

Doc. Ing. Jaroslava Janků, CSc., Prof. Ing. Josef Kozák, DrSc., dr. h. c., Doc. Ing. Jan Vopravil, PhD.,
Ing. Karel Jacko, PhD., Ing. Tomáš Khel

Metodika stanovení environmentální hodnoty půdy

2023

Dedikace

Metodika vznikla s finanční podporou Ministerstva zemědělství a je výsledkem řešení výzkumného projektu „Udržitelné hospodaření s přírodními zdroji s důrazem na mimoprodukční a produkční schopnosti půdy“ – QK1910299.

Autoři:

Doc. Ing. Jaroslava Janků, CSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Prof. Ing. Josef Kozák, DrSc., dr. h. c.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Doc. Ing. Jan Vopravil, PhD.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Ing. Tomáš Khel

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Ing. Karel Jacko, PhD.

Agrio s.r.o.

Abstrakt

Náplní metodiky je definování postupu hodnocení environmentální hodnoty půdy. Environmentální hodnota půdy byla stanovena na základě teoretických východisek definujících ekosystémové služby půdy. Environmentální hodnota půdy byla určena pomocí dvou metod, obě metody používají GIS systémy. Výstupy těchto metod byly porovnány, zjištěny byly podobné výsledky, tzn. že obě metody jsou pro stanovení environmentální hodnoty půdy vhodné. Oba postupy analyzovaly půdu z hlediska produkčních i mimoprodukčních vlastností. Byly vykresleny mapy s bodovými hodnotami, kde byly půdy rozlišeny dle počtu bodů do jednotlivých kategorií. Mapy byly vykresleny pro jednotlivé půdní vlastnosti, pro produkční vlastnosti a mimoprodukční vlastnosti zvlášť, dále vznikly mapy s celkovým počtem bodů za produkční i mimoprodukční vlastnosti, dávající ucelený přehled o kvalitě půdy. Tento bodový systém byl převeden pro jednotlivé BPEJ, aby usnadnil používání této klasifikace půd v budoucnu a byly vykresleny mapy BPEJ s bodovou hodnotou environmentální hodnoty půdy.

Abstract

The aim of the methodology is to define a procedure for the assessment of the environmental value of soil. The environmental value of soil was determined on the basis of theoretical assumptions defining soil ecosystem services. The environmental value of soil was determined using two methods, both using GIS systems. The outputs of these methods were compared and similar results were found, i.e. both methods are suitable for determining the environmental value of soil. Both methods analysed the soil in terms of both productive and non-productive properties. Maps with point values were drawn, where soils were categorised according to the number of points. Maps were plotted for each soil property, for productive and non-productive properties separately, and maps with total points for both productive and non-productive properties were produced, giving a comprehensive overview of soil quality. This scoring system was converted for each BPEJ to facilitate the use of this soil classification in the future and maps of BPEJ with the environmental value score were drawn.

Oponenti

1. OBSAH

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| 2. Úvod..... | 6 |
| 3. Cíl..... | 6 |
| 4. Východiska metodiky..... | 6 |
| 5. Novost metody..... | 10 |
| 6. Závěry..... | 30 |
| 7. Popis uplatnění certifikované metodiky..... | 11 |
| 8. Ekonomické aspekty..... | 11 |
| 9. Seznam zkratk..... | 32 |
| 10. Seznam použité související literatury..... | 33 |
| 11. Seznam publikací, které předcházely metodice | 34 |

1. Úvod

V současnosti je jednou z nejdůležitějších výzev ochrana půdy před dalšími zábory, a to nejen v ČR, ale i ve většině států EU.

Abychom měli pro ochranu půdy pádné argumenty (oproti argumentaci např. developerů) musíme mít hodnotu půdy vyjádřenou přesně. Protože v oceňování hodnoty jsou definovány v závislosti na způsobu dalšího využití, i my jsme použili postupy, které hodnotí jednak produkční funkce půdy, ale také funkce mimoprodukční. Tyto se dříve nehodnotily, ale právě nyní stále a více nabývají na významu v souvislosti s klimatickou změnou, suchem, zadržováním vody v krajině apod. Zejména v tomto je novost metodiky. Teoreticky hodnocení půdy vychází z hodnocení ekosystémových služeb půdy. V rámci projektu byly ohodnoceny produkční i mimoprodukční funkce. Půdy byly na základě půdních charakteristik obodovány a zařazeny do kategorií, dle kterých byly vykresleny přehledné mapy. Zároveň počet bodů byl implementován pro lepší přehlednost a jednoduchost dalšího použití do BPEJ a také vykreslen do map.

2. Cíl

Jak je již zmíněno v úvodu, důležitou výzvou dneška je ochrana půdy, a to zejména v souvislosti s nejproblematictější formou degradace, a to jsou zábory půdy. Cílem bylo ohodnotit půdu tak, aby nové hodnocení půd argumentačně obstálo ve vztahu k záborům půd v tzv. společenském zájmu (výstavba hal, skladištních ploch, rezidenčních čtvrtí apod. Dokázat, že hodnota půd je vyšší než často krátkodobá řešení pracovních míst (velmi často pro nekvalifikované cizince v průmyslových zónách). Cílem bylo zvýšit ochranu půdy prostřednictvím jejího přesného ohodnocení nejen jejích produkčních funkcí, ale navrhnout systém pro ohodnocení ekosystémových služeb půdy. Toto hodnocení uvést do map. Pro jednoduchost použití v praxi bodové hodnoty uvést pro BPEJ a také vykreslit v mapách.

Pro hodnocení byly navrženy dvě metody.

3. Východiska metodiky

Výchozí ideou projektu je změna hodnocení půdy, fakt, že současné hodnocení půdy neodpovídá naléhavým výzvám udržitelnosti hospodaření, ochrany půdy a krajiny, poněvadž nejsou plně hodnoceny mimoprodukční funkce půdy.

Koncept půdních funkcí

Funkce půdy jsou úzce spjaty s kvalitou půdy. Koncept hodnocení funkcí půdy zdůrazňuje multifunkčnost půd. Kapacita půd poskytovat ekosystémové služby je do značné míry určována funkcemi půdy, (Drobnik et al. 2018).

Ekosystémové služby

Ekosystémové služby (ES) jsou definovány v Millennium Ecosystem Assessment jako statky a služby poskytované přírodou pro uspokojení základních lidských potřeb.

Přístup ekosystémových služeb má vysoký potenciál pro lepší plánování, politiku a rozhodování. Pro zajištění dlouhodobé ochrany biologické rozmanitosti a udržitelné využívání ekosystémů je zásadní

porozumět tomu, jak různé ekosystémy (lesy, mokřady, řeky, louky, pastviny apod.) přispívají k sociálním a ekonomickým užitkům. V Evropské unii byl procesem MAES (mapování a hodnocení ekosystémových služeb) zaveden koncepční rámec spojující biodiverzitu, stav ekosystémů a ekosystémové služby s lidským blahobytem (Vaidemane 2019).

Posouzení ekosystémových služeb a analýza kompromisů poskytuje nový pohled na územní plánování a rozhodování na různých správních a územních úrovních a v různých sektorových politikách. Evropské a národní politiky by měly zohledňovat přínosy, které poskytují příslušné ekosystémy, a zajistit, aby se významům při uskutečňování politik přisuzovala větší váha (Vaidemane 2019).

Cíle udržitelného rozvoje

Cíle udržitelného rozvoje (Sustainable Development Goals neboli SDG) jsou vytyčeny do roku 2030 (Ronchi et al. 2019) a jsou stanoveny pro řešení globálních výzev včetně životního prostředí a lidské pohody. Cíle jsou vzájemně propojeny a jejich dosažení vyžaduje věnování pozornosti ekosystémům a zdrojům planety - půdě, vodě a vzduchu (Vaidemane 2019). V dosažení cílů udržitelného rozvoje hraje půda velkou roli.

Posuzování a hodnocení kvality půdy

Existuje množství rámců, kterými se posuzuje a hodnotí kvalita půdy, a mají různé formy agregace. Přestože tyto rámce sdílí cíl, kterým je poskytování uceleného popisu kvality půdy, mohou být rozděleny do dvou skupin s ohledem na jejich hlavní zaměření.

První skupinu tvoří rámce indikátorů, které popisují současný stav půdního systému hodnocením kvality zemědělské půdy. Ten je založen na detailních terénních měřeních (Arshad et Martin 2002), statistické analýze půdních databází nebo zpracování statusu specifických půdních hrozeb.

Druhou skupinou jsou rámce indikátorů, které se zaměřují na změnu kvality půdy a aplikované hospodaření s půdou. Tyto rámce hovoří o produktivitě půd v různých systémech hospodaření (Oberholzer et al., 2012), srovnávají zemědělské systémy (Fliessbach et al. 2007) nebo podrobně hovoří o výhodách půdní bioty jako o indikátoru kvality půdy (Schloter et al. 2003).

Rámce kvality půdy navržené pro územní plánování jsou vzácné. V Německu vyvinuli koncept pro zohlednění kvality půdy při územním plánování v regionu Stuttgart. Další podobný koncept byl vyvinut v Rakousku. Oba tyto koncepty se zaměřují výlučně na omezení expanze sídel a související infrastrukturu. Německý koncept dělí kvalitu půdy pomocí bodů (čím vyšší, tím lepší půda) založených na přirozených funkcích půdy a antropogenní degradaci půdy (skládky). Přirozenými funkcemi půdy zde jsou vhodnost pro zemědělství a rostliny, zadržování vody a filtr znečišťujících látek. Autor pak přiděluje dostupnost bodů kvality půdy obcím pro nové urbánní oblasti (Drobnik et al. (2018).

Také Halsmayr et al. (2016) posuzují různé funkce půdy pro stanovení její celkové kvality, jež je pak implementována jako tzv. prostorová rezistence pro rozvíjení místa. Mezi posuzované funkce patří stanoviště pro organismy, potenciál přírodního stanoviště pro přirozená rostlinná společenstva, přirozená plodnost půdy a další. Prostorová rezistence půdy závisí na nejvyšším výkonu posuzované půdní funkce (čím vyšší výkon, tím vyšší odolnost). V případě, že půda dosáhne nejvyššího výsledku prostorové rezistence, je považována za oblast, kde jakýkoliv antropogenní rozvoj vyžaduje kompenzační opatření.

Oba tyto indikátory půdy jsou velmi agregované a fungují dobře shora dolů při plánování prostředí, což znamená, že jsou vymezovány a sestavovány plánované cíle na nejvyšší hierarchické úrovni bez ohledu na zpětnou vazbu přicházející z nižších úrovní této hierarchie. Ukazuje se však, že pokud dochází ke kompromisnímu posuzování a hodnocení dopadů, jsou agregované indikátory méně efektivní. Toto platí zejména v případě půdy. Mnoho autorů se shoduje, že pokud má být kvalita půdy

implementována do rozhodovacích procesů smysluplným způsobem, je potřeba hned několika indikátorů její kvality (Drobnik et al. 2018).

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, které ovlivňují 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 et Martin, 2002).

Index SQUID, index kvality půdy (Drobnik et al., 2018) 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 její schopnosti podporovat různé ekosystémové služby.

BOKS index byl vyvinut v Německu pro použití v regionu Stuttgart (Wolff, 2006). Tento index je založený na součtu šesti atributů, které se používají k charakterizaci kvality půdy. Na rozdíl od mnoha jiných indexů kvality půdy, BOKS považuje za faktory tvořící konečný index kvality půdy jak přírodní, tak i antropogenní faktory. Čtyři z těchto šesti atributů se řadí k přírodním faktorům a jsou jimi vhodnost pro přírodní vegetaci a pěstování plodin, regulace koloběhu vody, kapacita pro filtraci a pufrování kontaminantů a archivace kulturní a přírodní historie. Zbývající dva atributy náleží k antropogenním faktorům, kterými jsou kontaminované lokality a úroveň soil sealingu.

Saatyho metoda, taktéž proces analytické hierarchie (AHP), 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, viz tab. 1 (Saaty, 1984, Saaty, 1987, Saaty, 1994).

Tab. 1. Přiřazování číselných hodnot od 1 do 9 podle stupně důležitosti

| 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 (Olivková 2011). Z matice jsou poté získány váhy jednotlivých proměnných (Saaty, 1984, Saaty, 1987, Saaty, 1994). Saatyho metoda je komplexní rámec, který je navržen tak, aby si poradil s mírou subjektivity při multikriteriálním rozhodování tím, že rozloží problém na jednotlivé části.

Metoda byla také využita pro zjištění nejlepšího způsobu posouzení vhodnosti půdy pro různé zavlažovací systémy (Miháliková et Dengiz, 2019), kde byla porovnána parametrická metoda s metodou multikriteriální analýzy právě v podobě Saatyho AHP. Proces analytické hierarchie byl vyhodnocen jako flexibilnější a citlivější, jelikož obsahuje rozřazení hodnot na základě odborných znalostí.

