiřazenými body obou kritérií následně vzniklo bodové skóre mimoprodukční funkce půdy, které bylo ještě dále vynásobeno vahou pro mimoprodukční funkce. Jelikož se v práci hodnotí dva horizonty, bylo bodové skóre násobeno ještě dvěma za oba horizonty.

4.3.1 Saatyho matice

Níže uvedené Saatyho matice byly vytvořeny na základě názorů odborníků z Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na České zemědělské univerzitě v Praze.

Tabulka 8 Saatyho matice pro proměnná kritéria produkční funkce půdy (zpracování na základě názorů odborníků z ČZU)

	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

Tabulka 9 Saatyho matice pro stabilní kritéria produkční funkce půdy (zpracování na základě názorů odborníků z ČZU)

	zrnitost	KR	mocnost	skeletovitost	expoze	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
expoze	1/7	1/5	1/5	1	1	1
svažitost	1/7	1/5	1/5	1/3	1	1

Tabulka 10 Saatyho matice pro kritéria mimoprodukční funkce půdy (zpracování na základě názorů odborníků z ČZU)

	HSP	Kvalita ekosystému
HSP	1	5
Kvalita ekosystému	1/5	1

4.3.2 Použité vzorečky

Pro výpočet bodového skóre variabilních kritérií byl použit vzorec:

$$b_v = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \dots + v_n \cdot b_n) \cdot n_i \cdot V_v \cdot V_p$$

b_p ... bodové skóre variabilních kritérií

v_n ... váhy jednotlivých variabilních kritérií

b_n ... body jednotlivých variabilních kritérií

n_i ... počet všech kritérií produkční i mimoprodukční funkce

V_v ... váha variabilních kritérií

V_p ... váha produkční funkce půdy

Pro výpočet bodového skóre konstantních kritérií byl použit vzorec:

$$b_k = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \dots + v_n \cdot b_n) \cdot n_i \cdot V_k \cdot V_p$$

b_k ... bodové skóre konstantních kritérií

v_n ... váhy jednotlivých konstantních kritérií

b_n ... body jednotlivých konstantních kritérií

n_i ... počet všech kritérií produkční i mimoprodukční funkce

V_k ... váha konstantních kritérií

V_p ... váha produkční funkce půdy

Pro výpočet bodového skóre mimoprodukčních funkcí byl použit vzorec:

$$b_m = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2) \cdot n_i \cdot V_m \cdot 2$$

b_m ... bodové skóre mimoprodukční funkce

v_n ... váhy kritérií

n_i ... počet všech kritérií produkční i mimoprodukční funkce

V_m ... váha mimoprodukční funkce půdy

4.3.3 Bodové škály pro rozřazení naměřených dat

Pro statistické zpracování musela být data jednotlivých kritérií převedena na číselné hodnoty. K tomuto účelu byly použity tabulky s doporučenými hodnotami uvedené Sánkou et al. (2018).

Tabulka 11 Bodová škála proměnných indikátorů kvality půdy (zpracováno podle Sánka et al. 2018; VÚMOP – BPEJ)

Proměnné indikátory	poznámka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výměnné pH		<3,99	4–4,49	4,5–4,99	5–5,49	5,5–5,99	6–6,49	6,5–6,69	6,7–6,79	6,8–6,99	7–7,1
		>8	7,8–7,99	7,7–7,79	7,6–7,69	7,5–7,59	7,4–7,49	7,3–7,39	7,2–7,29	7,11–7,19	
Obsah humusu		<0,49	0,5–0,99	1–1,49	1,5–1,89	1,9–2,29	2,3–2,69	2,7–2,99	3–3,99	4–4,99	>5
RVK				4		3		2			1
V		<19,99	20–29,99	30–39,99	40–49,99	50–59,99	60–69,99	70–79,99	80–89,99	90–94,99	95–100
T (KVK)		<6,99	7–9,99	10–12,99	13–15,99	16–18,99	19–20,99	21–23,99	24–26,99	27–29,99	>30
P	O	<49,99	50–64,99	65–79,99	80–94,99	95–109,99	110–134,99	135–144,99	145–164,99	165–184,99	>185
P	TTP	<24,99	25–36,99	37–49,99	50–62,99	63–75,99	76–89,99	90–109,99	110–129,99	130–149,99	>150
K	O, lehká	<99,99	100–129,99	130–159,99	160–199,99	200–237,99	238–274,99	275–309,99	310–344,99	345–379,99	>380
K	O, střední	<104,99	105–137,99	138–169,99	170–217,99	218–264,99	265–309,99	310–346,99	347–382,99	383–419,99	>420
K	O, těžká	<169,99	170–214,99	215–259,99	260–289,99	290–319,99	320–349,99	350–402,99	403–455,99	456–509,99	>510
K	TTP, lehká	<69,99	70–109,99	110–149,99	150–179,99	180–209,99	210–239,99	240–276,99	277–312,99	313–349,99	>350
K	TTP, střední	<79,99	80–119,99	120–159,99	160–189,99	190–219,99	220–249,99	250–299,99	300–349,99	350–399,99	>400
K	TTP, těžká	<109,99	110–159,99	160–209,99	210–239,99	240–269,99	270–299,99	300–356,99	357–413,99	414–469,99	>470
Objemová hmotnost		>1,8	1,8–1,6	1,6–1,5	1,5–1,45	1,45–1,4	1,4–1,35	1,35–1,3	1,3–1,25	1,25–1,2	<1,2

Tabulka 12 Bodová škála stabilních indikátorů kvality půdy (zpracováno podle Sánka et al. 2018; VÚMOP – BPEJ)

Stabilní indikátory	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zrnitost % č. <0,01		0–4,99	5–9,99	10–14,99	15–19,99	20–29,99	30–34,99	35–39,99		40–44,99
		>75	70–74,99	65–69,99	60–64,99	55–59,99	50–54,99		45–49,99	
KR	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Mocnost 1. horiz (cm)	<1,99	2–4,99	5–9,99	10–14,99	15–19,99	20–24,99	25–29,99	30–34,99	35–39,99	>40
Skelet		9	8		3,4,6			2,5	1,7	0
Svažitost	8,9		6,7		4,5			1,2,3		0
Expozice	3,5,7,9									0,1,2,4,6,8

Tabulka 13 Bodová škála indikátorů mimoprodukční funkce půdy (zpracováno podle VÚMOP; Sáňka et al. 2018)

Mimoprodukční indikátory	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kvalita ekosystému					O					TTP
HSP	D		C		B					A

5 Výsledky

5.1 Tabulky

V následující podkapitole jsou uvedeny tabulky s vytvořeným bodovým hodnocením pro naměřená data. Výsledné body jsou v rámci každé tabulky barevně rozlišeny, aby byl zvýrazněn rozdíl v kvalitě parametrů. Nejtmavší odstín znamená nejlepší půdní poměry. Tabulky 14–17 obsahují následující údaje:

1. bodová skóre proměnných kritérií produkční funkce půdy v obou zkoumaných horizontech,
2. bodová skóre stabilních kritérií produkční funkce půdy v obou zkoumaných horizontech,
3. bodové skóre mimoprodukčních funkcí půdy,
4. výpočty bodového skóre pro produkční funkci v obou zkoumaných horizontech, výpočty bodového skóre pro mimoprodukční funkce půdy a výsledná hodnota půdy po spojení produkční i mimoprodukční funkce.

V tabulce 14, která zobrazuje bodové hodnocení jednotlivých proměnných kritérií, lze v obou hloubkách půdního profilu zaznamenat nízký obsah fosforu a draslíku, jejichž hodnoty, zejména pak hodnoty draslíku, se v rámci hodnocených půd pohybují převážně v kategorii *nevyhovující*. Ze všech kritérií vychází nejlépe kationtová výměnná kapacita a nasycenost sorpčního komplexu. Hodnoty těchto vlastností v mnoha případech dosahují plného počtu bodů. Z bodového hodnocení spodního horizontu je patrné snížení bodů půdní reakce a obsahu humusu. Přibližně stejná hodnota zůstává v obou hloubkách pro objemovou hmotnost.

Následující tabulka (tabulka 15) obsahuje bodové hodnocení stabilních charakteristik. Z tabulky je možné pozorovat, že zrnitost byla ve většině případů vyhodnocena jako *optimální* v celé zkoumané hloubce půdního profilu. Téměř u všech odebíraných půd byly hodnoty skeletovitosti, sklonitosti a expozice hodnoceny nejvyšším počtem bodů. Největší zastoupení má v této oblasti klimatický region teplý, mírně vlhký, s průměrným ročním úhrnem srážek 550–650 (700) mm, který je opět zařazen mezi podmínky *optimální*.

Tabulka 16 obsahuje hodnocení mimoprodukčních funkcí půdy. Je z ní patrné, že půdy posuzované v rámci výzkumu jsou klasifikovány převážně jako orná půda, trvalý travní porost je méně častý. Zastoupení hydrologických tříd A, B a C je zde poměrně rovnoměrné, skupina D se v okrese vyskytuje nejméně.

Celkové skóre produkční funkce půdy v hloubce do 30 cm i v hloubce od 30 do 60 cm je zobrazeno na tabulce 17. Dále tabulka obsahuje skóre mimoprodukčních funkcí a celkové bodové skóre půdy po započítání jak produkční, tak mimoprodukční funkce. Podle srovnání barevné škály rozlišující bodové hodnoty v rámci jednotlivých kategorií lze vyvodit, že celkovou kvalitu půdy snižují její mimoprodukční funkce, které jsou výrazně horší než funkce produkční. I přesto má celková hodnota půdy ve většině případů vysoké hodnoty – nejčastěji přesahuje 200 bodů.