Bodové hodnocení půd

Jedním ze způsobů hodnocení půdy je bodové hodnocení půd. Bodové stanovení bonity orných půd v Československu jako první stanovil Josef Kopecký v roce 1931. Do bonitační tabulky zařadil zrnitost, obsah šterku, obsah humusu, obsah vápníku, železa a sodíku, zamokřenost půdy, svažitost území, expozici pozemku a nadmořskou výšku (Kopecký 1931).

Džatko et al. (1979) navrhli další pokus jednotného hodnocení relativní produkční schopnosti půd na základě vyhodnocení tehdejších poznatků o vlastnostech půd, půdně-ekologických jednotek (PEJ) a vzájemných vztahů mezi vlastnostmi prostředí a intenzitou rostlinné produkce. Skupiny PEJ byly obodovány v rozmezí 0-100 bodů. Do 1. bonitní skupiny PEJ s relativně nejvyšší produkční schopností zařadili autoři černice, jejich přechody k černozemím v nejlepších klimatických regionech. Hodnoceny jsou počtem bodů 100 až 95. Poslední tři bonitní skupiny jsou hodnoceny počtem bodů 20 až 1. Patří sem všechny půdy na svazích nad 12° a hydromorfnní půdy.

V roce 1985 Mašát et al. představili systém bodového hodnocení produkčního potenciálu BPEJ. Tento systém vychází z vlastností a charakteristik půdy i stanoviště. Výpočet je dán součtem bodů za hlavní půdní jednotku (HPJ), zrnitost, svažitost a expozici pozemku, skeletovitost a hloubku půdního profilu, to vše násobeno koeficientem klimatického regionu v rozsahu 0,6 – 1. Bodové hodnocení hlavních půdních jednotek (HPJ) reprezentuje bodovou hodnotu pro půdu (genetický typ, subtyp, varieta, vodní režim) spolu s půdotvorným substrátem. Hodnoty jsou určeny dle vztahů mezi hektarovými výnosy, doplněnými poznatky o úrodnosti a chování půd. Bodové hodnoty produkčního potenciálu byly seřazeny do deseti tříd, kdy nejvyššího počtu bodů (100 – 96) dosahují vysoce produkční půdy se stabilizovanými výnosy, naopak nejnižšího počtu bodů (< 10) produkčně nevýznamné půdy v 10. skupině.

Mašát et al., 1985 navrhli kriteria pro výběr konečné varianty výpočtu bodového hodnocení. Cílem bylo vyhodnotit členitostní podmínky (agroekologickou složitost) katastrálního území co nejobjektivněji, tak, aby se vliv každého faktoru projevil v celkovém bodovém hodnocení v té míře, kterou se na členitosti (agroekologické složitosti) území skutečně podílí. Bylo využito celkem 7 kritérií, z nichž základní tvořily sklonitost, vhodnost začlenění lokalit BPEJ do souvislých celků, velikost lokality, další pak trvalé překážky, balvanitost, dostupnost pro obhospodařování, vláhové poměry. Výsledkem bylo 7 kategorií podle nadmořské výšky.

V roce 1995 Novák et al. navrhli upravenou metodiku stanovení bodové hodnoty půdy v systému bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Pro výpočet bodového hodnocení produkčního potenciálu byl použit vzorec již uvedený v práci (Mašát et al., 1985). Metodika navrhuje úpravy základní bodové hodnoty BPEJ pro chráněné oblasti, pro zóny ochrany hydrosféry, pro půdy erozně ohrožené, kontaminované, zemědělské půdy v oblastech určených pro zástavbu nebo v zastavěných oblastech, pro půdy degradované, ohrožené imisemi a pro půdy poddolované, pro půdy odvodněné, zavlažované, pro půdy terasované, pro antropogenní a rekultivované půdy. Autoři se domnívají, že tento systém může lépe než současné ceny BPEJ v Kč za 1 m² vyjádřit relace i absolutní hodnoty jednotlivých BPEJ. Je také možné vyjádřit cenu 1 bodu, a tak získat cenu BPEJ a je možné zjistit rozdíly mezi „přirozenou“ bodovou hodnotou BPEJ a její bodovou hodnotou ovlivněnou některým z výše uvedených zásahů.

4. Novost metody

Zdůvodnění potřeby nového hodnocení půd

Minulá hodnocení v ČR hodnotila půdu pouze na základě produkčních funkcí. Do hodnocení se nezařazovala hodnocení mimoprodukčních funkcí, které v současnosti, zvláště s klimatickou změnou nabývají na významu. Nebyly hodnoceny ekosystémové služby půdy. Jako podklad pro mapový výstup je vypracováno nové uspořádání půdního informačního systému ČR.

Technický pokrok

Pro vyhodnocení kvality produkčních a mimoprodukčních funkcí (kvality půdy) byl použit GIS (geografický informační systém).

Vypracování databáze

Podkladem pro hodnocení půd je vlastní návrh uspořádání informačního systému pro Českou republiku, který respektuje celosvětové principy, poznatky a požadavky v oblasti návrhů půdních informačních systémů. Provedení třídění půdních dat, doplnění stávajících dat a lokalizace půdních sond. Upřesnění klasifikace s návazností na nově navržený systém „World Reference Base for Soil Resources 2014“. „Půdní informační systém České republiky“ zahrnuje profilová data, údaje o chemických, fyzikálních a biologických charakteristikách půd a současné propojení s digitalizovanými mapovými údaji a databází lesních půd. Půdní informační systém ČR navazuje na „Návrh Rámcové směrnice evropského parlamentu a rady o zřízení rámce pro ochranu půdy a o změně směrnice 2004/35/ES“. Použití „Půdního informačního systému České republiky“ je zároveň příspěvek k mezinárodní spolupráci a pro harmonizaci s požadavky „Global Soil Partnership“ (FAO).

Pro stanovení charakteristik okolí půdních sond, pro hodnocení kvality půdy byla provedena aktualizace podkladů krajinného pokryvu ve verzích 1990, 2000, 2006, 2012 a 2018 v databázi PuGIS a mapovém projektu. Aktualizace služeb mapového a databázového serveru pro získání procentního zastoupení vybraných typů ploch krajinného pokryvu ve volitelném okolí bodu (sondy). Okolí může být definováno bodem a poloměrem nebo polygonem ve formátu GeoJSON. Výsledkem je JSON pole hodnot pro jednotlivé vybrané typy ploch. Dotaz na procentní zastoupení typů ploch bude možné provést vůči vybraným verzím krajinného pokryvu.

Statistické vyhodnocení vhodnosti využití empirického vztahu pro stanovení objemové hmotnosti pro jednotlivé typy půd (dle TKSP). Implementace možnosti využití vybraného empirického vzorce pro stanovení objemové hmotnosti půdy pro vybranou sadu půdních sond a vybraných horizontů. Provázání umístění sondy a typu krajinného pokryvu pro odvození chybějících fyzikálních a chemických charakteristik.

Pro hodnocení kvality půdy v návaznosti na BPEJ byl implementován datový model pro díly půdních bloků a související charakteristiky z LPIS. Implementace WS souvisejících služeb eAGRI. Příprava a import databáze dílů půdních bloků a navazujících informací o přiřazených BPEJ, aktuálních a historických kulturách plodin a dalších charakteristik. Vytvoření funkcí pro zjišťování příslušnosti sond k DPB a asociovaným charakteristikám (BPEJ).

Použitá data, postupy

Bylo shromážděno 19 různých charakteristik půd. Prostřednictvím geografického informačního systému ČR PuGIS byly zjištěny následující data: pH H₂O, pH KCl, obsah humusu, hloubka

humusového horizontu, Cox, CaCO₃, P₂O₅, K₂O, nasycenost sorpčního komplexu, celková sorpční kapacita a zrnitostní složení. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy poskytl data týkající se tříd ochrany půd a základní ceny za tyto půdy, konkrétně z eKatalogu BPEJ (zjištěné dle vyhlášky č. 441/2013 Sb., novela 188/2019 Sb.). Kvalita ekosystému byla získána pomocí informací o krajinném pokryvu pomocí CORINE Land Cover 2012. Procento zastavěné plochy (soil sealing) bylo zjištěno z CORINE Land Cover 2018. Dále byla poskytnuta data o klimatických regionech, přičemž průměrný úhrn srážek pro tyto regiony byl získán z charakteristik klimatických regionů v knize Půda a její hodnocení v ČR, II. díl (Vopravil a kol. 2011). Dále Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy poskytl data o retenční vodní kapacitě a hydrologických skupinách půd, přičemž tato data jsou výsledkem výzkumného projektu Ministerstva zemědělství NAZV QJ1520026.

Půdní mapa byla převzata z mapy České republiky 1:250 000 (Kozák a kol. 2009). Podklady pro tvorbu mapy hydrologických skupin půd a retenční vodní kapacity poskytl VÚMOP, ale jedná se o výsledky projektu Ministerstva zemědělství NAZV QJ1520026. Mapy týkající se charakteristik vycházejících z bonitace půd byly vytvořeny díky datům z Databáze bonitovaných půdně ekologických jednotek (Státní pozemkový úřad ČR, 2019). Pro tvorbu mapy nových klimatických regionů poskytl podklady Český hydrometeorologický ústav.

Hodnocení půd

Pro hodnocení půd byly použity dva přístupy. Metoda SFA a metoda SAS.

Metoda SFA

Byl vytvořen systém hodnocení půdy - Soil Function Assessment (SFA), který funguje na podobném principu, jež byl vytvořen Kozákem a Galuškovou (2010) a využit v projektu URBAN SMS. Systém byl publikován (Janků J., Kosánová M., Kozák J., Herza T., Jehlička J., Maitah M., Vopravil J., Němeček K., Toth D., Jacko K., Vácha R., Poláková J.: Using soil quality indicators to assess their production and ecological functions. Soil and Water Research., 17: 45–58. 2022).

Zpracování dat a tvorba map

Získaná data půdních charakteristik byla zpracována prostřednictvím programu Microsoft Office Excel. Ze všech dat, která byla k dispozici, bylo potřeba vybrat nejdůležitější charakteristiky, které mají vliv na kvalitu půdy. Pro dvě různé hloubky půdy (0-30 cm a 30-60 cm) bylo vybráno pH K_{Cl}, obsah humusu, zrnitost (obsah jílu), nasycenost sorpčního komplexu a celková sorpční kapacita. Dále byla vybrána hloubka humusového horizontu, třída ochrany půd, retenční vodní kapacita, hydrologické skupiny půd, průměrný srážkový úhrn, kvalita ekosystému a soil sealing. Konkrétní hodnoty vybraných charakteristik byly následně rozděleny do tří kategorií, které charakterizovaly rozpětí hodnot. Jednalo se o kategorie dobrá, střední a špatná. Rozmezí hodnot a příslušné kategorie jsou znázorněny v tabulce 2. Tabulka byla vytvořena na základě obdobného hodnocení, které bylo použito v projektu EU URBAN Soil Management Strategy (Kozák a Galušková 2010).

Tab. 2. Rozdělení hodnot vybraných charakteristik s vazbou k půdě

| 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/kg] | >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 |

*RVK – retenční vodní kapacita

*HSP – hydrologická skupina půd

Mapy znázorňující zařazení vybraných půdních charakteristik do výše zmíněných kategorií byly vytvořeny ve spolupráci s firmou HYDROSOFT Velešlavin s.r.o.

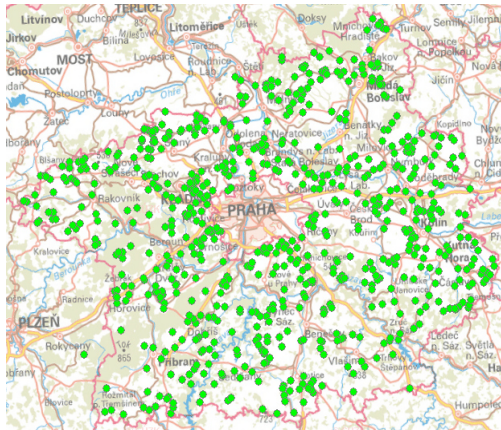
Výsledky

Mapy charakterizující přírodní poměry

Prostřednictvím programu ArcMap (verze 10.7.1.) bylo vytvořeno celkem 11 map, které shrnují charakteristiky ČR a mají vazbu na vlastnosti půd. Jedná se o půdní mapu, mapu retenční vodní kapacity, hydrologických skupin půd a mapy, které vycházejí z bonitace půd, kam spadá souhrnná mapa hloubky a skeletovitosti půdy a mapa sklonitosti a expozice ke světovým stranám. Z bonitace dále vychází mapa hlavních půdních jednotek, skupin půdních typů a klimatických regionů.

Mapy vybraných půdních charakteristik

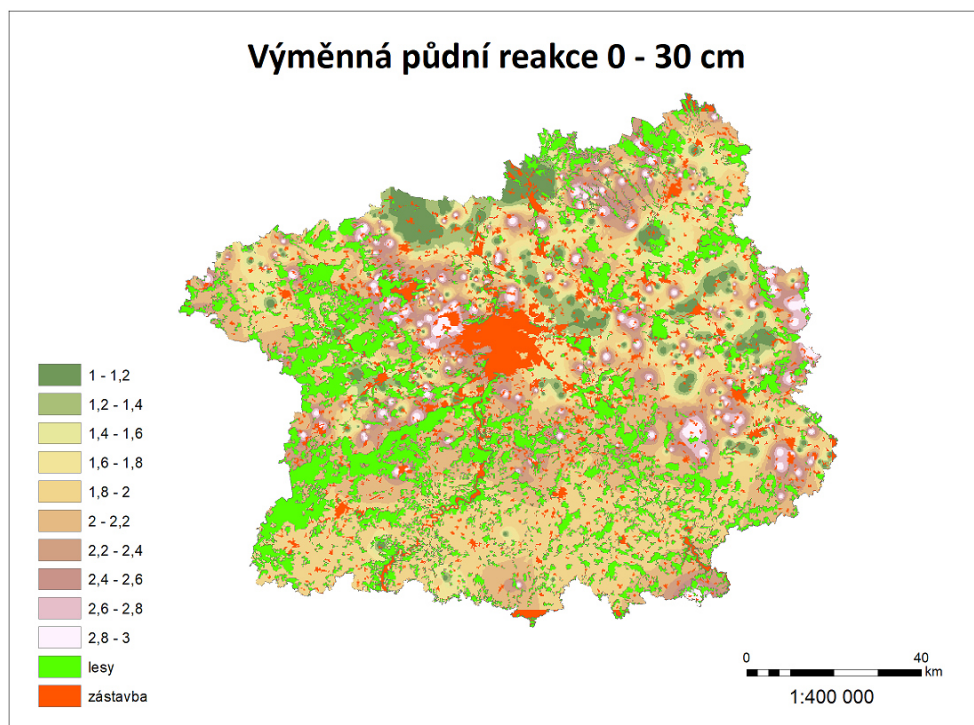
Po výběru potřebných charakteristik půd ČR, které mají vliv na ekosystémové služby, byly tyto charakteristiky zařazeny do tří skupin značící dobrou, střední a špatnou kvalitu půdy. U všech těchto charakteristik bylo nejprve stanoveno rozmezí hodnot, aby bylo následně možné charakteristiky půd zařadit. Na základě zařazení do kategorií bylo vytvořeno 22 map. Ukázka umístění půdních sond ve Středočeském kraji je znázorněna na obrázku 1.



Obr. 1: Mapa půdních sond na území Středočeského kraje

Následující mapy jsou výsledkem zařazení vlastností půd do kategorií.

Na všech těchto mapách je městská zástavba zobrazena červenou barvou a lesy sytě zelenou barvou. Nejvyšší hodnoty jsou vyznačeny světle růžovou až bílou barvou. Naopak nejnižší hodnoty jsou v mapách zbarveny do tmavě zelena. Ostatní barvy zvýrazňují středně nebo průměrně kvalitní půdy. Rozsah hodnot na všech mapách je uveden v bodech získaných na základě tabulky č. 1. Ukázka mapy je znázorněna na obrázku 2.



Obr. 2: Mapa výměnné půdní reakce v hloubce půdy 0-30 cm od povrchu (výšek mapy)

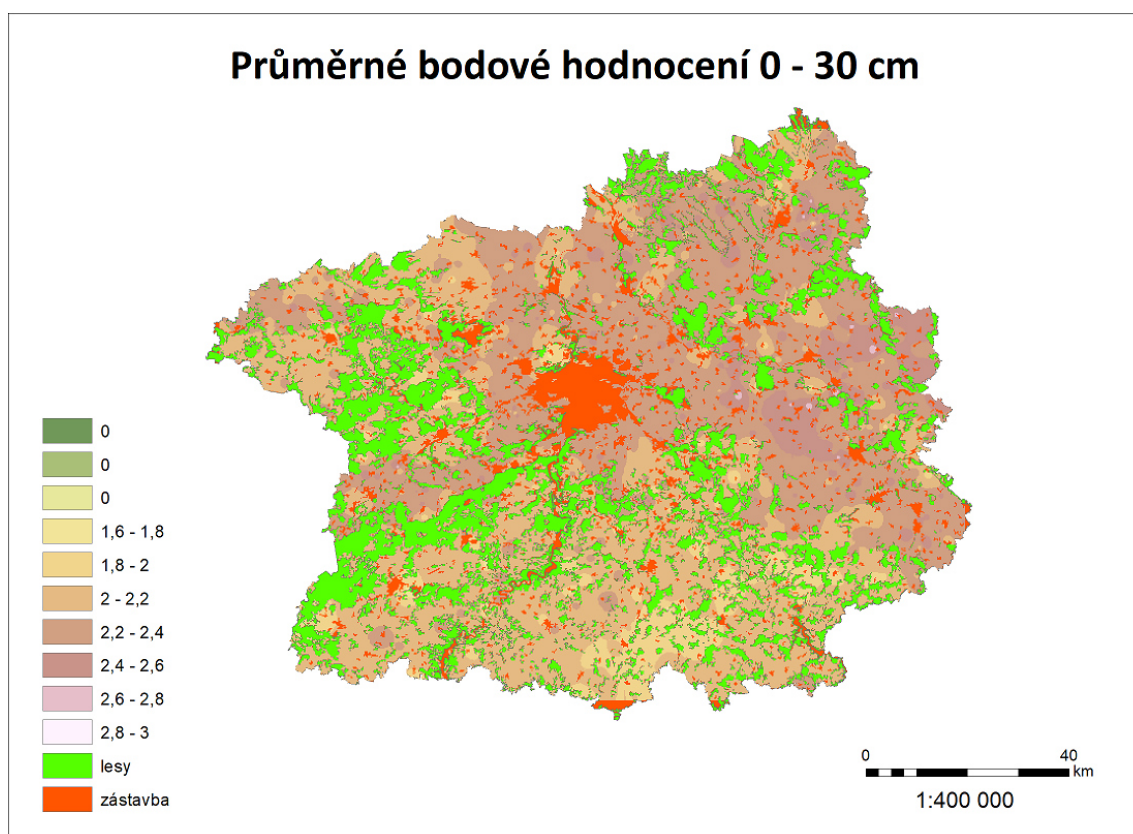
Závěrečné hodnocení výsledků

Bylo vytvořeno celkem 33 map - 11 map přírodních a klimatických poměrů a 22 map znázorňujících zařazení charakteristik do kategorií. U většiny charakteristik byly rozlišeny dvě hloubky půdy – 0-30 cm a 30-60 cm (požadavek FAO).

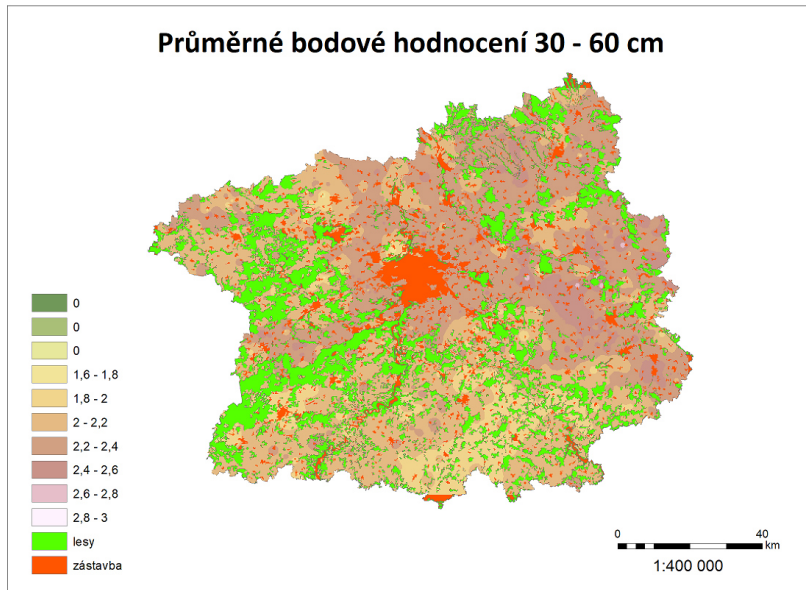
Všechny mapové podklady, které byly vytvořeny, slouží k závěrečnému zhodnocení jednotlivých lokalit z hlediska jejich schopnosti poskytovat ekosystémové služby. Za tímto účelem byly zvoleny dva přístupy. První spočívá ve výpočtu průměrného bodového hodnocení jednotlivých lokalit a druhý spočívá ve stanovení celkové sumy bodů, které přísluší k dané lokalitě.

Na následujících obrázcích č. 3 a 4 jsou výseky map průměrných hodnot všech zařazených charakteristik půd. Obrázek č. 3 znázorňuje průměrné hodnoty v hloubce půdy

0-30 cm od povrchu. Je výsledkem procesu, kdy byly sečteny všechny body přiřazené k dané sondě a následně byly zprůměrovány. Tato místa jsou v mapě vyznačena nejsvětlejší barvou.



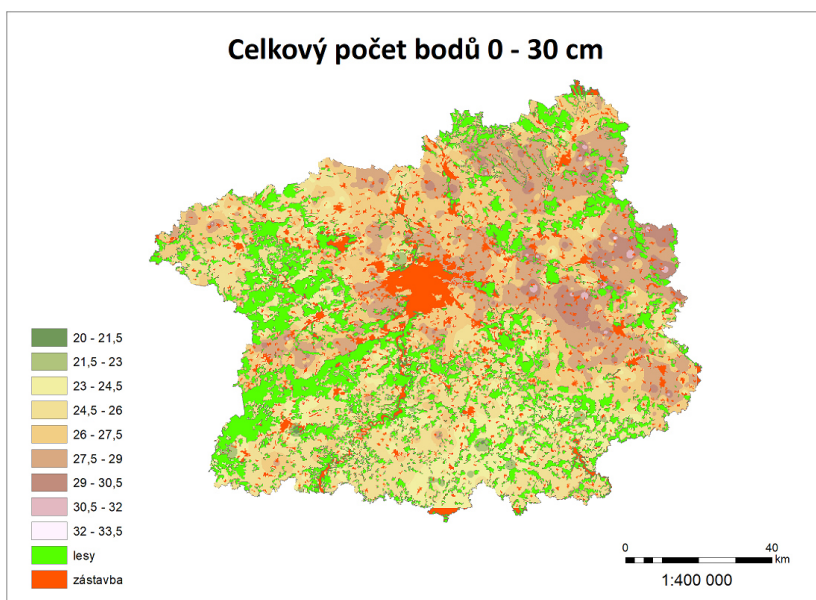
Obr. 3: Mapa průměrného bodového hodnocení v hloubce půdy 0-30 cm



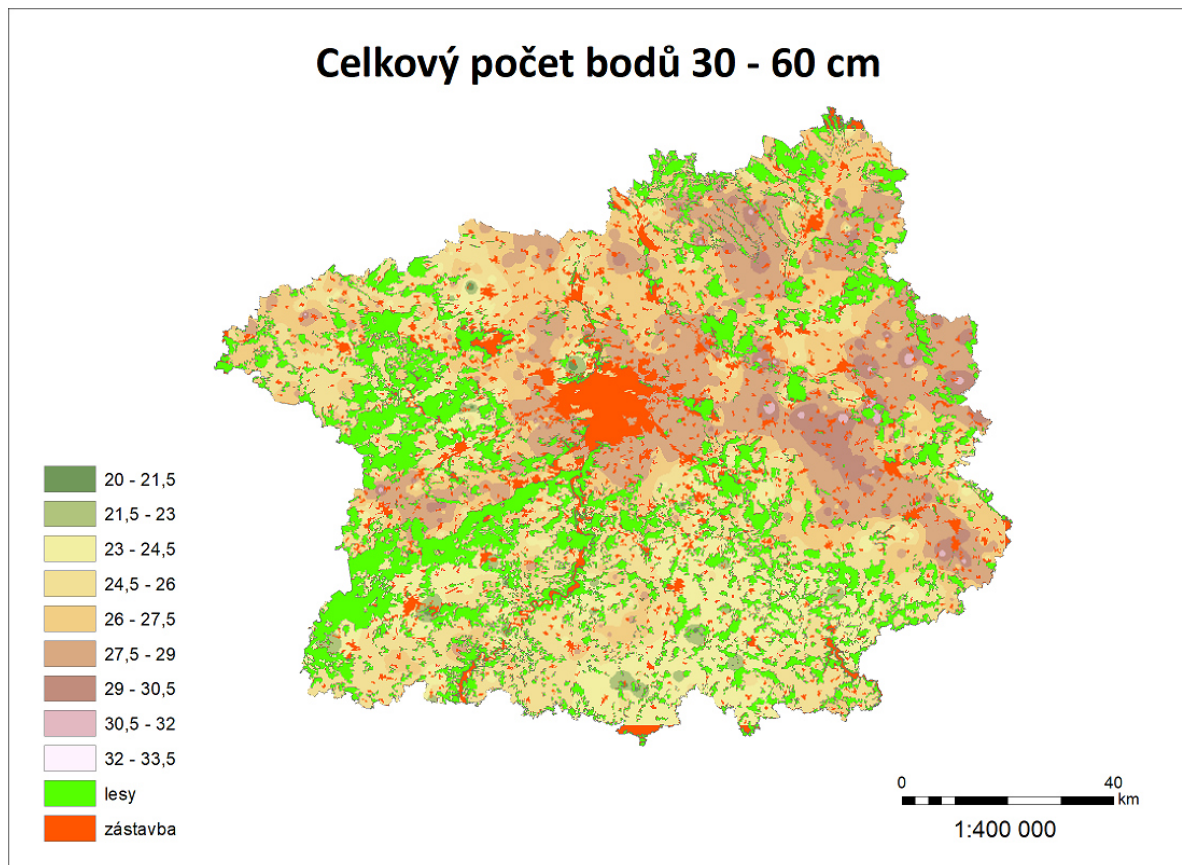
Obr. 4: Mapa průměrného bodového hodnocení v hloubce půdy 30-60 cm

Podle našeho názoru je vhodné použít celkové sumy bodů stanovených na jednotlivých lokalitách s tím, že tento způsob bodování by mohl být teoretickým základem pro hodnocení půdních stanovišť. Jak v případě hloubky půdy 0-30 cm, tak 30-60 cm jsou půdní stanoviště roztríděna do 9 skupin.