Tabulka 14 Bodové hodnocení proměnných indikátorů kvality půdy (vlastní zpracování)

ID	pHKCl_30	pHKCl_60	hum_30	hum_60	P2O5_30	P2O5_60	K2O_30	K2O_60	T_30	T_60	V_30	V_60	RVK	BD_30	BD_60	Skóre prom 0_30	Skóre prom 30_60
236	7	9	6	5	10	6	5	3	5	5	10	10	3	6	7	38	36
237	6	6	8	6	1	1	1	1	9	9	7	7	6	7	7	42	38
238	8	9	5	4	9	6	2	1	5	5	9	9	3	7	7	36	33
239	9	9	4	3	10	7	2	1	5	6	9	9	3	6	8	33	34
240	5	5	5	4	1	1	1	1	3	3	5	5	5	6	6	29	27
241	4	5	6	4	10	10	1	1	5	5	10	10	3	6	5	36	31
242	5	6	4	3	4	3	2	2	4	5	10	10	10	7	7	37	36
243	5	4	5	3	1	1	2	1	2	2	5	3	5	3	3	25	19
244	4	4	6	4	1	9	3	2	7	10	4	3	6	4	4	31	30
245	5	6	8	5	1	3	1	1	5	4	4	4	10	4	4	36	31
246	2	1	8	6	2	4	1	1	2	1	10	10	5	2	2	32	28
247	5	5	6	4	1	1	1	1	3	2	1	2	5	4	5	25	23
248	5	4	3	2	1	1	1	1	2	2	4	4	5	5	6	22	21
249	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1			5	3	3		
250	6	6	4	3	1	1	5	3	4	3	7	6	3	6	7	29	26
251	5	5	4	3	1	1	1	1	4	3	5	5	5	5	7	26	26
KH43	5	5	8	5	1	1	1	1	10	9	5	5	5	6	7	39	34
KH44	5	5	10	8	1	3	1	1	8	6	4	4	5	5	5	39	35
KH45	1	1	8	7	4	3	1	1	8	7	10	10	3	6	6	39	36
KH46	4	4	7	6	10	9	2	1	9	9	10	10	3	7	7	42	39
KH01	5	4	5	4	2	1	1	1	7	7	10	10	3	7	8	35	34
KH02	5	3	6	5	5	3	1	1	7	7	10	10	5	6	7	38	36
KH03	9	6	5	5	3	2	1	1	5	6	9	10	3	6	6	33	34
KH04	10	8	5	4	6	5	1	1	6	7	9	9	3	6	6	35	33
KH05	9	10	5	4	10	10	1	1	5	5	7	8	3	6	7	33	34
KH06	2	1	9	8	9	6	1	1	10	9	10	10	3	6	6	44	40
KH07	6	6	4	3	1	1	1	1	5	7	7	7	3	7	7	30	29
KH08	5	5	4	3	1	1	1	1	5	5	10	10	3	6	7	30	30
KH09	8	10	4	3	2	1	1	1	10	10	8	9	3	6	8	33	35
KH10	5	6	3	2	1	4	1	1	3	4	6	7	6	6	7	26	28
KH11	6	5	4	3	1	1	1	1	3	3	6	5	3	6	6	26	23
KH12	9	8	3	2	1	1	1	1	3	4	6	6	5	5	6	26	25
KH14	7	6	3	2	1	1	1	1	3	3	7	7	3	5	6	24	23
KH15	9	9	3	2	2	1	1	1	5	5	8	8	5	6	7	30	29
KH16	9	7	4	3	1	1	1	1	5	5	7	7	3	5	6	28	27
KH17	6	6	4	3	1	1	1	1	4	4	6	7	3	5	6	26	26
KH18	5	5	4	3	1	1	1	1	5	5	6	6	5	4	5	26	26
KH19	9	7	4	2	1	1	1	1	4	4	7	7	3	4	6	26	24
KH20	10	8	4	2	1	5	1	1	5	4	8	7	5	6	6	32	27
KH21	5	5	3	2	1	1	1	1	3	3	4	5	3	4	6	20	21
KH22	9	7	4	3	1	1	1	1	4	5	8	8	3	6	7	30	29
KH23	9	9	3	2	1	1	1	1	4	4	7	7	5	3	3	25	23
KH24	6	6	5	4	4	1	2	2	4	3	9	8	5	3	3	30	26
KH25	9	7	5	3	1	1	5	5	4	3	7	6	5	3	2	29	22
KH26	5	6	4	3	1	1	3	1	5	4	7	7	5	3	3	26	24
KH27	5	5	5	3	1	1	1	1	4	4	5	6	5	3	3	26	23
KH28	7	6	5	3	1	1	3	1	4	4	6	6	5	3	4	28	24
KH29	6	6	4	3	1	1	1	1	6	6	5	5	5	3	3	25	24
KH30	7	7	3	2	1	1	1	1	3	4	6	7	5	3	3	23	22
KH31	9	9	6	4	10	10	5	5	5	4	8	8	5	3	3	35	30
KH33	5	6	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	5	2	2	14	16
KH34	10	5	3	2	2	2	1	1	3	2	8	9	3	3	3	24	21
KH36	2	4	5	3	5	2	1	1	3	2	10	9	5	2	2	28	23
KH38	5	4	4	3	1	1	1	1	4	3	10	10	5	4	4	29	26
KH39	2	2	4	3	4	2	1	1	8	7	10	10	3	6	5	32	28
KH40	6	5	4	3	9	5	1	1	3	3	10	10	3	3	3	28	25

Tabulka 15 Bodové hodnocení proměnných indikátorů kvality půdy
(vlastní zpracování)

ID	zrnitost <0,01_30	zrnitost <0,01_60	KR	Mocnost 1. horizontu	Mocnost 2. horizontu	Skelet	Sklonitost	Expozice	Skóre stabilní 0_30	Skóre stabilní 30_60
236	10	10	7	8	8	10	10	10	82	82
237	4	5	7	7	7	10	10	10	57	61
238	9	7	7	7	5	10	10	10	76	65
239	9	7	7	7	7	10	10	10	76	69
240	9	9	3	6	10	5	10	10	63	69
241	8	8	7	8	6	10	10	10	74	71
242	10	9	5	8	5	9	5	10	75	66
243	7	7	5	6	6	9	10	10	62	62
244	8	8		7	7					
245	8	8	3	6	5	9	8	10	61	59
246	4	3	5	6	5	9	8	10	49	44
247	7	8	3	7	5	9	8	10	59	59
248	10	10	5	7	7	9	10	10	75	75
249	7	6	3	4	7	5	8	10	51	52
250	9	9	3	6	5	10	10	10	67	65
251	9	7	5	7	6	9	10	10	72	62
KH43	5	4	5	5	6	10	10	10	53	51
KH44	9	9	5	6	7	9	10	10	70	72
KH45	9	9	7	8	5	10	10	10	78	73
KH46	6	6	7	7	6	10	10	10	65	63
KH01	7	6	7	7	6	10	8	10	68	62
KH02	9	9	7	6	7	9	10	10	74	76
KH03	10	9	7	7	8	10	10	10	80	78
KH04	10	9	7	8	8	10	10	10	82	78
KH05	9	9	7	8	4	10	10	10	78	72
KH06	7	7	7	6	10	10	8	10	66	72
KH07	7	7	7	7	6	10	10	10	69	67
KH08	9	9	5	6	4	10	10	10	71	68
KH09	9	7	7	7	4	10	10	10	76	64
KH10	10	9	7	7	6	10	10	10	80	75
KH11	10	9	5	6	5	10	8	10	74	68
KH12	10	9	7	6	4	9	10	10	78	71
KH14	8	10	5	5	4	10	10	10	65	72
KH15	9	9	5	7	6	9	8	10	71	69
KH16	10	9	5	7	6	10	10	10	76	71
KH17	10	9	5	6	5	10	10	10	75	69
KH18	10	10	5	6	4	9	10	10	74	71
KH19	8	10	5	6	5	10	10	10	67	73
KH20	9	9	3	7	5	9	10	10	67	64
KH21	9	9	5	6	6	8	10	10	69	69
KH22	10	9	5	6	5	10	10	10	75	69
KH23	6	4	3	5	9	9	8	10	52	50
KH24	8	7	5	7	6	5	10	10	65	59
KH25	7	6	5	6	7	9	10	10	62	60
KH26	8	6	7	6	3	5	8	10	66	54
KH27	8	7	5	6	6	5	8	10	62	58
KH28	8	8	3	6	7	9	8	10	61	63
KH29	10	8	3	6	8	9	5	10	67	63
KH30	7	7	3	6	5	9	10	10	58	56
KH31	7	6	7	5	5	9	8	10	64	60
KH33	4	3	7	7	5	9	10	10	56	49
KH34	6	4	7	6	5	10	10	10	63	54
KH36	3	3	7	6	5	10	10	10	51	50
KH38	7	7	7	6	6	9	8	10	65	65
KH39	9	10	7	7	6	10	10	10	76	79
KH40	8	7	7	8	8	10	10	10	74	70

Tabulka 16 Bodové hodnocení indikátorů kvality mimoprodukční funkce půdy (vlastní zpracování)

ID	HSP	Kvalita ekosystému	SKÓRE MIMOPRODUKČNÍ FUNKCE
236	5	5	8
237	3	5	5
238	3	5	5
239	3	5	5
240	3	5	5
241	5	5	8
242	3	5	5
243	5	5	8
244	10	10	16
245	1	10	4
246	5	5	8
247	5	5	8
248	5	5	8
249	5	10	9
250	3	5	5
251	5	5	8
KH43	1	10	4
KH44	5	10	9
KH45	1	5	3
KH46	5	5	8
KH01	5	5	8
KH02	5	5	8
KH03	3	5	5
KH04	3	5	5
KH05	3	5	5
KH06	5	5	8
KH07	3	5	5
KH08	3	5	5
KH09	3	5	5
KH10	3	10	7
KH11	3	5	5
KH12	5	5	8
KH14	3	5	5
KH15	5	5	8
KH16	3	5	5
KH17	1	5	3
KH18	5	5	8
KH19	1	5	3
KH20	3	10	7
KH21	3	5	5
KH22	3	5	5
KH23	5	5	8
KH24	5	5	8
KH25	5	5	8
KH26	5	5	8
KH27	5	5	8
KH28	3	5	5
KH29	5	5	8
KH30	3	5	5
KH31	5	5	8
KH33	10	5	15
KH34	1	5	3
KH36	10	5	15
KH38	5	5	8
KH39	5	5	8
KH40	5	5	8

Tabulka 17 Celková hodnota půdy zahrnující produkční i mimoprodukční funkce půdy (vlastní zpracování)

ID	CELKOVÉ SKÓRE 0_30	CELKOVÉ SKÓRE 30_60	SKÓRE MIMOPRODUKČNÍ FUNKCE	CELKOVÁ HODNOTA PŮDY
236	120	118	8	246
237	99	99	5	203
238	112	99	5	216
239	110	102	5	217
240	91	96	5	193
241	110	102	8	220
242	112	102	5	220
243	87	81	8	176
244			16	
245	97	90	4	192
246	81	72	8	161
247	83	82	8	173
248	98	97	8	202
249			9	
250	95	91	5	191
251	98	88	8	194
KH43	92	85	4	181
KH44	109	106	9	225
KH45	117	110	3	230
KH46	106	103	8	217
KH01	103	96	8	207
KH02	112	112	8	232
KH03	114	111	5	230
KH04	117	111	5	233
KH05	111	106	5	222
KH06	110	113	8	231
KH07	98	96	5	200
KH08	101	97	5	204
KH09	110	99	5	214
KH10	107	103	7	217
KH11	100	92	5	197
KH12	104	97	8	208
KH14	90	95	5	190
KH15	101	98	8	207
KH16	104	98	5	207
KH17	100	95	3	198
KH18	100	97	8	205
KH19	93	97	3	193
KH20	99	91	7	198
KH21	89	91	5	185
KH22	104	98	5	207
KH23	76	73	8	157
KH24	95	85	8	188
KH25	92	82	8	182
KH26	93	78	8	178
KH27	88	81	8	177
KH28	88	87	5	181
KH29	93	86	8	187
KH30	81	79	5	165
KH31	99	90	8	197
KH33	71	65	15	150
KH34	87	74	3	164
KH36	79	72	15	166
KH38	94	92	8	194
KH39	108	107	8	223
KH40	102	95	8	204

5.2 Mapové výstupy

V programu ArcGIS bylo vytvořeno osm mapových výstupů zobrazujících bodové hodnocení kvality půdy v okrese Kutná Hora. V mapách je zobrazeno bodové skóre variabilních kritérií v hloubkách 0–30 cm a 30–60 cm, stabilních kritérií v hloubkách 0–30 cm a 30–60 cm, celkové bodové skóre produkční funkce půdy v hloubkách 0–30 cm a 30–60 cm, mimoprodukční funkce půdy a celkové bodové skóre půdy při kombinaci produkční i mimoprodukční funkce půdy a obou horizontů. Kvalita půdy je vždy vyhodnocena pro jednotlivé půdní sondy a platí pro vzdálenost do 1 km od místa odběru. Podle výsledného bodového skóre jsou tyto půdy rozděleny do 5 kategorií kvality, které jsou od sebe barevně rozlišeny.