Mapy na obrázcích č. 5 a 6 jsou výsledkem součtu všech bodů, které byly k charakteristikám půd přiřazeny. Jedná se tedy o souhrnné číslo, které označuje celkovou kvalitu půdy v dané oblasti. Obrázek č. 5 znázorňuje nejvhodnější půdy v hloubce 0-30 cm od povrchu, obrázek č. 6 znázorňuje, jaká je celková hodnota půdy v hloubce 30-60 cm.



Obr. 5. Mapa celkového součtu bodů v hloubce půdy 0-30 cm



Obr. 6. Mapa celkového součtu bodů v hloubce půdy 30-60 cm

Metoda SAS

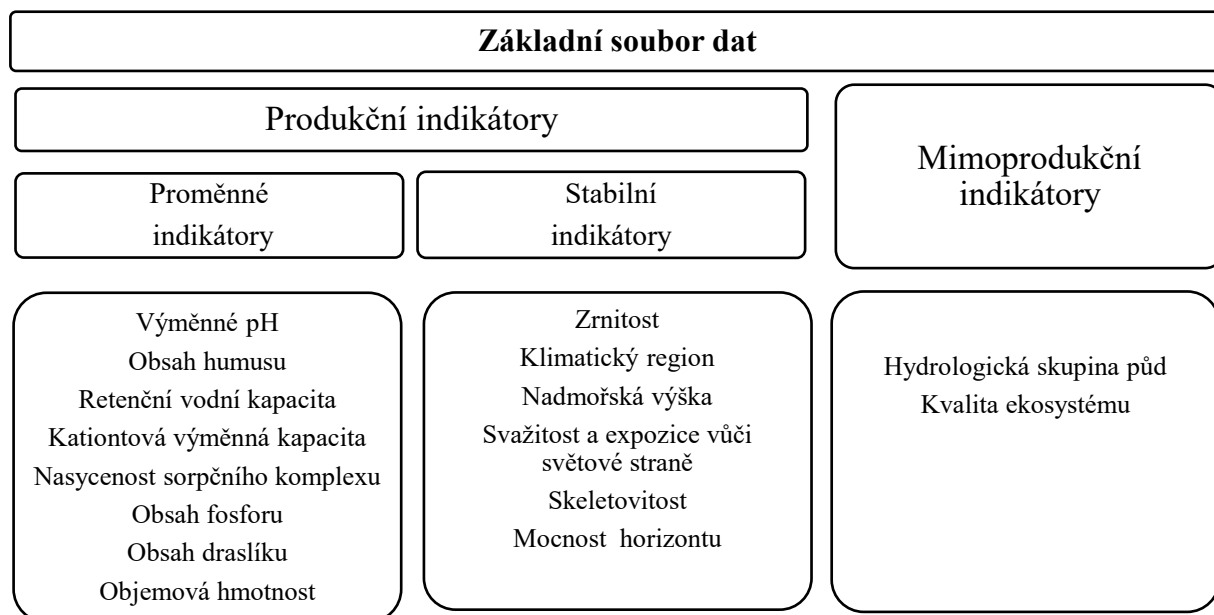
Byl aplikován matematický přístup hodnocení kvality půd na základě vybraných indexů kvality půdy. Pro hodnocení byla použita modifikovaná Saatyho metoda. Metoda byla nazvána Soil Assessment Systém (SAS) a publikována (Toth D, Janků J, Marhoul AM, Kozák J, Maitah M, Jehlička J, et al.. Soil quality assessment using SAS (Soil Assessment System). Soil & Water Res.. 2023;18(1):1-15. doi: 10.17221/141/2022-SWR.).

Zpracování dat a tvorba map (metoda SAS)

Bylo vybráno 16 indikátorů, které byly rozděleny na skupinu produkční a mimoprodukční, jak je znázorněno v tabulce 2. Skupina produkčních byla dále rozdělena na proměnné (dynamické) a stabilní (statické). Zde byla kritériem jejich relativní stabilita v prostředí. Toto rozdělení vyplynulo z potřeby, aby všechny skupiny na třech hierarchických úrovních vstoupily do výsledných rovnic pro stanovení hodnoty půdy nezávisle na sobě:

- a) indikátory s vysokou proměnlivostí (proměnné), které jsou v prostředí relativně snadno ovlivnitelné.
- b) indikátory s nízkou proměnlivostí (stabilní), které vykazují vysokou stabilitu v prostředí a za normálních okolností nedochází k průkazné změně hodnot.

Tab 2: Hierarchická struktura posuzovaných indikátorů



Převod dat na bodovou hodnotu

Následně byl proveden transfer naměřených dat vybraných indikátorů na bodové skóre (scoring). Hodnocení indikátorů bylo provedeno na základě publikace Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd (Sánka et al. 2018).

Kategorizace byla provedena a standardizována na škále 1–10 bodů u všech sledovaných indikátorů, přičemž hodnota 1 bodu vždy znamenala nejnižší kvalitu indikátoru a hodnota 10 bodů naopak nejvyšší kvalitu sledovaného indikátoru. Potřeba zvýšit rastr hodnocení na 10 kategorií vyplynula v průběhu řešení práce, aby byla minimalizována degradace hodnoty, která je při převodu absolutních hodnot měření do bodové řady nechtěnou součástí procesu. Degradace se projevuje zploštěním hodnot, přičemž vyšší počet kategorií znamená nižší míru zploštění. Tabulka 3 zobrazuje bodování a rozsahy skórovací tabulky.

Transformace dat byla provedena hromadně prostřednictvím programu MS Excel na základě podmínek, které byly dané rozmezím hodnot v rámci kategorizace. V případě hodnocení obsahu fosforu a draslíku byl přidánou podmínkou druh zemědělského pozemku (orná půda / trvalý travní porost). V případě hodnocení draslíku byl brán v potaz také půdní druh (lehká p. / střední / těžká). V případě hodnocení expozice byla mimo orientace ke světové straně další rozlišovací podmínkou příslušnost BPEJ ke klimatickému regionu.

Tab. 3: Skórovací tabulka indikátorů

| Indikátory proměnné | 1 b. | 2 b. | 3 b. | 4 b. | 5 b. | 6 b. | 7 b. | 8 b. | 9 b. | 10 b. |
|------------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Výměnné pH | 0 < 3,99 | 4,00 - 4,49 | 4,50 - 4,99 | 5,00 - 5,49 | 5,50 - 5,99 | 6,00 - 6,49 | 6,50 - 6,69 | 6,70 - 6,79 | 6,80 - 6,99 | 7,00 - 7,10 |
| | > 8,00 | 7,80 - 7,99 | 7,70 - 7,79 | 7,60 - 7,69 | 7,50 - 7,59 | 7,40 - 7,49 | 7,30 - 7,39 | 7,20 - 7,29 | 7,11 - 7,19 | - |
| Obsah humusu | 0 < 0,49 | 0,50 - 0,99 | 1,00 - 1,49 | 1,50 - 1,89 | 1,90 - 2,29 | 2,30 - 2,69 | 2,70 - 2,99 | 3,00 - 3,99 | 4,00 - 4,99 | > 5,00 |
| Retenční vodní kapacita | | | 4 | | 3 | 2 | | | | 1 |
| Nasycenost sorpčního komplexu (V) | < 19,99 | 20,00 - 29,99 | 30,00 - 39,99 | 40,00 - 49,99 | 50,00 - 59,99 | 60,00 - 69,99 | 70,00 - 79,99 | 80,00 - 89,99 | 90,00 - 94,99 | 95,00 - 100,00 |
| Kationtová výměnná kapacita (T) | < 6,99 | 7,00 - 9,99 | 10,00 - 12,99 | 13,00 - 15,99 | 16,00 - 18,99 | 19,00 - 20,99 | 21,00 - 23,99 | 24,00 - 26,99 | 27,00 - 29,99 | > 30,00 |
| P (P ₂ O ₅) - OP | < 49,99 | 50,00 - 64,99 | 65,00 - 79,99 | 80,00 - 94,99 | 95,00 - 109,99 | 110,00 - 134,99 | 135,00 - 144,99 | 145,00 - 164,99 | 164,99 - 184,99 | > 185,00 |
| P (P ₂ O ₅) - TTP | < 24,99 | 25,00 - 36,99 | 37,00 - 49,99 | 50,00 - 62,99 | 63,00 - 75,99 | 76,00 - 89,99 | 90,00 - 109,99 | 110,00 - 129,99 | 130,00 - 149,99 | > 150,00 |
| K (K ₂ O) - OP, lehké p. | < 99,99 | 100,00 - 129,99 | 130,00 - 159,99 | 160,00 - 199,99 | 200,00 - 237,99 | 238,00 - 274,99 | 275,00 - 309,99 | 310,00 - 344,99 | 345,00 - 379,99 | > 380,00 |
| K (K ₂ O) - OP, střední p. | < 104,99 | 105,00 - 137,99 | 138,00 - 169,99 | 170,00 - 169,99 | 170,00 - 264,99 | 265,00 - 309,99 | 310,00 - 346,99 | 347,00 - 382,99 | 383,00 - 419,99 | > 420,00 |
| K (K ₂ O) - OP, těžké p. | < 169,99 | 170,00 - 214,99 | 215,00 - 259,99 | 260,00 - 289,99 | 290,00 - 319,99 | 320,00 - 349,99 | 350,00 - 402,99 | 403,00 - 455,99 | 456,00 - 509,99 | > 510,00 |
| K (K ₂ O) - TTP, lehké p. | < 69,99 | 70,00 - 109,99 | 110,00 - 149,99 | 150,00 - 179,99 | 180,00 - 209,99 | 210,00 - 239,99 | 240,00 - 276,99 | 277,00 - 312,99 | 313,00 - 349,99 | > 350,00 |
| K (K ₂ O) - TTP, střední p. | < 79,99 | 80,00 - 119,99 | 120,00 - 159,99 | 160,00 - 189,99 | 190,00 - 219,99 | 220,00 - 249,99 | 250,00 - 299,99 | 300,00 - 349,99 | 350,00 - 399,99 | > 400,00 |
| K (K ₂ O) - TTP, těžké p. | < 109,99 | 110,00 - 159,99 | 160,00 - 209,99 | 210,00 - 239,99 | 240,00 - 269,99 | 270,00 - 299,99 | 300,00 - 356,99 | 357,00 - 413,99 | 414,00 - 469,99 | > 470,00 |
| Objemová hmotnost redukována | > 1,80 | 1,80 - 1,60 | 1,60 - 1,50 | 1,50 - 1,45 | 1,45 - 1,40 | 1,40 - 1,35 | 1,35 - 1,30 | 1,30 - 1,25 | 1,25 - 1,20 | < 1,20 |
| Indikátory stabilní | 1 b. | 2 b. | 3 b. | 4 b. | 5 b. | 6 b. | 7 b. | 8 b. | 9 b. | 10 b. |
| Zrnitost (% jíl. č. <0,01 mm) | | 0,00 - 4,99 | 5,00 - 9,99 | 10,00 - 14,99 | | 15,00 - 19,99 | 20,00 - 25,00 | 25,00 - 29,99 | | 30,00 - 34,99 |
| | 100 > 75,00 | 65,00 - 74,99 | 60,00 - 64,99 | 55,00 - 59,99 | 50,00 - 54,99 | 45,00 - 49,99 | 40,00 - 44,99 | | 35,00 - 39,99 | |
| Klimatický region | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Mocnost horizontu (cm) | 0 < 1,99 | 2,00 - 4,99 | 5,00 - 9,99 | 10,00 - 14,99 | 15,00 - 19,99 | 20,00 - 24,99 | 25,00 - 29,99 | 30,00 - 34,99 | 35,00 - 39,99 | > 40,00 |
| Skelet dle kodu BPEJ | | 9 | 8 | | 3 4 6 | | | 2 5 | 1 7 | 0 |
| Sklonitost | 8 - 9 | | 6 - 7 | | 4 - 5 | | | 1 2 3 | | 0 |
| Expozice KR - 0,1,2,3,4,5 (J-neg) | 2,4,6,8 | | | | | | | | | 0,1,3,5,7,9 |
| Expozice KR - 6,7,8,9 (S-neg) | 3,5,7,9 | | | | | | | | | 0,1,2,4,6,8 |
| Indikátory mimoprodukční | 1 b. | 2 b. | 3 b. | 4 b. | 5 b. | 6 b. | 7 b. | 8 b. | 9 b. | 10 b. |
| Kvalita ekosystému | | | | | ZP | | | | | TTP |
| HSP | D | | C | | B | | | | | A |

Saatyho metoda párového srovnání indikátorů

Saatyho metoda párového srovnání je součástí procesu AHP (analytický hierarchický proces). Pro každou skupinu indikátorů byla sestavena tzv. Saatyho matice. V matici byl každý z indikátorů porovnáván svou významností s každým druhým, přičemž výsledkem tohoto párového porovnání po dalších výpočtech, bylo stanovení hodnoty významnosti prvku neboli váhy indikátoru. Významnost párového srovnání bylo možné hodnotit číslem od 1 do 9, jak je uvedeno v tabulkách 4 -6.