Na obrázku 4 je zobrazena mapa proměnných charakteristik v hloubce 0–30 cm. Ta znázorňuje celkové bodové skóre půdních vlastností – pH KCl, obsah humusu, kationtovou výměnnou kapacitu, nasycenost sorpčního komplexu, retenční vodní kapacitu, obsah fosforu, obsah draslíku a objemovou hmotnost. Z mapy je patrné, že půdní vlastnosti v kutnohorském okrese dosahují zejména dobrých až středních hodnot. Nejlepšího bodového skóre dosahují půdy kolem měst Kutná Hora a Čáslav. Tři lokality na tomto území spadají do nejvyšší kategorie hodnocení. Dvě se vyskytují právě v bezprostřední blízkosti zmíněných měst, třetí se nachází kousek od hranic s Pardubickým krajem na severozápadě kutnohorského okresu. Naopak nejnižší skóre mají půdy převážně na jihovýchodě okresu u hranice s krajem Vysočina a také v západní části okresu nedaleko města Sázava. Kolem řeky Sázavy, která protéká po západní hranici okresu, se z hlediska půdních vlastností vyskytují spíše průměrné až méně kvalitní půdy. V okrese se vyskytují dvě místa, jež jsou zařazena do nejnižší kategorie kvality pro své proměnné charakteristiky. Jedno z nich se nachází na jižní hranici okresu, druhé na hranici severozápadní.

Mapa na obrázku 5 znázorňuje stejně jako ta předchozí (obrázek 4) proměnné charakteristiky, nyní v hloubce 30–60 cm od povrchu. Z mapy je patrné, že s přibývajícím hloubkou mírně klesá kvalita proměnných kritérií. Opět platí, že se půdy s vyšším bodovým hodnocením nachází u měst Kutná Hora a Čáslav. V těchto místech je i přes pokles bodového skóre oproti svrchní vrstvě kvalita půdy vysoká. Do nejvyšší kategorie zde ovšem spadají již jen dvě lokality. Ve zbytku okresu se po poklesu bodového skóre dostává kvalita na poměrně nízkou úroveň, většina půd zde spadá do předposlední kategorie.

Na mapách níže (obrázek 6 a 7) jsou vykresleny hodnoty stabilních charakteristik půd v horizontech od 0 do 30 cm a od 30 do 60 cm. V obou případech lze pozorovat velký nárůst bodového skóre ve srovnání s proměnnými charakteristikami. Mapa na obrázku 6 zobrazuje velké množství půd zařazených do kategorie s nejvyšší kvalitou půdy z hlediska stabilních kritérií. Nejedná se již pouze o místa kolem Kutné Hory a Čáslavi, kvalita dosahuje vysokých hodnot na téměř celém území okresu. Jedinou výjimkou je jeho jihozápadní část, kde je kvalita těchto faktorů spíše průměrná. I tak ale dosahuje lepších kategorií než faktory proměnné. To se týká zejména půd v blízkosti města Sázava, kde v případě proměnných charakteristik dosahovaly body nízkých hodnot, ale body u stabilních se vyskytují i v nejlepší kategorii.

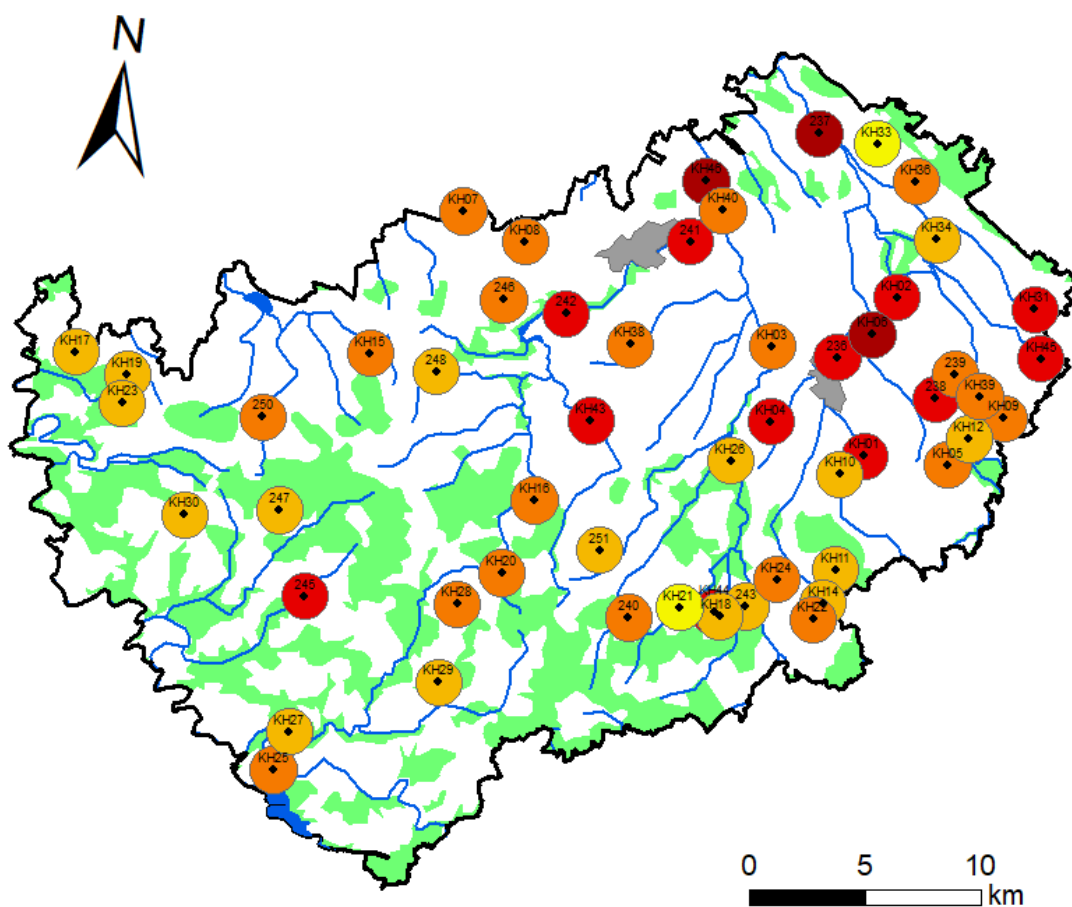
Stejně jako u proměnných charakteristik byl zaznamenán pokles bodového skóre ve spodnějším půdním horizontu (obrázek 7). I přes to je jejich bodové hodnocení vyšší než v případě proměnných charakteristik. Lépe jsou na tom půdy na jihozápadě okresu, které si i v této hloubce zachovaly průměrné skóre. K výraznému zlepšení dochází na západě okresu v blízkosti města Sázavy i v této hloubce. Kategorie kvality se rovněž zvýšila poblíž řeky Sázavy. Podle mapy se zde vyskytují průměrné hodnoty stabilních charakteristik.

Celkové bodové skóre určující hodnotu produkční funkce půdy v hloubce 0–30 cm prezentuje mapa na obrázku 8. Jak můžeme z mapy pozorovat, půdy zařazené do nejvyšší kategorie kvality se opět nacházejí ve velkém zastoupení v okolí města Čáslav. Další takovou oblastí s vysokým bodovým skóre je Kutná Hora, tam se ale kvalita půdy oproti Čáslavi mírně snižuje. V hloubce od 30 cm je zřetelný větší rozdíl v kvalitě půdy mezi Čáslaví a Kutnou Horou. Zatímco kolem Čáslavi se bodové skóre drží vysokých hodnot, u Kutné Hory dochází ke snížení až na průměr. Vyskytuje se tu pouze jedno odběrové místo v nejnižší kategorii, a to na severovýchodě na hranici s Pardubickým krajem. V hloubce půdy nad 30 cm zobrazené na obrázku 9 pak do této kategorie spadla další tři místa. Dvě z nich se nacházejí opět severovýchodně u hranic okresu. Hodnota produkční funkce půdy je nižší než ve svrchním horizontu. Co se kvality půdy týče, není tento rozdíl velmi výrazný.

Mimoprodukční funkce půdy zahrnující hydrologickou skupinu půd a kvalitu ekosystému, která se zaměřuje na využití půdy, zobrazuje obrázek 10. V okrese Kutná Hora se tyto hodnoty pohybují spíše pod průměrem. Výjimkou je oblast na hranici s Pardubickým krajem, kde se hodnoty nacházejí naopak v nejvyšší kategorii. Nejzastoupenější je zde bodová kategorie 5,3–8 bodů. V nejnižší kategorii se nachází zejména půda v blízkosti města Sázavy, kde se tyto hodnoty pohybují v rozmezí 2,7–5,3 bodů. Bodové hodnocení 8–13,3 bodů, což by odpovídalo průměrné a lehce nadprůměrné hodnotě mimoprodukčních funkcí půdy, nesplňuje ani jedna ze zkoumaných lokalit.

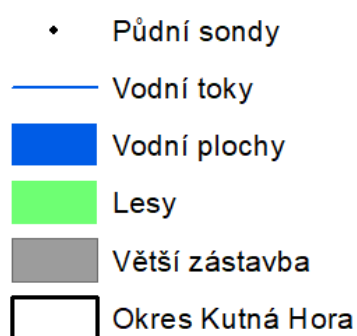
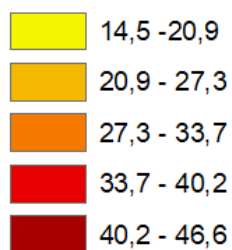
Na obrázku 11 je zobrazena celková hodnota půdy po započítání její produkční i mimoprodukční funkce. Největší kvalitu lze zaznamenat v okolí města Čáslav, kde se vyskytují půdy v nejvyšší kategorii, která se pohybuje od 225 do téměř 246 bodů. I půdy v blízkosti okresního města Kutné Hory dosahují vysoké kvality. Směrem na jih a jihozápad od těchto dvou měst se kvalita půdy snižuje. U města Zruč nad Sázavou a dále po hranici okresu podél řeky Sázavy má půda v rámci hodnocení až podprůměrnou kvalitu. Místa s nejnižším bodovým hodnocením se v okrese vyskytují pouze tři.

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



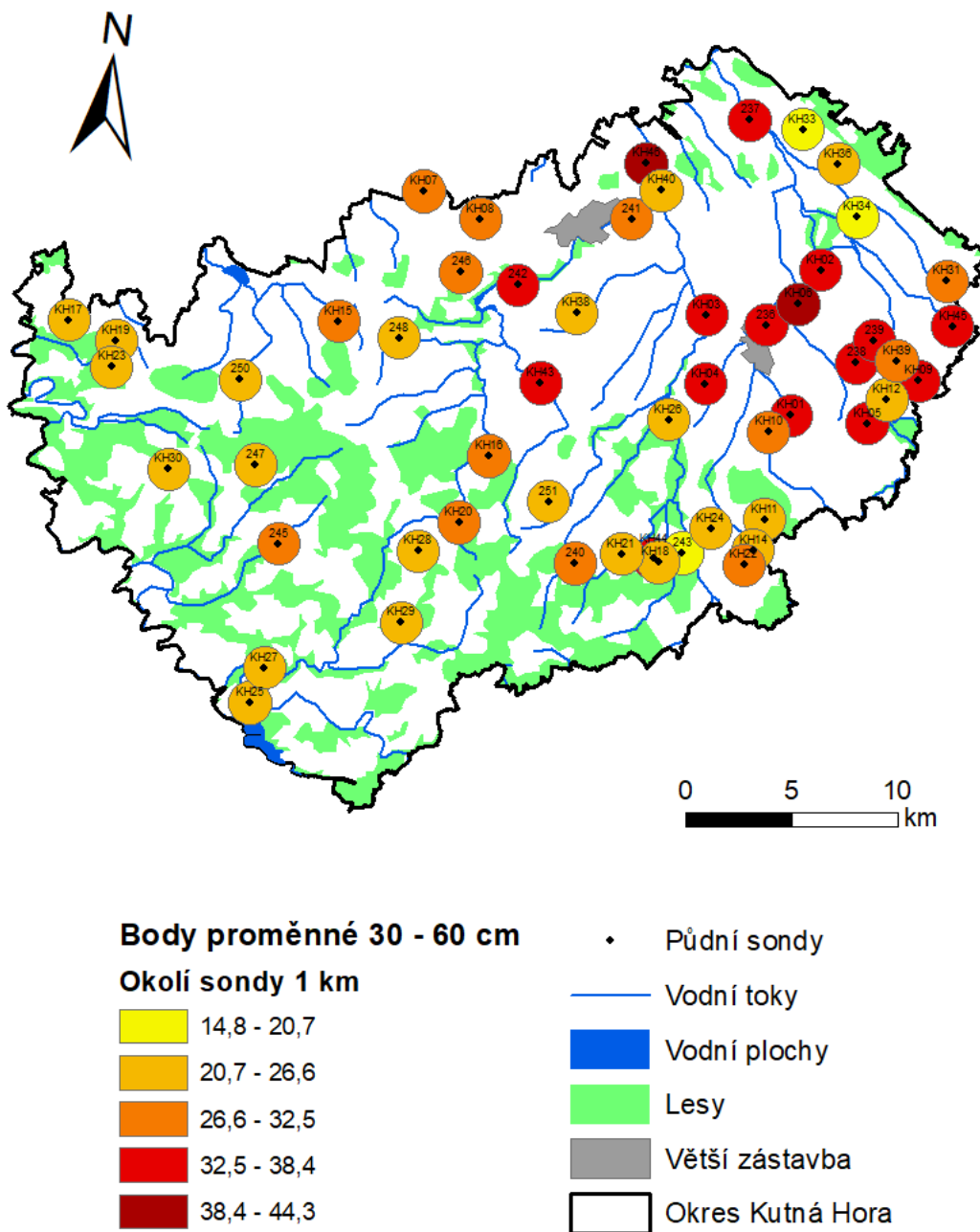
Body proměnné 0 - 30 cm

Okolí sondy 1 km



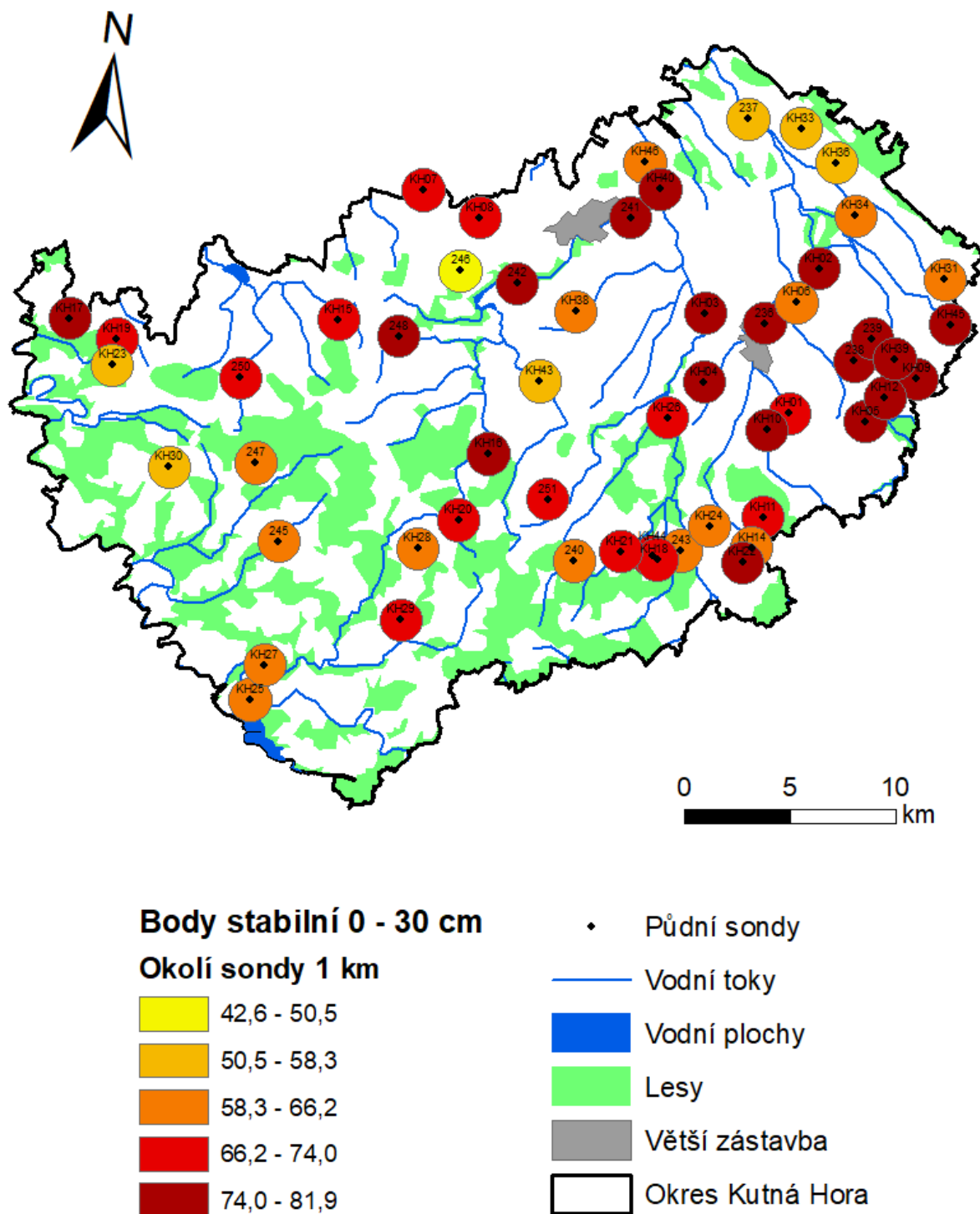
Obrázek 4 Mapa znázorňující kvalitu proměnných indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm

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



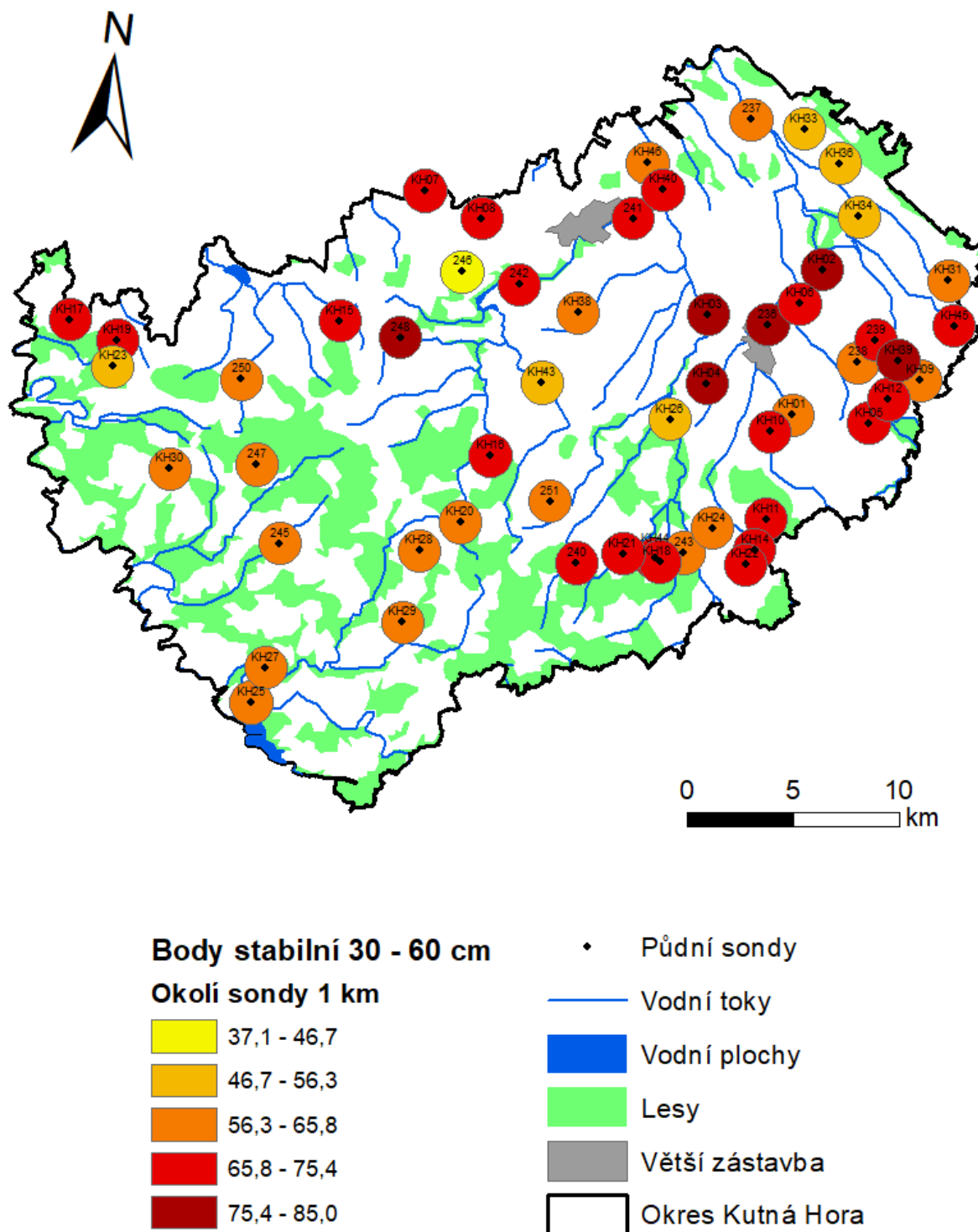
Obrázek 5 Mapa znázorňující kvalitu proměnných indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm

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



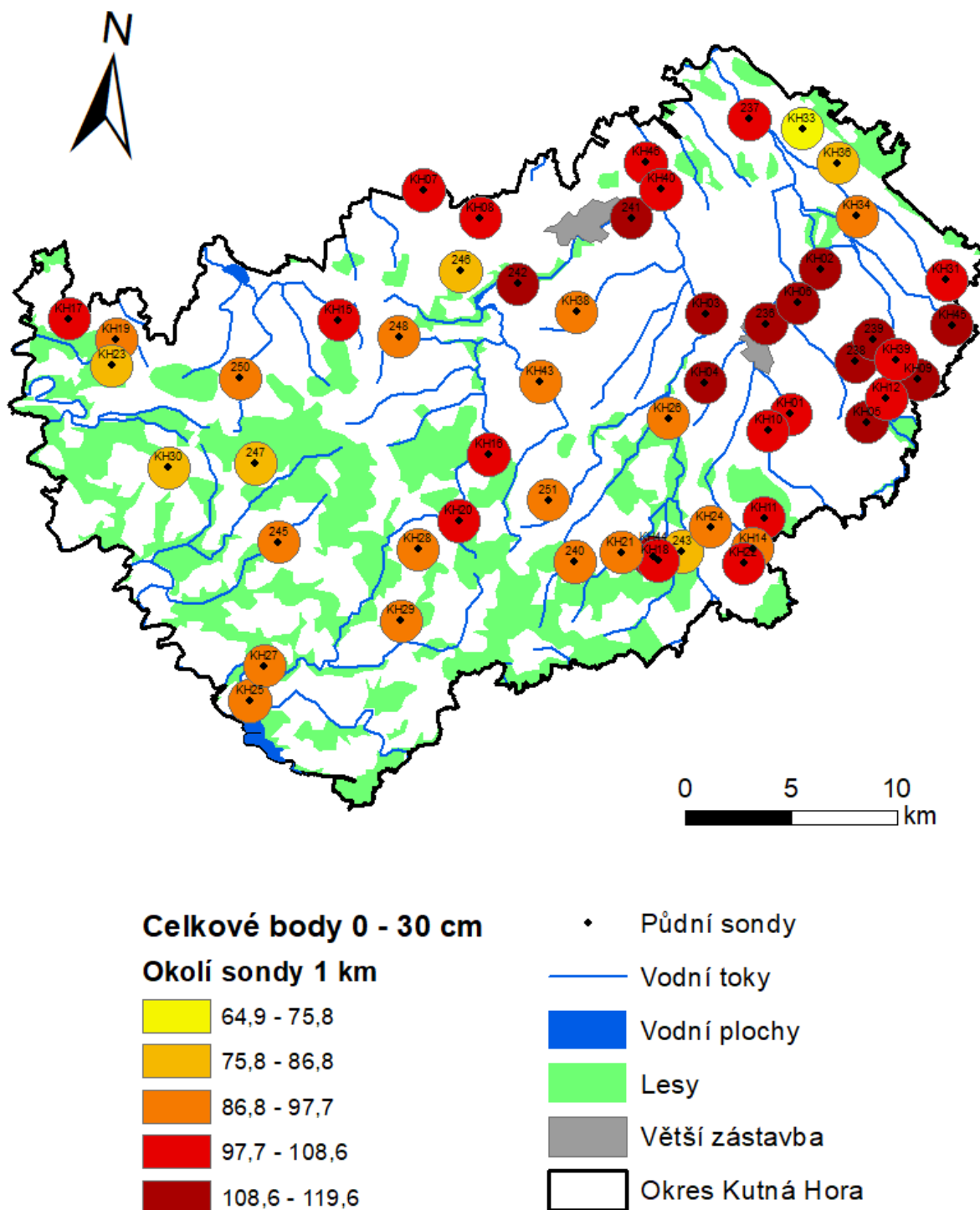
Obrázek 6 Mapa znázorňující kvalitu stabilních indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm

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



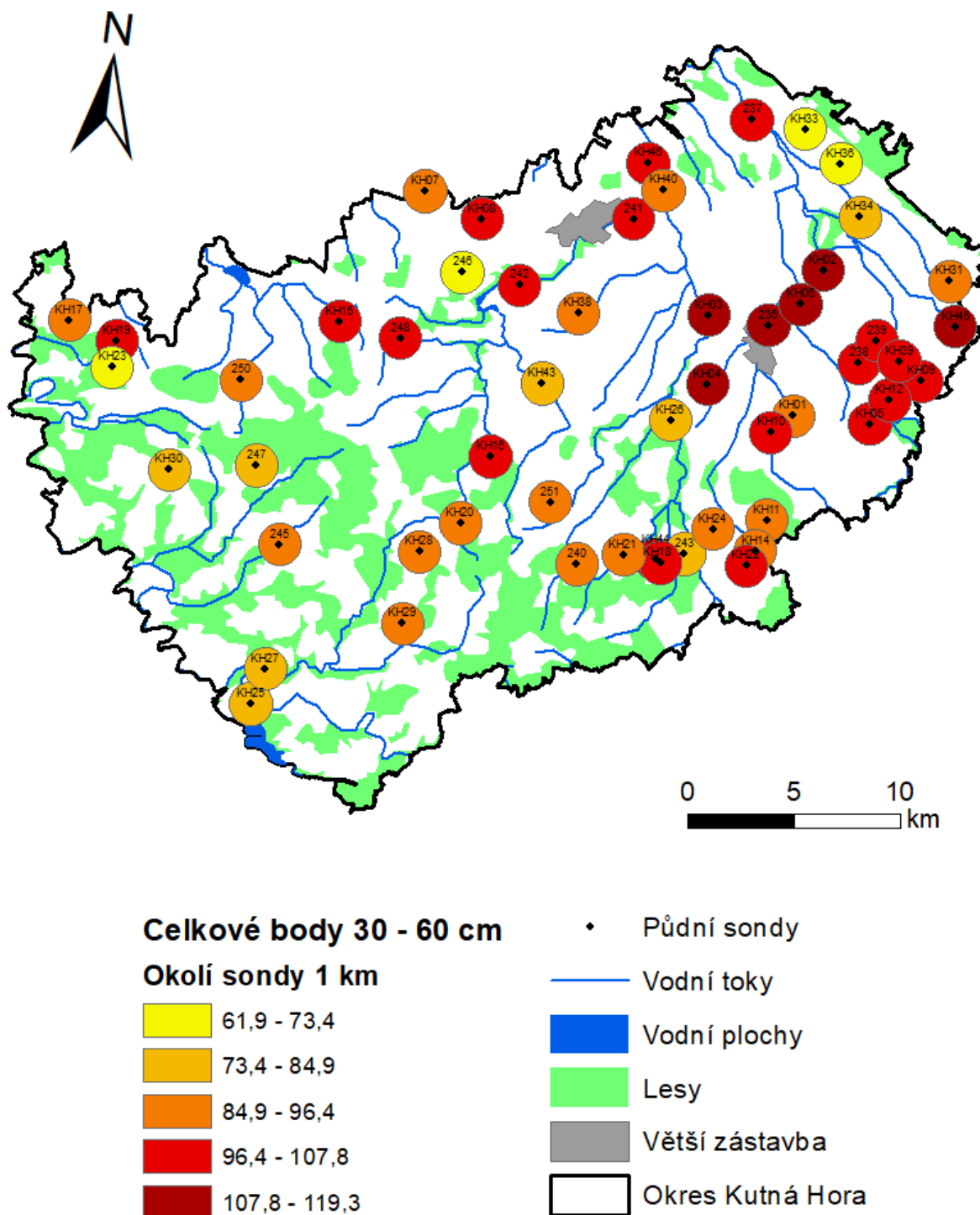
Obrázek 7 Mapa znázorňující kvalitu stabilních indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm

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



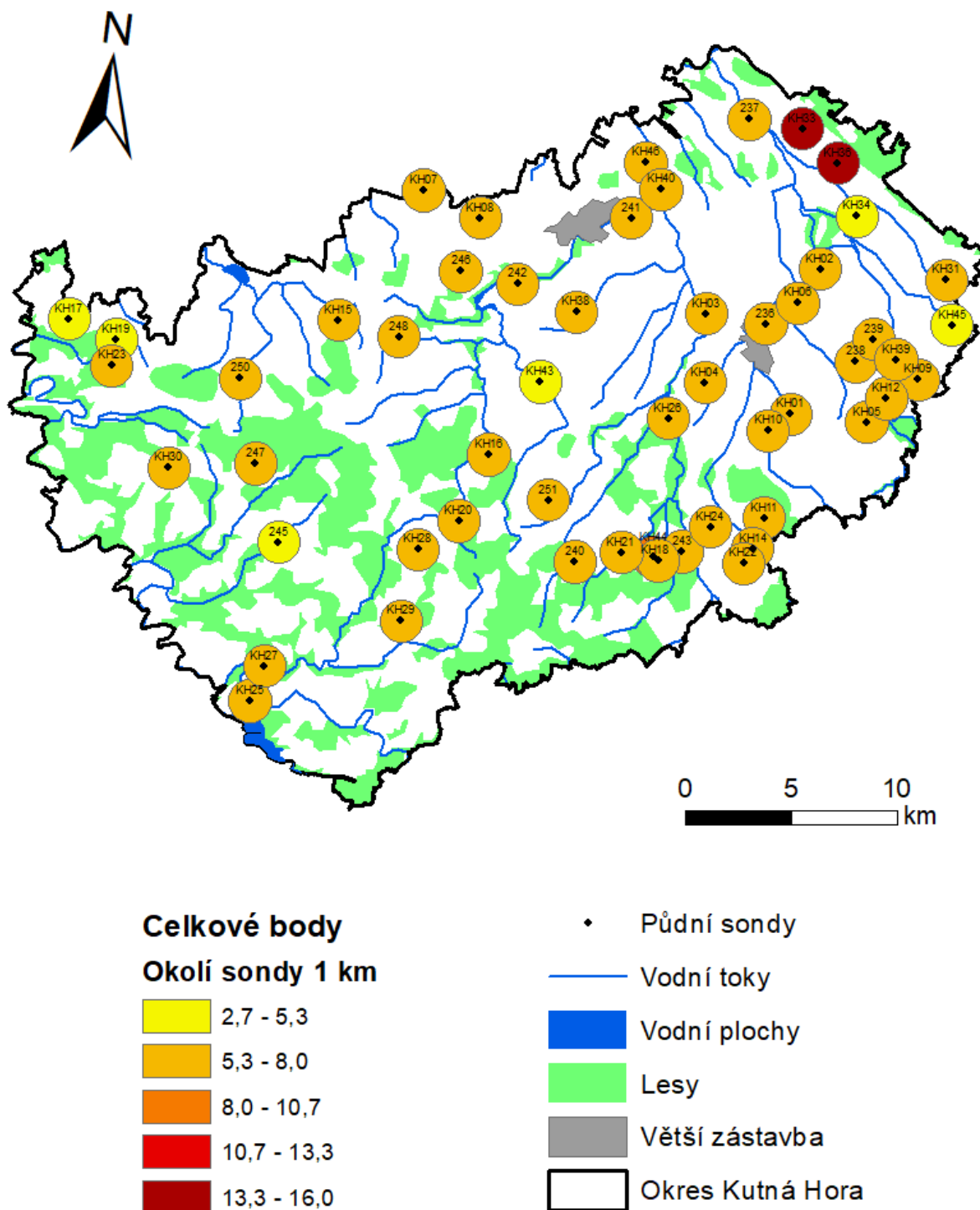
Obrázek 8 Mapa znázorňující kvalitu produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm

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



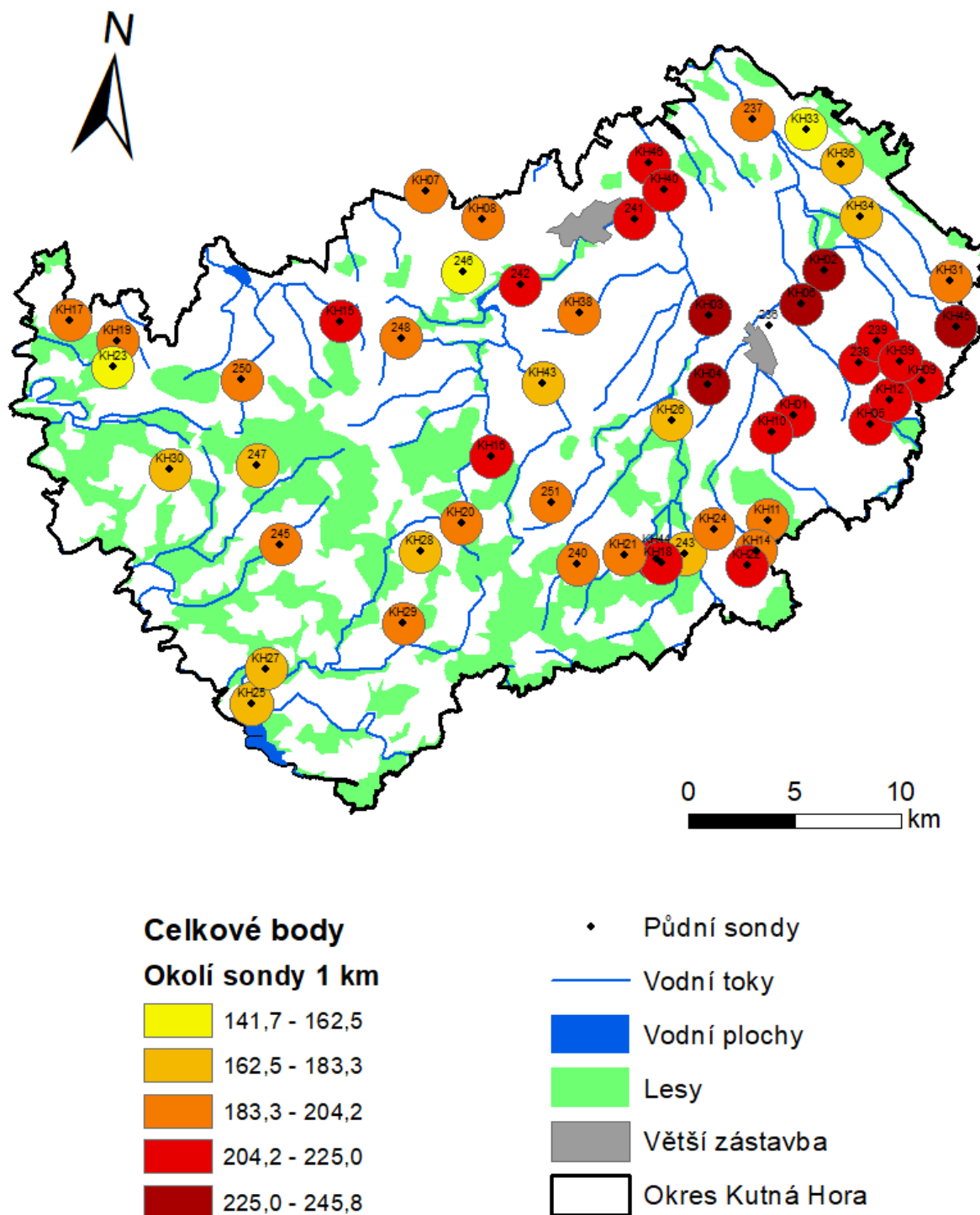
Obrázek 9 Mapa znázorňující kvalitu produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm

Výsledné body pro mimoprodukční funkci půdy



Obrázek 10 Mapa znázorňující kvalitu mimoprodukční funkce půdy v okrese Kutná Hora

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



Obrázek 11 Mapa znázorňující celkovou hodnotu půdy v okrese Kutná Hora

6 Diskuze

Po vyhodnocení výsledků lze tvrdit, že půda v okrese Kutná Hora dosahuje vysoké kvality. V rámci okresu je znatelný rozdíl mezi půdou, která se nachází severněji v oblastech okolo měst Kutná Hora a Čáslav, kde jsou půdy kvalitnější, a zbytkem okresu, kde půdy dosahují spíše průměrných hodnot. Rozdíly jsou také v kvalitě produkční a mimoprodukční funkce půdy. Produkční funkce, a zejména stabilní faktory jako zrnitost, obsah skeletu či expozice, dosahují vyššího bodového skóre a jejich váha podstatně převyšuje váhu funkcí mimoprodukčních. To se pak projevuje na celkové hodnotě půdy. Stejně tak ovlivňuje celkovou hodnotu porovnání proměnných a stabilních faktorů, při kterém byla větší váha přiřazena těm stabilním.

Zrnitostnímu složení půdy byla v rámci výzkumu přiřazena vysoká důležitost, což odpovídá tvrzení Nováka (2008) o jeho velkém vlivu na ostatní půdní vlastnosti. Půda na Kutnohorsku je převážně hlinitá a jílovitohlinitá, přičemž taková zrnitost je optimální, a má tedy vysoké bodové hodnocení. Jako další velmi důležité kritérium byl stanoven obsah humusu, jeho hodnoty v hodnoceném okrese jsou ovšem nízké. Vysokých hodnot dosahovala nasycenost sorpčního komplexu, která poměrně silně ovlivňovala celkovou hodnotu proměnných faktorů. V půdách se až na výjimky nachází velmi nízký obsah fosforu a draslíku.

Při srovnání výsledků s půdními typy, které se v okrese nacházejí, byla u půd s předpokládanou vysokou kvalitou tato kvalita potvrzena. Nejvyšší byla zaznamenána u města Čáslav, kde se nachází černozemě. U Kutné Hory jsou zase nejvíce zastoupené hnědozemě. Obě tyto půdy vykazují velmi dobrou kvalitu, což se potvrdilo ve výsledcích výzkumu. Od těchto měst směrem na jih pokrývají většinu území kambizemě. To se odráží i na kvalitě půdy, která zde klesá a je spíše průměrná, někdy až podprůměrná.

V okolí vodních toků se rozprostírají luvizemě a pseudogleje a tvoří uprostřed okresu pomyslnou hranici mezi kvalitnějšími půdami a kambizemí. Tento přechod je vidět i na mapách uvedených v páté kapitole. Půdy zde již mají nižší bodové skóre než kolem měst, udržují si však stále dobrou až průměrnou kvalitu. Nejnižší kvalita je zaznamenána na severu, kde okres hraničí s Pardubickým krajem. Důvodem je pravděpodobně zastoupení fluvizemí v těchto místech. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že přiřazení vah jednotlivým kritériím a skupinám souhlasí s významem jejich vlivu na kvalitu půdy.

Stanovená hypotéza byla potvrzena. Saatyho metoda byla zhodnocena jako vhodný prostředek pro hodnocení ekologických služeb půdy.

V diplomové práci se podařilo zhodnotit kvalitu půdy s využitím indikátorů kvality. Tyto indikátory byly využity i v rámci jiných metod hodnocení. Například Oberholzer et al. (2012) je využili v analýze posuzování životního cyklu. Vyhodnotili ovšem, že interpretace výsledků je za použití většího množství indikátorů složitá. Dále indikátory využili Pouladi et al. (2020) k tvorbě indexu kvality půdy. Drobník (2019) při tvorbě indexu využil metodu Delphi, kterou zhodnotil jako vhodnou metodu porovnání dvou variant využití půdy. Saatyho metoda je ovšem použitelná i pro obecné hodnocení půdy, což bylo prokázáno v této diplomové práci. Metoda Delphi dále vyžaduje vyjádření velkého množství odborníků a následné zpracování jejich názorů, Saatyho metoda je v tomto ohledu časově méně náročná.

Kosánová (2020) ve své diplomové práci zpracovala data o půdních a klimatických podmínkách spolu s informacemi o využití území, aby prokázala, že lze jejich kombinaci použít

jako indikátory produkční schopnosti a ekosystémových služeb půdy. Pro charakteristiky vytvořila bodovou škálu zahrnující tři kategorie kvality půdy – dobrou, střední a špatnou. Z tohoto hlediska došlo v této práci v porovnání s Kosánovou k rozšíření, jelikož hodnotám zvolených indikátorů byly přiřazeny body od 1 do 10, čímž byla zvýšena citlivost metody na změny.

Údaje z BPEJ byly v diplomové práci rozšířeny o další faktory ovlivňující kvalitu půdy. Přiřazení ceny ke vzniklému bodovému skóre by poté nepočítalo pouze s produkční schopností půdy, ale zahrnovalo by další, které jsou při stávajícím hodnocení upozadřovány. Němeček et al. (1985) aplikovali postup bodování pro stanovení produkčního potenciálu zemědělských půd za pomoci BPEJ. Po srovnání výsledků Saatyho metody s hodnotami produkčního potenciálu vypočítaném podle této metodiky (viz příloha I a 2) lze spatřit rozdíl mezi těmito hodnotami při srovnání produkčního potenciálu s celkovou hodnotou půdy, ale i s bodovým skóre její produkční funkce pro oba horizonty. Nelze ovšem s přesností určit, který systém bodování je přesnější. Saatyho metoda ovšem umožňuje detailnější hodnocení a zahrnutí dalších funkcí půdy, a je tedy možné předpokládat, že i stanovení produkční funkce může být přesnější, a tím pádem vhodnější pro hodnocení kvality půdy. Výsledky obou metod se ale shodují v tom, že okres Kutná Hora obsahuje převážně půdy s průměrnou až vysokou produkční schopností.