Hodnocení indikátorů

Indikátory produkční proměnné

Proměnné indikátory popisují vlastnosti, které jsou v půdě dynamické, relativně snadno proměnlivé. Výsledkem vypracování Saatyho matice párového srovnání bylo stanovení vah (důležitosti) jednotlivých indikátorů.

Tab. 4: Matice proměnných indikátorů pro stanovení vah

| Matice párového srovnání – proměnné indikátory | | | | | | | | | Stanovení vah | |
|------------------------------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|-------------------|-----|---|---------------|--------|
| | pH | humus | RVK | V | KVK | Objemová hmotnost | P | K | Váha | Váha % |
| pH | 1 | 1/5 | 1/2 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 3 | 3 | 0,055 | 5,5 |
| humus | 5 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 5 | 6 | 0,308 | 30,8 |
| RVK | 2 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 1/2 | 4 | 3 | 0,131 | 13,1 |
| V | 3 | 1/4 | 1 | 1 | 2 | 1/2 | 4 | 4 | 0,131 | 13,1 |
| KVK | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1/2 | 4 | 4 | 0,106 | 10,6 |
| Obj. hm. | 5 | 1/2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | 0,198 | 19,8 |
| P | 1/3 | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1 | 2 | 0,037 | 3,7 |
| K | 1/3 | 1/6 | 1/3 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/2 | 1 | 0,032 | 3,2 |

V – nasycení sorpčního komplexu

RVK – retenční vodní kapacita

KVK – kationtová výměnná kapacita

Indikátory produkční stabilní

Stabilní indikátory zastupují důležité vlastnosti půdy, které se v čase příliš nemění. Pro stanovení významnosti stabilních indikátorů byla vypracována Saatyho tabulka párového srovnání (viz tabulka č. 5).

Tab. 5: Matice stabilních indikátorů pro stanovení vah

| Matice párového srovnání – stabilní indikátory | | | | | | | Stanovení vah | |
|------------------------------------------------|----------|-----|---------|---------------|----------|------------|---------------|--------|
| | zrnitost | KR | Mocnost | Skeletovitost | Expozice | Sklonitost | Váha | Váha % |
| zrnitost | 1 | 3 | 3 | 5 | 7 | 7 | 0,429 | 42,9 |
| KR | 1/3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 | 0,228 | 22,8 |
| Mocnost horizontu | 1/3 | 1/2 | 1 | 2 | 5 | 5 | 0,169 | 16,9 |
| Skeletovitost | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1 | 3 | 0,0811 | 8,1 |
| Expozice | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1 | 1 | 0,050 | 5,0 |
| Sklonitost | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 0,042 | 4,2 |

Indikátory mimoprodukční

Mimoprodukční indikátory rozšiřují hodnocení o ekosystémové služby půdy, které nesouvisí s primární produkcí. Byla vypracována matice párového srovnání, kterou zobrazuje tabulka 6.

Tab. 6: Matice mimoprodukčních indikátorů pro stanovení vah

| Matice párového srovnání | | | Stanovení vah | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------|---------------|--------|
| Indikátory mimoprodukční | Hydrologická skupina půd | Kvalita ekosystému | Váha | Váha % |
| HSP | 1 | 5 | 0,833 | 83,3 |
| Kvalita ekosystému | 1/5 | 1 | 0,167 | 16,7 |

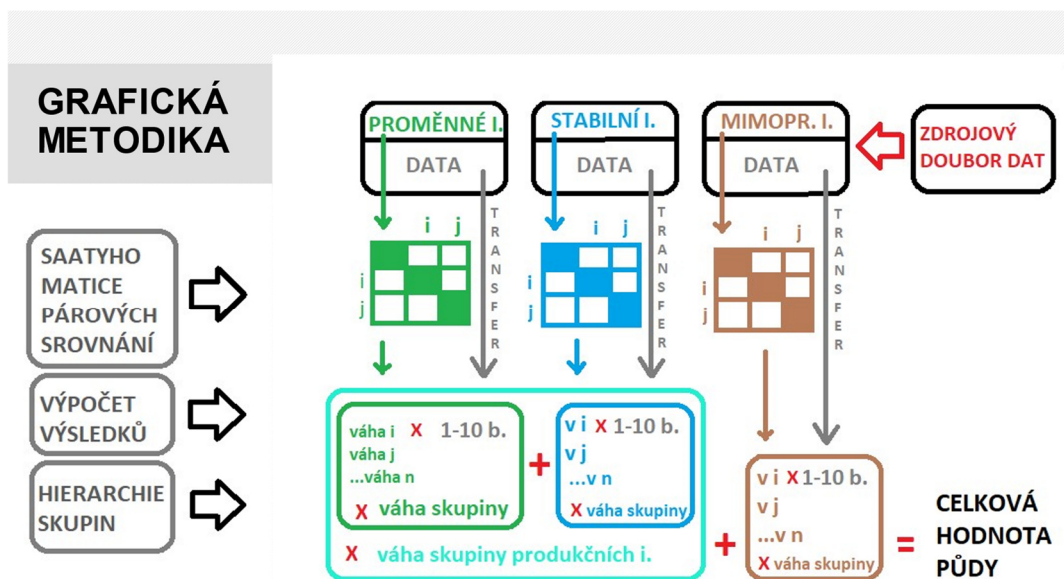
Výpočet výsledků hodnocení

V dalším kroku byla vynásobena bodová hodnota indikátoru vahou získanou v příslušné skupině indikátorů. Tímto způsobem vznikly tři nezávislé skupiny indikátorů. Dále byla zohledněna významnost (důležitost) jedné skupiny indikátorů vůči ostatním při zachování hierarchie rozdělení, jak je znázorněno v tabulce 7. Porovnána byla významnost proměnných a stabilních indikátorů uvnitř skupiny produkčních indikátorů a hierarchicky nadřazená významnost produkčních a mimoprodukčních indikátorů pro zjištění celkové hodnoty půdy.

Tab. 7: Váhy indikátorů a skupin indikátorů v hierarchickém uspořádání

| Indikátory proměnné (Ip) | Váha indikátoru (v _{Ip}) | Váha proměnné (v _p) | Váha produkční (v _{prd}) |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Výměnné pH | 0,055 | 0,40 40% | 0,95 95% |
| Obsah humusu | 0,308 | | |
| Retenční vodní kapacita | 0,131 | | |
| Nasycenost sorp. k. (V) | 0,131 | | |
| Kationtová výměnná k. (KVK) | 0,106 | | |
| Obsah fosforu | 0,037 | | |
| Obsah draslíku | 0,032 | | |
| Objemová hmotnost red. | 0,198 | | |
| Indikátory stabilní (Is) | Váha indikátoru (v _{Is}) | Váha stabilní (v _s) | |
| Zrnitostní složení | 0,429 | 0,60 60% | |
| Klimatický region | 0,228 | | |
| Mocnost horizontu | 0,169 | | |
| Skeletovitost | 0,081 | | |
| Sklonitost | 0,050 | | |
| Expozice | 0,042 | | |
| Indikátory mimoprodukční (Im) | Váha indikátoru (v _{Im}) | | Váha mimopr. (v _{mprd}) |
| Kvalita ekosystému | 0,167 | | 0,05 |
| Hydrologická skupna půd | 0,833 | | 5% |

Celkový postup stanovení bodové hodnoty půdy je znázorněn na obr. 7.



Obr. 7. Postup stanovení bodové hodnoty půdy

Tabulka 8 zobrazuje počty bodů (příklad okres Příbram), které byly vypočítány pro skupinu proměnných indikátorů. Hodnocení se provádělo ve dvou hloubkách, první hodnocené měření (v tabulce světlejší odstín) reprezentuje půdní horizont 0-30 cm pod povrchem, druhé hodnocené měření (v tabulce tmavší odstín) vyjadřuje vlastnosti půdy 30-60 cm pod povrchem.

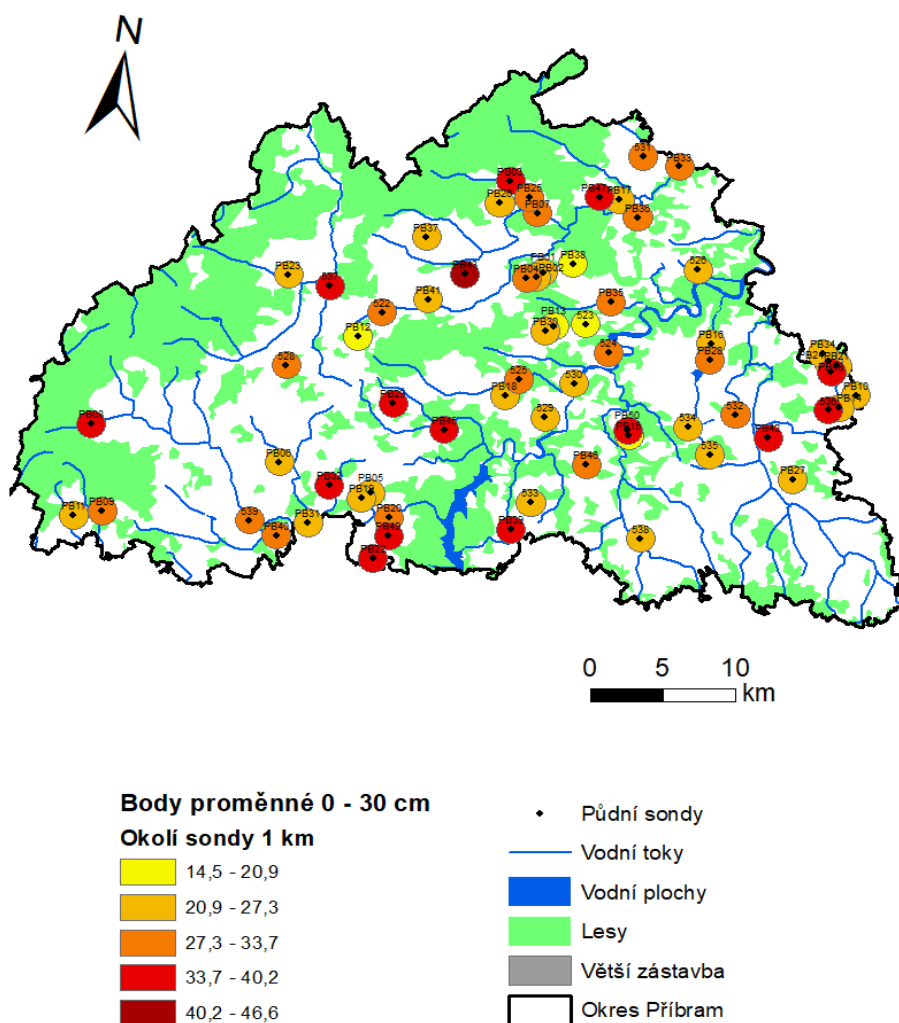
Sloupec skóre proměnné vyjadřuje celkový bodový zisk skupiny produkčních proměnných indikátorů pro obě hloubky. Nejde o prostý součet bodů, výsledné skóre bylo násobeno váhou indikátoru a váhou skupiny proměnných indikátorů v rámci skupiny produkčních indikátorů.

Obrázek 8 zobrazuje mapu s lokalizací sond a výsledky proměnných produkčních indikátorů pro hloubku 0 - 30 cm (příklad okres Příbram).