Saatyho metoda byla v oblasti hodnocení týkající se ochrany životního prostředí použita například Bozalim (2020), Vulević et al. (2014) či Mihálikovou a Dengizem (2019), kteří metodu označili jako flexibilní, robustní a citlivou. To se potvrdilo i v rámci této práce.

Lingner a Borg (2000) poukazují na důležitost řešit společně s hodnocením půdy i jiné zúčastněné oblasti. V rámci hodnocení Saatyho metodou by bylo možné, vzhledem k její flexibilitě a komplexnosti, zahrnout i další faktory související s ostatními složkami životního prostředí, jako je výskyt a mobilita rizikových prvků, náchylnost půdy k erozi a podobně. Například při hodnocení půdy u Kutné Hory hraje velkou roli znečištění rizikovými prvky, se kterým se zdejší půdy potýkají. Při uvážení jejich vlivu by mohla hodnota půdy v této oblasti prudce klesnout. Vzhledem k tomu, že se všechna vybraná kritéria navzájem ovlivňují, určitý vliv na ostatní oblasti byl již do hodnocení zařazen.

V diplomové práci je na půdu pohlíženo z hlediska jejího plného potenciálu, který Karlen et al. (1997) definují jako přirozenou schopnost půdy fungovat bez ohledu na to, zda je tohoto potenciálu využíváno. Doran a Parkin (1994) doporučují zahrnout do hodnocení také variabilitu způsobů hospodaření a klimatických podmínek. Do hodnocení půdy Saatyho metodou byly tyto faktory zahrnuty a dle výsledků lze konstatovat, že kvalitu půdy skutečně ovlivňují. Pro větší jistotu by bylo možné přidat další faktory a provést statistické šetření, aby se potvrdila výše jejich vlivu.

Vzhledem k postupu při navrhování metody se dá předpokládat, že největší rozdíly při případném opakování by způsobilo rozdílné zhodnocení důležitosti jednotlivých kritérií, které je tvořeno odborníky, jejichž názory se liší. K těmto rozdílům dochází zejména při stanovení výše rozdílu kritérií. Tomu by se dalo zabránit například dalšími výzkumy pro sjednocení výše rozdílu v důležitosti jednotlivých parametrů, které by vedly ke snížení vlivu subjektivity.

Dále k odlišnostem může dojít při výběru indikátorů kvality půdy. V rámci různých pokusů o hodnocení ekosystémových služeb půdy docházelo k výběru jiných indikátorů. Pouladi et al. (2020) zvolili jako indikátory mimo jiné také obsah dusíku, mikrobiální respiraci a populaci, obsah uhličitanu vápenatého, vodivost či stabilitu agregátů. Naopak u volby

některých indikátorů panuje shoda – obsah fosforu a draslíku, procento nasycení, zrnitost, KVK nebo objemová hmotnost. K výběru indikátorů zvolili analýzu hlavních komponent. Na volbu indikátorů má vliv zejména dostupnost dat či nepravidelnost měření. Ta může způsobit nepřesnosti v hodnocení aktuálního stavu půdy zejména u proměnných faktorů.

V případě, že by došlo k pravidelnému měření půdních vlastností, mohla by být Saatyho metoda velmi jednoduchou a přesnou metodou určující kvalitu půdy a její změny v čase. V rámci diplomové práce byl zvolen přístup k hodnocení kvality půdy, který pohlíží na půdu nejen jako na výrobní faktor, ale také bere v úvahu její ostatní funkce. Součástí diplomové práce je zpracování i funkce ekologické, ovšem širším záměrem je zahrnout do hodnocení také například sociální či kulturní aspekty kvality půdy.

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala hodnocením ekosystémových služeb půdy v okrese Kutná Hora. Pro tyto účely byla použita Saatyho metoda, díky které bylo možné pomocí Saatyho matice zahrnout do hodnocení půdy i váhy jednotlivých indikátorů její kvality. Prostřednictvím proměnných a stabilních indikátorů byla hodnocena produkční funkce půdy a funkce mimoprodukční. Dílčí výsledky hodnocení produkční funkce byly vytvořeny zvlášť pro dva horizonty v hloubce 0–30 cm a 30–60 cm a také zvlášť pro proměnné a stabilní indikátory, mimoprodukční funkce se hodnotila dohromady pro oba horizonty. Nejdůležitějším výstupem byla poté celková hodnota půdy obsahující kombinaci všech dílčích výsledků.

Nekvalitnější půdy v okrese se vyskytovaly v okolí měst Čáslav a Kutná Hora. Kvalita se snižovala směrem na jihozápad okresu. Nižší kvalita půdy byla zjištěna také na hranicích okresu s Pardubickým krajem. Produkční funkce vykazovala lepší hodnoty než funkce mimoprodukční. Stabilní kritéria obdržela vyšší bodové skóre než proměnná kritéria. Vyšší hodnota byla zaznamenána zpravidla u svrchnějšího horizontu.

Hypotéza, že je Saatyho metoda vhodná pro hodnocení kvality půdy, byla potvrzena. Výsledky hodnocení indikátorů kvality půdy Saatyho metodou odpovídají předpokládané kvalitě půdy v kutnohorském okrese. Cílem diplomové práce bylo navrhnout a otestovat metodu hodnocení půdy, jež má schopnost odrážet všechny její ekosystémové služby, které mohou ovlivňovat její kvalitu, a tak i hodnotu a cenu.

V rámci diplomové práce byl vytvořen základ pro sestavení nové metody hodnocení ekosystémových služeb půdy, která by byla schopná pojmout široké množství kritérií, a tím poskytnout přesnější informace o kvalitě půdy. V diplomové práci byla správnost postupu rovněž ověřena na půdách v okrese Kutná Hora a vyhodnocena jako účinná.

Výsledky můžou být dále využity k rozvíjení metody. Její rozšíření může poskytnout takové oceňování půdy, které by sloužilo ke stanovení její úřední ceny. Nové a komplexnější zhodnocení funkcí půdy by mělo vést ke zlepšení systému ochrany půdy a opatrnějšímu zacházení s tímto přírodním zdrojem mimo jiné v souvislosti s dalšími zábory.

8 Literatura

- Achat DL, Bakker MR, Zeller B, Pellerin S, Bienaimé S, Morel CH. 2010. Long-term organic phosphorus mineralization in Spodosols under forests and its relation to carbon and nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* **42**(9):1479–1490.
- Arshad MA, Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **88**(2): 153–160.
- Karlen, DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal* **61**(1): 4–10.
- Balana BB, Vinten A, Slee B. 2011. A review on cost-effectiveness analysis of agri-environmental measures related to the EU WFD: Key issues, methods, and applications. *Ecological Economics* **70**(6): 1021–1031.
- Batlle-Bayer L, Batjes NH, Bindraban PS. 2010. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **137**(1–2): 47–58.
- Blum WEH. 2005. Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **4**(3): 75–79.
- Bozali N. 2020. Assessment of the soil protection function of forest ecosystems using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis: A case study in Adıyaman, Turkey. *Global Ecology and Conservation* **24**: 1–15.
- Buscot F, et al. 2005. *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*. DNK: Springer.
- Bouma J. 2014. Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *Journal of plant nutrition and soil science* **177**(2): 111–120.
- Countries across Europe make progress on tackling soil contamination. EU. Dostupné z <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/countries-across-europe-make-progress-tackling-soil-contamination> (navštíveno duben 2021).
- Daily GC, et al. 1997. Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* **1**(1).
- Daily G. 2003. What are ecosystem services. *Global environmental challenges for the twenty-first century: Resources, consumption and sustainable solutions*. 227–231.
- Devau N, Le Cadre E, Hinsinger P, Jaillard B, Gérard F. 2009. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. *Applied Geochemistry* **24**(11): 2163–2174.

- Dick WA, Cheng L, Wang P. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry* **32**(13): 1915–1919.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment* **35**: 1–21.
- Doran JW, et al. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. *Biological indicators of soil health*. 1–28.
- Drobnik T, Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A. 2018. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological indicators* **94**: 151–169.
- Drobnik T. 2019. *Ecosystem Services and Soil Quality*. PhD. Thesis. ETH Zurich.
- Essington ME. 2015. *Soil and water chemistry: an integrative approach*. CRC press.
- Fernández FG, Hoefl RG. 2009. Managing soil pH and crop nutrients. *Illinois agronomy handbook* **24**: 91–112.
- Fernandez-Illescas CP, et al. 2001. The ecohydrological role of soil texture in a water-limited ecosystem. *Water Resources Research* **3**(12): 2863–2872.
- Filippelli GM. 2002. The global phosphorus cycle. *Reviews in mineralogy and geochemistry* **48**(1): 391–425.
- Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* **37**(5): 877–887.
- Greenhalgh S, Samarasinghe O, Curran-Cournane F, Wright W, Brown P. 2017. Using ecosystem services to underpin cost–benefit analysis: Is it a way to protect finite soil resources?. *Ecosystem services* **27**: 1–14.
- Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A, Papritz A. 2017. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy* **69**: 224–237.
- Harker PT, Vargas LG. 1987. The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process. *Management science* **33**(11): 1383–1403.
- Hillel D. 1973. *Soil and water physical principles and processes*. Academic press, New York.
- Hillel D. 1998. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Elsevier.
- Honsa I. 2008. *Vybrané kapitoly z pedologie pro chemiky*. Bulletin. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Národní referenční laboratoř: Brno.

- Chen W, Li H. 2018. Cost-effectiveness analysis for soil heavy metal contamination treatments. *Water, Air, & Soil Pollution* **229**(4): 1–13.
- Chesworth W. 1973. The parent rock effect in the genesis of soil. *Geoderma* **10**(3): 215–225.
- Janků J. Půda a legislativa. Česká technologická platforma pro zemědělství. Praha, ČTPZ. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/puda-a-legislativa-866> (navštíveno březen 2021).
- Janků J, Sekáč P, Baráková J, Kozák J. 2016. Land use analysis in terms of farmland protection in the Czech Republic. *Soil and Water Research* **11**(1): 20–28.
- Janků J. 2003. Pedologie pro ekonomy. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. 1–35.
- Jie Ch, Jing-Zhang Ch, Man-Zhi T, Zi-Tong G. 2002. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences* **12**(2): 243–252
- Jónsson JÖG, Davíðsdóttir B, Nikolaidis NP. 2017. Valuation of soil ecosystem services. *Advances in Agronomy* **142**: 353–384.
- Jury WA, Horton R. 2004. Soil physics. John Wiley & Sons.
- Kosánová M. 2020. Použití indikátorů kvality půd pro posouzení jejich produkčních a ekologických funkcí. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kozák J, et al. 2009. Atlas půd České republiky. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kudláč Š, Štefancová V, Majerčák J. 2017. Using the Saaty Method and the FMEA Method for Evaluation of Constraints in Logistics Chain. *Procedia Engineering* **187**: 749–755.
- Lal R, Hall GF, Miller FP. 1989. Soil degradation: I. Basic processes. *Land Degradation & Development* **1**(1): 51–69.
- Larson WE, Pierce FJ. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. International Board for Soil Research and Management: Bangkok. 15–21.
- Lehmann J, Kleber M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* **528**(7580): 60–68.
- Lingner S, Borg E. 2000. Präventiver Bodenschutz. Problemdimensionen und normative Grundlagen **9**.
- Macmillan DC, Harley D, Morrison R. 1998. Cost-effectiveness analysis of woodland ecosystem restoration. *Ecological Economics* **27**(3): 313–324.
- Manahan SE. 2017. Environmental chemistry. CRC press, USA.