Tab. 8: Hodnocení proměnných indikátorů

| Kód sondy | Kód sondy | | | | | | | | | | | | | | | | Skóre proměnné 0-30 | | Skóre proměnné 30-60 | | Kód sondy | Kód sondy | | | | | | | | | | | | | | | | Skóre proměnné 0-30 | | Skóre proměnné 30-60 | |
|-----------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------|-----------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|--|--|---------------------|--|----------------------|--|
| | Výměnné pH 0-30 | Výměnné pH 30-60 | Obsah humusu 0-30 | Obsah humusu 30-60 | Obsah přístupného fosforu 0-30 | Obsah přístupného fosforu 30-60 | Obsah přístupného draslíku 0-30 | Obsah přístupného draslíku 30-60 | Katiónová výměnná kapacita 0-30 | Katiónová výměnná kapacita 30-60 | Nasyčenost sorpčního komplexu 0-30 | Nasyčenost sorpčního komplexu 30-60 | Retenční vodní kapacita | Objemová hmotnost redukovaná 0-30 | Objemová hmotnost redukovaná 30-60 | Skóre proměnné 0-30 | Skóre proměnné 30-60 | Výměnné pH 0-30 | Výměnné pH 30-60 | Obsah humusu 0-30 | | Obsah humusu 30-60 | Obsah přístupného fosforu 0-30 | Obsah přístupného fosforu 30-60 | Obsah přístupného draslíku 0-30 | Obsah přístupného draslíku 30-60 | Katiónová výměnná kapacita 0-30 | Katiónová výměnná kapacita 30-60 | Nasyčenost sorpčního komplexu 0-30 | Nasyčenost sorpčního komplexu 30-60 | Retenční vodní kapacita | Objemová hmotnost redukovaná 0-30 | Objemová hmotnost redukovaná 30-60 | Skóre proměnné 0-30 | Skóre proměnné 30-60 | | | | | | |
| PB01 | 7 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 7 | 7 | 3 | 6 | 6 | 26 | 25 | PB35 | 6 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 | 30 | 29 | | | | | | |
| PB02 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 5 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 5 | 27 | 25 | PB36 | 5 | 5 | 4 | 3 | 1 | 9 | 3 | 2 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 33 | 33 | | | | | | |
| PB03 | 10 | 10 | 3 | 2 | 7 | 7 | 2 | 2 | 4 | 5 | 8 | 8 | 10 | 5 | 5 | 34 | 33 | PB37 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 4 | 7 | 8 | 6 | 4 | 5 | 26 | 26 | | | | | | |
| PB04 | 8 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 | 6 | 4 | 5 | 32 | 29 | PB38 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 2 | 2 | 19 | 18 | | | | | | |
| PB05 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 5 | 5 | 6 | 3 | 5 | 6 | 24 | 24 | PB39 | 10 | 10 | 7 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 6 | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 35 | 29 | | | | | | |
| PB06 | 10 | 9 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 7 | 7 | 3 | 4 | 4 | 27 | 24 | PB40 | 5 | 5 | 8 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 5 | 6 | 7 | 5 | 3 | 3 | 33 | 30 | | | | | | |
| PB07 | 6 | 6 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 5 | 6 | 10 | 3 | 3 | 28 | 26 | PB41 | 10 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 9 | 8 | 3 | 4 | 5 | 25 | 24 | | | | | | |
| PB08 | 5 | 4 | 6 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 | 10 | 5 | 5 | 34 | 27 | PB42 | 6 | 7 | 8 | 6 | 1 | 1 | 3 | 1 | 9 | 8 | 8 | 8 | 6 | 3 | 4 | 38 | 35 | | | | | | |
| PB09 | 9 | 6 | 5 | 3 | 6 | 3 | 5 | 3 | 5 | 5 | 8 | 8 | 3 | 3 | 5 | 30 | 27 | PB43 | 6 | 6 | 9 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 7 | 6 | 7 | 6 | 5 | 5 | 41 | 36 | | | | | | |
| PB10 | 4 | 8 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 25 | 25 | PB45 | 4 | 7 | 8 | 6 | 2 | 8 | 3 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 37 | 35 | | | | | | |
| PB11 | 6 | 5 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 27 | 26 | PB46 | 4 | 4 | 6 | 5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 32 | 30 | | | | | | |
| PB12 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 19 | 17 | PB47 | 4 | 4 | 8 | 5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 8 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 36 | 29 | | | | | | |
| PB13 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 20 | 18 | PB48 | 6 | 6 | 8 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 39 | 35 | | | | | | |
| PB14 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 10 | 3 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 6 | 3 | 3 | 25 | 24 | PB49 | 6 | 5 | 8 | 6 | 1 | 7 | 2 | 2 | 9 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 38 | 34 | | | | | | |
| PB15 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 3 | 3 | 5 | 6 | 5 | 2 | 2 | 20 | 20 | PB50 | 4 | 4 | 10 | 10 | 1 | 2 | 1 | 1 | 10 | 9 | 4 | 4 | 5 | 2 | 3 | 37 | 37 | | | | | | |
| PB16 | 6 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 7 | 7 | 5 | 2 | 2 | 24 | 22 | 522 | 3 | 3 | 6 | 4 | 1 | 1 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 3 | 27 | 22 | | | | | | |
| PB17 | 6 | 6 | 3 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 27 | 27 | 523 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 20 | 19 | | | | | | |
| PB18 | 5 | 6 | 3 | 3 | 10 | 8 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 4 | 3 | 27 | 27 | 524 | 6 | 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 6 | 8 | 8 | 3 | 5 | 4 | 29 | 24 | | | | | | |
| PB19 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 3 | 3 | 24 | 21 | 525 | 5 | 5 | 4 | 3 | 9 | 8 | 3 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 28 | 26 | | | | | | |
| PB20 | 4 | 5 | 6 | 4 | 1 | 1 | 5 | 3 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 29 | 25 | 526 | 8 | 9 | 4 | 2 | 1 | 7 | 2 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 5 | 4 | 4 | 27 | 27 | | | | | | |
| PB21 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 7 | 2 | 2 | 5 | 5 | 5 | 6 | 10 | 3 | 4 | 26 | 28 | 527 | 7 | 6 | 6 | 4 | 2 | 9 | 3 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 31 | 29 | | | | | | |
| PB22 | 5 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 5 | 2 | 6 | 7 | 6 | 7 | 10 | 4 | 4 | 34 | 31 | 528 | 5 | 5 | 7 | 4 | 1 | 10 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 28 | 24 | | | | | | |
| PB23 | 9 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 7 | 7 | 5 | 3 | 5 | 24 | 24 | 529 | 6 | 6 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 | 8 | 10 | 2 | 2 | 26 | 27 | | | | | | |
| PB24 | 7 | 6 | 3 | 2 | 1 | 6 | 2 | 2 | 3 | 3 | 8 | 8 | 5 | 4 | 4 | 26 | 25 | 530 | 6 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 10 | 2 | 2 | 22 | 20 | | | | | | |
| PB25 | 8 | 7 | 3 | 2 | 10 | 8 | 3 | 2 | 2 | 1 | 8 | 8 | 10 | 2 | 2 | 29 | 26 | 531 | 7 | 5 | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 6 | 5 | 6 | 5 | 4 | 30 | 23 | | | | | | |
| PB26 | 6 | 6 | 3 | 2 | 10 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 3 | 2 | 2 | 22 | 20 | 532 | 6 | 6 | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 6 | 28 | 28 | | | | | | |
| PB27 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 7 | 8 | 5 | 3 | 3 | 23 | 22 | 533 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 23 | 22 | | | | | | |
| PB28 | 6 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 7 | 7 | 10 | 4 | 4 | 29 | 27 | 534 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 6 | 7 | 3 | 4 | 4 | 24 | 23 | | | | | | |
| PB29 | 7 | 8 | 5 | 4 | 9 | 7 | 2 | 1 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 3 | 3 | 35 | 33 | 535 | 4 | 5 | 4 | 3 | 1 | 1 | 5 | 2 | 6 | 7 | 6 | 7 | 5 | 3 | 3 | 26 | 26 | | | | | | |
| PB30 | 6 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 3 | 6 | 7 | 5 | 3 | 3 | 26 | 23 | 536 | 5 | 5 | 10 | 7 | 1 | 6 | 1 | 2 | 7 | 6 | 4 | 5 | 10 | 3 | 7 | 40 | 41 | | | | | | |
| PB31 | 5 | 5 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 6 | 7 | 6 | 3 | 3 | 25 | 24 | 537 | 3 | 3 | 9 | 6 | 1 | 1 | 2 | 1 | 7 | 6 | 2 | 3 | 6 | 4 | 5 | 34 | 30 | | | | | | |
| PB32 | 8 | 6 | 8 | 5 | 10 | 6 | 3 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 6 | 38 | 33 | 538 | 6 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 4 | 6 | 7 | 6 | 2 | 2 | 27 | 24 | | | | | | |
| PB33 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 2 | 10 | 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 32 | 27 | 539 | 7 | 6 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 | 5 | 30 | 29 | | | | | | |
| PB34 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 8 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 6 | 6 | 3 | 4 | 22 | 24 | průměr | 5,8 | 5,6 | 4,7 | 3,3 | 2,1 | 3,1 | 2,3 | 1,7 | 4,7 | 4,5 | 6,0 | 6,4 | 5,8 | 3,6 | 3,9 | 28,6 | 26,6 | | | | | | |

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



Obr. 8. Výsledné body stanovené na základě proměnných indikátorů

Tabulka 9 zobrazuje počty bodů, které získaly stabilní indikátory v místě sondy (příklad okres Příbram). Hodnocení se provádělo stejně jako u proměnných indikátorů ve dvou hloubkách.