Miháliková M, Dengiz O. 2019. Towards more effective irrigation water usage by employing land suitability assessment for various irrigation techniques. *Irrigation and Drainage* **68**(4): 617–628.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being*. Island press: USA.

Ministerstvo životního prostředí. Vyhláška č. 13 ze dne 29. 12. 1993, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. Roč. 1994, částka 4.

Ministerstvo zemědělství. Vyhláškou č. 227 ze dne 4. 10. 2018, o charakteristice bonitovaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich vedení a aktualizaci. Roč. 2018, částka 113.

Ministerstvo životního prostředí. Vyhláška č. 48 ze dne 22. 2. 2011, o stanovení tříd ochrany zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů. Roč. 2011, částka 17.

Morato T, Pham CK, Pinto C, Golding N, Ardron JA, Duran Munoz P, Neat F. 2018. A multi criteria assessment method for identifying Vulnerable Marine Ecosystems in the North-East Atlantic. *Frontiers in Marine Science* **5**: 460.

Moyes J. 2018. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. CRAN. R-Project.

MŽP. Definice půdy. Praha: Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/definice_pudy (navštíveno březem 2021).

Nařízení vlády č. 262 ze dne 4. 7. 2012, o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. In *Sbírka zákonů*, roč. 2012, částka 89.

Němeček J, Mašát K, Džatko M. 1985. Systém bodového hodnocení produkčního potenciálu BPEJ. VÚMOP, Praha.

Oberholzer HR, Knuchel RF, Weisskopf P, Gaillard G. 2012. A novel method for soil quality in life cycle assessment using several soil indicators. *Agronomy for Sustainable Development* **32**(3): 639–649.

Oldeman LR. 1992. Global extent of soil degradation. *Bi-Annual Report 1991-1992/ISRIC*. s. 19–36.

Paul E. 2014. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Academic Press. 19.

Pabin J, Lipiec J, Włodek S, Biskupski A, Kaus A. 1998. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. *Soil and Tillage Research* **46**(3–4): 203–208.

Pereira P, Bogunovic I, Muñoz-Rojas M, Brevik EC. 2018. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health* **5**: 7–13.

Podklad pro kulatý stůl 9. května 2016 od 15. hod. na Novotného lávce: Klíčová oblast: Ekosystémy. Úřad vlády České republiky. Oddělení pro udržitelný rozvoj.

Pokorný E, Šarapatka B, Hejátková K. 2007. Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka. Zemědělská a ekologická regionální agentura: Náměšť nad Oslavou.

Pouladi N, Jafarzadeh AA, Shahbazi F, Ghorbani MA, Greve MH. 2020. Assessing the soil quality index as affected by two land use scenarios in Miandoab region. *SN Applied Sciences* **2**(11).

Qi Y, Darilek JL, Huang B, Zhao Y, Sun W, Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* **149**(3–4): 325–334.

eKatalog BPEJ. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Ministerstva zemědělství České republiky: Praha, 2019. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/> (navštíveno únor 2021).

Ritchie JT. 1981. Soil water availability. *Plant and soil*. 327–338.

Rodale Institute. Conference report and abstracts, International Conference on the Assessment and monitoring of Soil Quality. Emmaus, PA, 11–13. 7. 1991.

Ross DS, Ketterings Q. 1995. Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. Recommended soil testing procedures for the northeastern United States. **493**(101): 62.

Saaty TL. 1984. The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments. *Quantitative Assessment in Arms Control*. s. 285–308. Springer, Boston.

Saaty RW. 1987. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. *Mathematical modelling* **9**(3–5): 161–176.

Saaty TL. 1994. Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process. *European journal of operational research* **74**(3): 426–447.

Saaty TL. 1995. Transport planning with multiple criteria: the analytic hierarchy process applications and progress review. *Journal of advanced transportation* **29**(1): 81–126.

Sánka M, Čupr P, Kadlubiec R, Malec J, Skybová M, Škarek M. 2003. Riziková analýza a monitorování složek životního prostředí v Kutné Hoře a okolí. Opava: Centrum pro životní prostředí a hodnocení krajiny EKOTOXA, s.r.o. a TOCOEN, s.r.o.

Sáňka M, Materna J. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004.

Sáňka M, Vácha R, Poláková Š, Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Praha: Ministerstvo životního prostředí.

Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B, Teuling AJ. 2010. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews* **99**(3–4): 125–161.

Seyedmohammadi J, Sarmadian F, Jafarzadeh AA, McDowell RW. 2019. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma* **352**: 80–95.

Schachtman DP, Robert JR, Ayling SM. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology* **116**: 447–453.

Sijtsma FJ, van der Heide CM, van Hinsberg A. 2009. Biodiversity and decision-support: integrating CBA and MCA. Evaluation for participation and sustainability in planning. 197–218.

Smil V. 2000. Phosphorus in the environment: Natural Flows and Human Interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* **25**: 53–88.

Sparks DL. 2003. Environmental soil chemistry. Elsevier.

Sposito G. The chemistry of soils. 2008. Oxford university press: UK.

Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Tian Z, Ren T, Horton R, Heitman JL. 2020. Estimating soil bulk density with combined commercial soil water content and thermal property sensors. *Soil and Tillage Research* 196. (104445) DOI: 10.1016/j.still.2019.104445

Tomášek, M. 1995. Atlas půd České republiky. Český geologický ústav, Praha.

Tsiafouli MA, Thébault E, Sgardelis SP, et al. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* **21**(2): 973–985

Turoff M, Linstone HA. 2002. The Delphi method-techniques and applications.

Vinhal-Freitas IC, Corrêa GF, Wendling B, Bobuľská L, Ferreira AS. 2017. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological Indicators* **74**: 182–190.

Vopravil J, Chramostová B, Lagová J. 2008. Hodnocení produkčních a environmentálních funkcí půd. Kobza J. Piate pôdoznalecké dni. Výskumný ústav pôdoznactva a ochrany pôdy: Sielnica. 55–60.

VÚMOP. Nabídka mapových a datových produktů – Hydrologické charakteristiky. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: Praha.

Vulević T, et al. 2015. Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Analysis Methods. Polish Journal of Environmental Studies **24**(1).

Zhang W, Xi Z. 2021. Application of Delphi method in screening of indexes for measuring soil pollution value evaluation. Environmental Science and Pollution Research **28**(6): 6561–6571.

Zákon č. 334 ze dne 12. 5. 1992, o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. In Sbíрка zákonů, roč. 1992, částka 68.

Zákon č. 254 ze dne 28. 6. 2001, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů. In Sbíрка zákonů, roč. 2001, částka 98.

Zákon č. 289 ze dne 3. 11. 1995, o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů. In Sbíрка zákonů, roč. 1995, částka 76.

Zákon č. 252 ze dne 24. 9. 1997, o zemědělství. In Sbíрка zákonů, roč. 1997, částka 85.

Zákon č. 151 ze dne 17. 6. 1997, o oceňování majetku a o změně některých zákonů. In Sbíрка zákonů, roč. 1997, částka 54.

9 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Schéma znázorňující nejdůležitější funkce půdy	11
Obrázek 2 Schéma rozdělení půdní organické hmoty	15
Obrázek 3 Zastoupení půdních typů v okrese Kutná Hora	28
Obrázek 4 Kvalita proměnných indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm	43
Obrázek 5 Kvalita proměnných indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm	44
Obrázek 6 Kvalita stabilních indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm	45
Obrázek 7 Kvalita stabilních indikátorů produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm	46
Obrázek 8 Kvalita produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 0–30 cm	47
Obrázek 9 Kvalita produkční funkce půdy v okrese Kutná Hora v hloubce 30–60 cm	48
Obrázek 10 Kvalita mimoprodukční funkce půdy v okrese Kutná Hora	49
Obrázek 11 Celková hodnota půdy v okrese Kutná Hora	50
Tabulka 1 Novákova klasifikace půdního druhu	18
Tabulka 2 Třídy ochrany půdy	20
Tabulka 3 Hydrologické skupiny půd	21
Tabulka 4 Rozdělení hodnot indikátorů kvality půdy podle Kosánové	23
Tabulka 5 Bodové vyjádření rozdílu významnosti kritérií podle Saatyho	26
Tabulka 6 Rozdělení vybraných variabilních a konstantních kritérií	29
Tabulka 7 Saatyho matice	30
Tabulka 8 Saatyho matice pro proměnná kritéria produkční funkce půdy	32
Tabulka 9 Saatyho matice pro stabilní kritéria produkční funkce půdy	32
Tabulka 10 Saatyho matice pro kritéria mimoprodukční funkce půdy	32
Tabulka 11 Bodová škála proměnných indikátorů kvality půdy	34
Tabulka 12 Bodová škála stabilních indikátorů kvality půdy	34
Tabulka 13 Bodová škála indikátorů mimoprodukční funkce půdy	35
Tabulka 14 Bodové hodnocení proměnných indikátorů kvality půdy	37
Tabulka 15 Bodové hodnocení proměnných indikátorů kvality půdy	38
Tabulka 16 Bodové hodnocení indikátorů kvality mimoprodukční funkce půdy	39
Tabulka 17 Celková hodnota půdy	40

10 Samostatné přílohy

Příloha I

Produkční potenciál půdy podle Němečka et al. (1985)

ID	PRODUKČNÍ POTENCIÁL	ID	PRODUKČNÍ POTENCIÁL
236	92	KH15	64
237	79	KH16	69
238	90	KH17	70
239	83	KH18	66
240	50	KH19	70
241	86	KH20	55
242	63	KH21	61
243	66	KH22	65
245	18	KH23	14
246	64	KH24	60
247	14	KH25	66
248	66	KH26	66
249	13	KH27	58
250	60	KH28	54
251	66	KH29	14
KH01	89	KH30	55
KH02	87	KH31	52
KH03	89	KH33	62
KH04	90	KH34	78
KH05	90	KH36	64
KH06	89	KH38	73
KH07	89	KH39	86
KH08	78	KH40	86
KH09	89	KH43	63
KH10	79	KH44	66
KH11	70	KH45	86
KH12	75	KH46	95
KH14	65	KH46	95

Příloha II

Vyhodnocení bodového hodnocení produkčního potenciálu podle Němečka et al. (1985)

Třídy produkčního potenciálu

I.	vysoce produkční půda se stabilizovanými výnosy	100-96	bodů
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	"