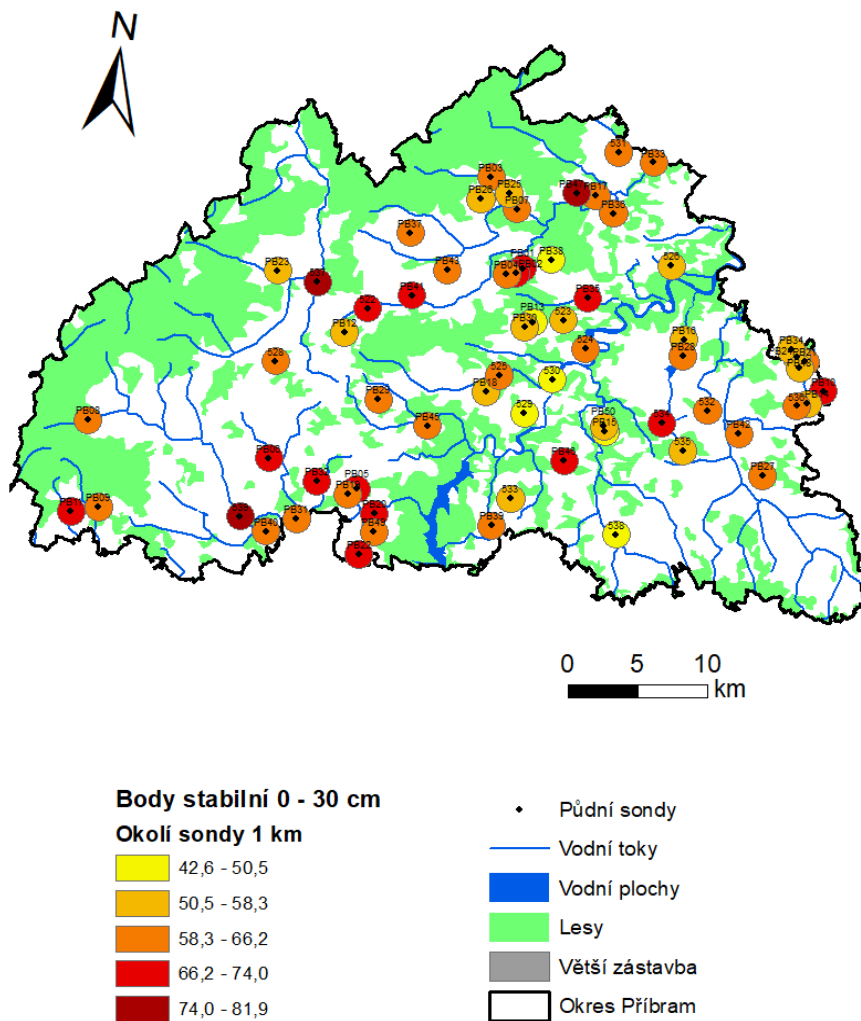
Tab. 9: Hodnocení stabilních indikátorů

| Kód sondy | Zmitostní složení 0-30 | Zmitostní složení 0-30 | Klimatický region | Mocnost 1. horizontu | Mocnost 2. horizontu | Skelet | Sklonitost | Expozice | Skóre stabilní 0-30 | Skóre stabilní 30-60 | Kód sondy | Zmitostní složení 0-30 | Zmitostní složení 0-30 | Klimatický region | Mocnost 1. horizontu | Mocnost 2. horizontu | Skelet | Sklonitost | Expozice | Skóre stabilní 0-30 | Skóre stabilní 30-60 |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------|------------|----------|---------------------|----------------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------|------------|----------|---------------------|----------------------|
| PB01 | 10 | 9 | 5 | 6 | 5 | 8 | 8 | 10 | 72 | 67 | PB35 | 9 | 9 | 5 | 6 | 3 | 9 | 10 | 10 | 70 | 65 |
| PB02 | 10 | 10 | 5 | 6 | 6 | 9 | 8 | 10 | 73 | 73 | PB36 | 7 | 7 | 6 | 4 | 5 | 9 | 8 | 10 | 60 | 62 |
| PB03 | 8 | 10 | 6 | 6 | 5 | 5 | 8 | 10 | 64 | 71 | PB37 | 8 | 10 | 5 | 6 | 7 | 5 | 8 | 10 | 62 | 72 |
| PB04 | 8 | 10 | 5 | 6 | 5 | 9 | 10 | 10 | 66 | 72 | PB38 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 9 | 8 | 10 | 49 | 49 |
| PB05 | 9 | 7 | 5 | 6 | 6 | 10 | 10 | 10 | 71 | 63 | PB39 | 8 | 7 | 5 | 6 | 10 | 9 | 10 | 10 | 66 | 68 |
| PB06 | 8 | 8 | 5 | 7 | 6 | 10 | 10 | 10 | 68 | 67 | PB40 | 8 | 8 | 5 | 6 | 10 | 9 | 10 | 10 | 66 | 72 |
| PB07 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 5 | 8 | 10 | 64 | 64 | PB41 | 8 | 10 | 5 | 6 | 6 | 10 | 10 | 10 | 67 | 75 |
| PB08 | 9 | 7 | 3 | 5 | 5 | 9 | 10 | 10 | 64 | 56 | PB42 | 7 | 8 | 5 | 7 | 6 | 5 | 10 | 10 | 61 | 63 |
| PB09 | 8 | 10 | 3 | 6 | 5 | 8 | 8 | 10 | 60 | 67 | PB43 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 9 | 8 | 10 | 61 | 60 |
| PB10 | 8 | 8 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 | 68 | 69 | PB45 | 8 | 10 | 5 | 5 | 8 | 9 | 8 | 10 | 64 | 76 |
| PB11 | 10 | 9 | 3 | 6 | 5 | 8 | 10 | 10 | 69 | 64 | PB46 | 10 | 9 | 5 | 5 | 7 | 9 | 10 | 10 | 72 | 72 |
| PB12 | 7 | 7 | 5 | 5 | 8 | 5 | 8 | 10 | 57 | 61 | PB47 | 10 | 10 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 10 | 75 | 77 |
| PB13 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 9 | 8 | 10 | 49 | 48 | PB48 | 6 | 5 | 5 | 5 | 9 | 9 | 8 | 10 | 56 | 58 |
| PB14 | 7 | 7 | 5 | 6 | 10 | 5 | 8 | 10 | 58 | 64 | PB49 | 8 | 10 | 5 | 6 | 10 | 5 | 8 | 10 | 62 | 76 |
| PB15 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 5 | 8 | 10 | 45 | 48 | PB50 | 6 | 7 | 5 | 4 | 6 | 9 | 8 | 10 | 54 | 61 |
| PB16 | 6 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 10 | 53 | 45 | 522 | 10 | 7 | 5 | 6 | 6 | 5 | 8 | 10 | 70 | 58 |
| PB17 | 7 | 4 | 6 | 5 | 6 | 9 | 10 | 10 | 63 | 52 | 523 | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 9 | 10 | 10 | 58 | 47 |
| PB18 | 7 | 7 | 5 | 5 | 5 | 9 | 5 | 10 | 58 | 58 | 524 | 7 | 6 | 5 | 6 | 6 | 10 | 8 | 10 | 62 | 58 |
| PB19 | 8 | 7 | 5 | 6 | 10 | 5 | 8 | 10 | 62 | 64 | 525 | 7 | 8 | 5 | 6 | 5 | 9 | 3 | 10 | 59 | 61 |
| PB20 | 10 | 9 | 5 | 8 | 6 | 5 | 8 | 10 | 73 | 66 | 526 | 7 | 7 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 1 | 53 | 55 |
| PB21 | 9 | 9 | 5 | 5 | 6 | 8 | 5 | 1 | 62 | 63 | 527 | 10 | 9 | 5 | 6 | 6 | 5 | 10 | 10 | 71 | 67 |
| PB22 | 10 | 10 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 10 | 74 | 77 | 528 | 8 | 8 | 3 | 6 | 7 | 8 | 8 | 10 | 60 | 62 |
| PB23 | 8 | 10 | 3 | 5 | 6 | 5 | 8 | 10 | 56 | 66 | 529 | 3 | 2 | 5 | 6 | 5 | 5 | 8 | 10 | 43 | 37 |
| PB24 | 8 | 8 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 1 | 56 | 57 | 530 | 4 | 4 | 5 | 7 | 6 | 5 | 8 | 10 | 48 | 47 |
| PB25 | 4 | 4 | 6 | 6 | 7 | 9 | 10 | 10 | 52 | 54 | 531 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 9 | 8 | 10 | 63 | 63 |
| PB26 | 4 | 3 | 6 | 5 | 7 | 10 | 10 | 10 | 52 | 51 | 532 | 8 | 9 | 5 | 6 | 4 | 8 | 10 | 10 | 65 | 66 |
| PB27 | 7 | 8 | 5 | 5 | 10 | 9 | 8 | 10 | 60 | 71 | 533 | 6 | 6 | 5 | 6 | 8 | 5 | 5 | 10 | 53 | 56 |
| PB28 | 8 | 8 | 5 | 6 | 6 | 5 | 8 | 10 | 62 | 62 | 534 | 8 | 8 | 5 | 6 | 6 | 10 | 10 | 10 | 67 | 67 |
| PB29 | 8 | 8 | 5 | 5 | 7 | 2 | 8 | 10 | 58 | 61 | 535 | 7 | 6 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 10 | 57 | 55 |
| PB30 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 3 | 3 | 1 | 51 | 50 | 536 | 7 | 10 | 5 | 6 | 9 | 9 | 10 | 10 | 62 | 79 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| PB31 | 7 | 7 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 10 | 62 | 64 | 537 | 10 | 9 | 5 | 6 | 6 | 10 | 10 | 10 | 75 | 71 |
| PB32 | 9 | 7 | 5 | 6 | 6 | 10 | 10 | 10 | 71 | 63 | 538 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 8 | 10 | 49 | 51 |
| PB33 | 7 | 7 | 6 | 5 | 10 | 5 | 8 | 10 | 59 | 67 | 539 | 10 | 9 | 5 | 6 | 7 | 10 | 10 | 10 | 75 | 72 |
| PB34 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 5 | 8 | 10 | 58 | 57 | Průměr | 7,5 | 7,4 | 5,0 | 5,8 | 6,5 | 7,5 | 8,3 | 9,5 | 61,6 | 62,4 |

Obrázek 9 zobrazuje mapu s lokalizací sond a výsledky stabilních produkčních indikátorů (příklad okres Příbram).

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



Obr. 9: Celkové skóre stabilních indikátorů v hloubce 0-30 cm

Počty bodů, které stabilní indikátory získaly v místě sondy, zobrazuje tabulka 10. U skupiny mimoprodukčních ukazatelů bylo skóre indikátoru násobeno váhou indikátoru a redukováno váhou skupiny mimoprodukčních indikátorů. Maximální, teoreticky možný počet bodů získaných ve skupině proměnných indikátorů byl 16, minimální 2.

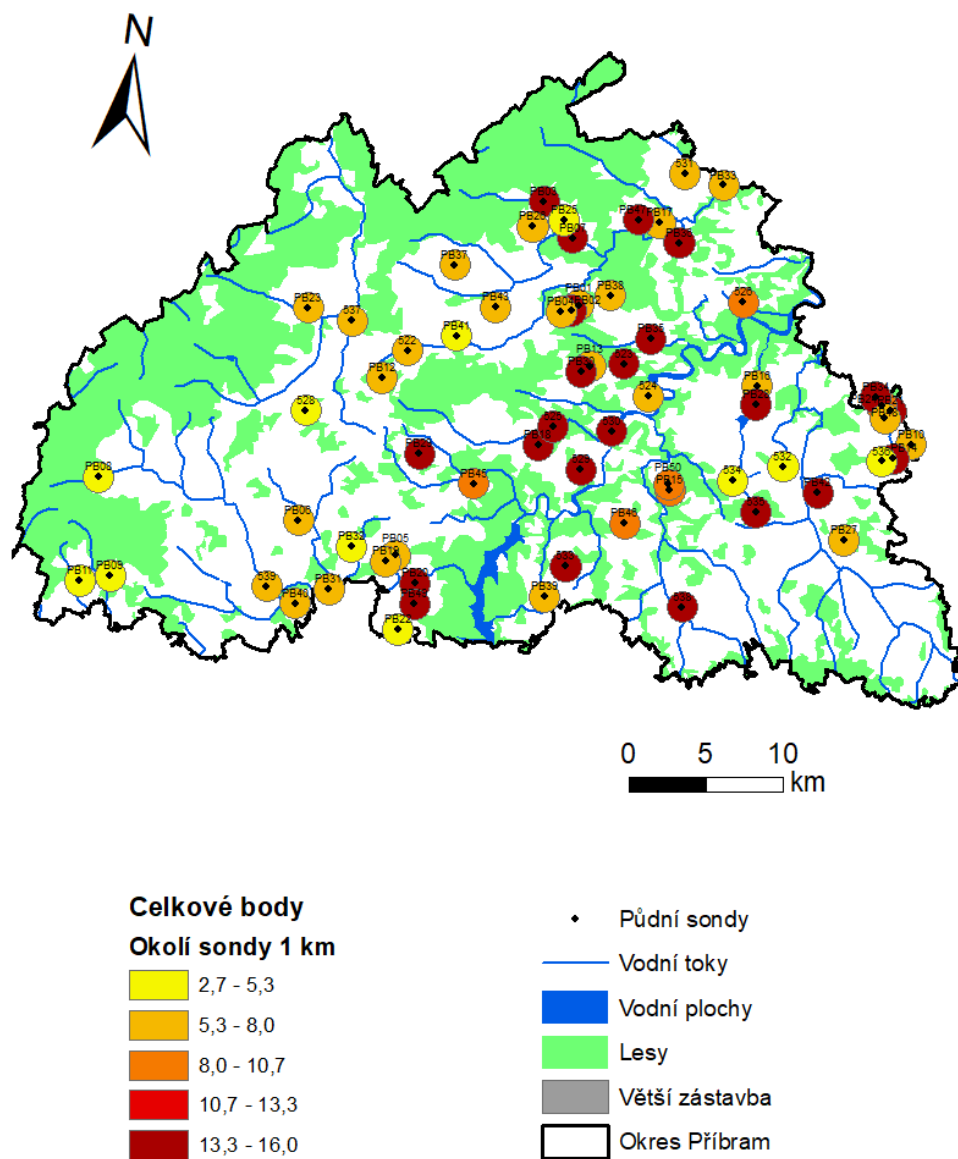
Obrázek 10 zobrazuje mapu s lokalizací sond a výsledky mimoprodukčních indikátorů.

Tab. 10: Hodnocení mimoprodukčních indikátorů

| Kód sondy | Hydrologická skupina púd | Kvalita ekosystému | SKÓRE MIMOPRODUKČNÍ | Kód sondy | Hydrologická skupina púd | Kvalita ekosystému | SKÓRE MIMOPRODUKČNÍ |
|-----------|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------------|--------------------|---------------------|
| PB01 | 3 | 5 | 5 | PB35 | 10 | 5 | 15 |
| PB02 | 10 | 5 | 15 | PB36 | 10 | 10 | 16 |
| PB03 | 10 | 10 | 16 | PB37 | 3 | 5 | 5 |
| PB04 | 3 | 5 | 5 | PB38 | 3 | 5 | 5 |
| PB05 | 3 | 5 | 5 | PB39 | 3 | 5 | 5 |
| PB06 | 3 | 5 | 5 | PB40 | 5 | 5 | 8 |
| PB07 | 10 | 5 | 15 | PB41 | 1 | 5 | 3 |
| PB08 | 1 | 5 | 3 | PB42 | 10 | 5 | 15 |
| PB09 | 1 | 5 | 3 | PB43 | 3 | 5 | 5 |
| PB10 | 3 | 5 | 5 | PB45 | 5 | 10 | 9 |
| PB11 | 1 | 5 | 3 | PB46 | 5 | 10 | 9 |
| PB12 | 5 | 5 | 8 | PB47 | 10 | 10 | 16 |
| PB13 | 5 | 5 | 8 | PB48 | 5 | 5 | 8 |
| PB14 | 10 | 10 | 16 | PB49 | 10 | 10 | 16 |
| PB15 | 5 | 10 | 9 | PB50 | 5 | 10 | 9 |
| PB16 | 5 | 5 | 8 | 522 | 5 | 5 | 8 |
| PB17 | 5 | 5 | 8 | 523 | 10 | 5 | 15 |
| PB18 | 10 | 10 | 16 | 524 | 3 | 5 | 5 |
| PB19 | 5 | 5 | 8 | 525 | 10 | 10 | 16 |
| PB20 | 10 | 5 | 15 | 526 | 5 | 10 | 9 |
| PB21 | 10 | 10 | 16 | 527 | 5 | 10 | 9 |

| | | | | | | | |
|------|----|----|----|--------|-----|-----|-----|
| PB22 | 1 | 5 | 3 | 528 | 1 | 10 | 4 |
| PB23 | 5 | 5 | 8 | 529 | 10 | 10 | 16 |
| PB24 | 5 | 10 | 9 | 530 | 10 | 5 | 15 |
| PB25 | 1 | 10 | 4 | 531 | 3 | 5 | 5 |
| PB26 | 3 | 5 | 5 | 532 | 1 | 5 | 3 |
| PB27 | 3 | 5 | 5 | 533 | 10 | 10 | 16 |
| PB28 | 10 | 5 | 15 | 534 | 1 | 5 | 3 |
| PB29 | 10 | 10 | 16 | 535 | 10 | 5 | 15 |
| PB30 | 10 | 5 | 15 | 536 | 1 | 10 | 4 |
| PB31 | 3 | 10 | 7 | 537 | 3 | 5 | 5 |
| PB32 | 1 | 5 | 3 | 538 | 10 | 5 | 15 |
| PB33 | 5 | 5 | 8 | 539 | 3 | 5 | 5 |
| PB34 | 10 | 10 | 16 | Průměr | 5,6 | 6,7 | 9,2 |

Výsledné body pro mimoprodukční funkci půdy



Obr. 10: Celkové skóre mimoprodukčních indikátorů

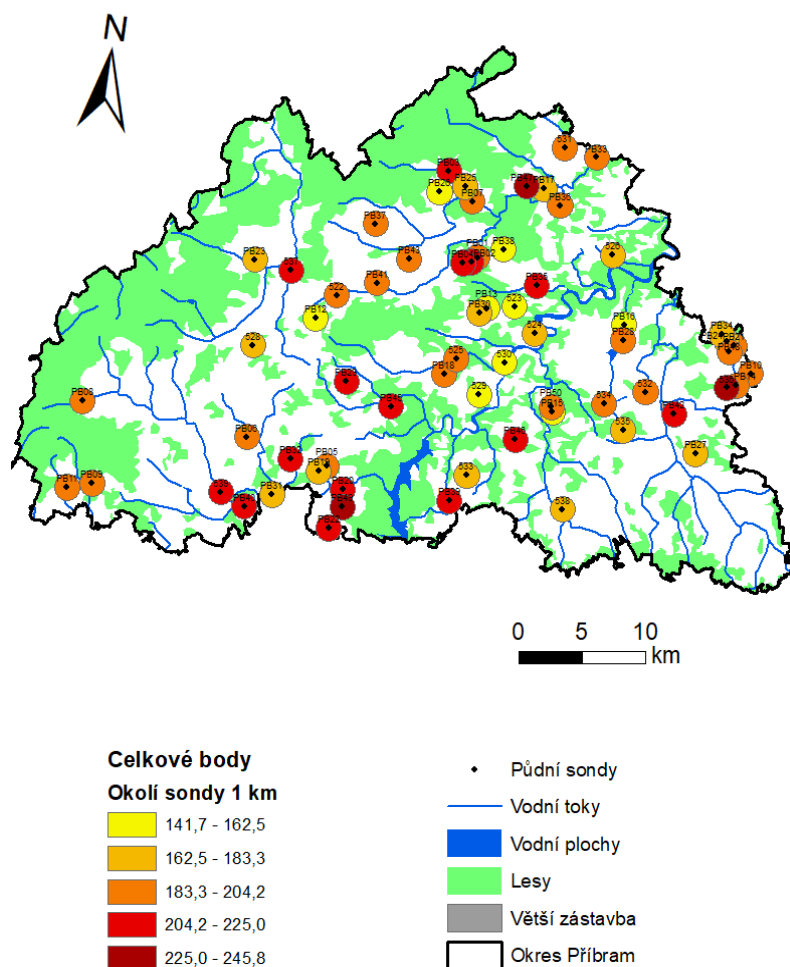
Celková hodnota půdy

Celková hodnota půdy představuje hierarchicky nejvyšší úroveň hodnocení, která v sobě koncentruje výsledky dílčích hodnocení. Celková hodnota půdy je vyjádřena součtem celkového skóre produkčních indikátorů v obou hloubkách horizontů 0-30 a 30-60 cm ke kterým bylo přičteno skóre skupiny mimoprodukčních indikátorů. Celkovou hodnotu půdy zobrazuje tabulka 11. Maximální možný počet získaných bodů je 320, minimální 32.

Tab. 11: Celková hodnota půdy

| Kód sondy | Celková hodnota půdy | Kód sondy | Celková hodnota půdy | Kód sondy | Celková hodnota půdy | Kód sondy | Celková hodnota půdy |
|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| PB01 | 195 | PB18 | 187 | PB35 | 209 | 524 | 179 |
| PB02 | 212 | PB19 | 179 | PB36 | 204 | 525 | 190 |
| PB03 | 217 | PB20 | 208 | PB37 | 191 | 526 | 171 |
| PB04 | 204 | PB21 | 196 | PB38 | 142 | 527 | 207 |
| PB05 | 187 | PB22 | 218 | PB39 | 204 | 528 | 178 |
| PB06 | 191 | PB23 | 178 | PB40 | 209 | 529 | 149 |
| PB07 | 198 | PB24 | 173 | PB41 | 193 | 530 | 151 |
| PB08 | 184 | PB25 | 166 | PB42 | 212 | 531 | 185 |
| PB09 | 187 | PB26 | 149 | PB43 | 203 | 532 | 190 |
| PB10 | 192 | PB27 | 181 | PB45 | 220 | 533 | 171 |
| PB11 | 187 | PB28 | 195 | PB46 | 215 | 534 | 184 |
| PB12 | 161 | PB29 | 204 | PB47 | 232 | 535 | 178 |
| PB13 | 143 | PB30 | 164 | PB48 | 195 | 536 | 226 |
| PB14 | 187 | PB31 | 182 | PB49 | 227 | 537 | 215 |
| PB15 | 142 | PB32 | 208 | PB50 | 199 | 538 | 166 |
| PB16 | 152 | PB33 | 192 | 522 | 185 | 539 | 211 |
| PB17 | 177 | PB34 | 176 | 523 | 160 | Průměr | 188 |

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



Obr. 11: Skóre celkové hodnoty půdy

5. Závěry

Projekt se zabýval zhodnocením kvality půdy a schopnosti těchto půd poskytovat ekosystémové služby. Pro zhodnocení kvality půdy byly použity dva přístupy. Metoda SFA, která zvolila metodu průměrného bodového hodnocení a celkového součtu bodů. Byly zkoumány vlastnosti půd na jednotlivých stanovištích v hloubkách 0-30 cm a 30-60 cm od povrchu.

Použitím metody SAS se do hodnocení kvality půdy bodovací metodou integroval matematický přístup, který přináší do systému hodnocení půd více objektivitu. Koncepte hodnocení také umožňuje agregovat další indikátory nebo skupiny indikátorů, což otevírá možnosti pro další vývoj.

Stanovené postupy již v současné podobě umožňují plošné hodnocení půd v ČR z hlediska produkčních a základních mimoprodukčních vlastností. Do budoucna se mohou stát základem pro

vyjádření skutečné ceny půdy danou oceněním celého souboru důležitých ekosystémových služeb a mohou být základem pro nový způsob hodnocení půdy jako krajinného prvku. Výsledky mohou být využity k upřesnění kritérií, na jejichž základě se půdy dělí do tříd ochrany půd.

Obě metody poskytují srovnatelné výsledky.

Výsledky byly transformovány do map BPEJ.

6. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika nabízí uplatnění zejména pro:

- komplexní hodnocení půdy, stanovení zvláštní hodnoty půdy
- vyjádření hodnoty půdy dané oceněním celého souboru důležitých ekosystémových služeb
- umožnění adekvátní ochrany zemědělského půdního fondu
- upravení kritérií, dle nichž se půdy dělí do tříd ochrany půd
- použití při územním plánování, adekvátní využívání pozemků

7. Ekonomické aspekty

Česká republika je stát střední velikosti, přesto záborů zemědělské půdy mají stoupající tendenci. V ČR je pouze 20 % středně a vysoce úrodných půd. Zemědělské půdy poblíž měst mají většinou nížinný reliéf a jsou strategicky významné pro stavbu nových průmyslových zón, zatímco zemědělství se přesouvá na půdy méně úrodné a často situované ve svazích, kde je potřeba vyvinout větší úsilí pro udržování produkce schopné půdy a ochrany proti erozi půdy. Spilková a Šefrna (2010) tvrdí, že na pražské periferii obchodní plochy zaujímají více než 100 ha zemědělské půdy. Většina této plochy spadala podle ZPF (zemědělský půdní fond) do kategorie nejúrodnějších půd. Česká republika dle Spilková a Šefrna (2010) je v porovnání se sousedními zeměmi stát s nejrychleji ubývající zemědělskou půdou. Podíl zemědělské půdy na jednoho obyvatele od roku 1936 do roku 2017 klesl z 0,47 ha na 0,397 ha, výměra orné půdy se snížila z 0,364 ha na současných 0,28 ha (ČÚZK, Ročenka půdního fondu, 2022). V ČR klesá podíl zemědělské půdy na celkové rozloze státu nejrychleji ve srovnání s ostatními zeměmi EU.

Mezi důsledky záborů můžeme zařadit:

- lokální povodně - velmi omezená schopnost infiltrace a retence vody v zastavěném území (1 ha hluboké černozemě může akumulovat až 3500 m³ vody) –
- není dostatečně doplňována hladina podzemní vody-
- nové stavby představují i potenciální nebezpečí kontaminace svého okolí (odpadní vody, zvýšený objem dopravy apod.)-
- úbytek nejúrodnějších půd-
- významné snížení obdělávané plochy - ztráta zisku z produkce
- narušení rovnováhy RV – ŽV

Z těchto všech uvedených důvodů je nutné půdu efektivně chránit. Dokázat, že půda má vyšší a trvalou hodnotu než politicky preferované průmyslové zóny a podobně krátkodobě využitelné stavby.

Smyslem projektu a metodiky je podat ohodnocení půd, které bude nezpochybnitelným dokladem o její trvalé hodnotě. Hodnocení půdy by se následně mělo projevit v politických rozhodnutích v nakládání s půdou. Existuje zde významný přesah odborného výzkumu do společenských procesů. Respektování a uvědomění si hodnoty půdy je důležitým ekonomickým aspektem.

8. Seznam zkratk

AHP - analytický hierarchický proces
BPEJ - Bonitovaná půdně ekologická jednotka
CORINE - Coordination of Information on the Environment
ČR - Česká republika
ČÚZK - Český úřad zeměměřický a katastrální
DPB - díly půdních bloků (zpravidla se jedná o jednotlivá pole, nebo jejich části)
ES - ekosystémové služby
EU - Evropská unie
eAGRI - centrální přístupový bod k informačním zdrojům Ministerstva zemědělství
FAO - Food and Agriculture Organization
GeoJSON - GeoJSON - otevřený standardní formát navržený pro reprezentaci jednoduchých prostorových geografických dat společně s jejich atributy. GeoJSON formát je založen na formátu JSON
GIS - Geografický informační systém
HPJ - hlavní půdní jednotka
HSP - hydrologická skupina půd
JavaScript - multiplatformní, objektově orientovaný, událostmi řízený skriptovací jazyk
JSON - JavaScript Object Notation (JavaScriptový objektový zápis, JSON) je způsob zápisu dat (datový formát) nezávislý na počítačové platformě, určený pro přenos dat, která mohou být organizována v polích nebo agregována v objektech.
KR - klimatický region
KVK - kationtová výměnná kapacita
LPIS - land parcel information system
MAES - mapování a hodnocení ekosystémových služeb
MZe - Ministerstvo zemědělství
NAZV- Národní agentura pro zemědělský výzkum
PEJ - půdně-ekologická jednotka
PuGIS - Půdní geografický informační systém
RVK - retenční vodní kapacita
SAS Soil Assessment System
SDG - Sustainable Development Goals
SFA – Soil Function Assessment
SQUID - index kvality půdy
URBAN SMS - Urban Soil Management Strategy
ZPF - Zemědělský půdní fond

9. Seznam související literatury

1. Arshad MA, Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88 (2): 153-160.
2. Drobnik T, Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A. 2018. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators* 94: 151-169.
3. Džatko M, Hraško J, Linkeš V, Mašát K, Němeček J. 1979. Hodnotenie relativnej produkčnej schopnosti pod ČSSR. *Rostlinná výroba* 25 (7): 693-699.
4. Fliessbach A, Oberholzer H-R, Gunst L, Mäder P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture*.
5. Halsmayr HP, Geitner C, Sutor G, Knoll A, Baumgarten A. 2016. Soil function evaluation in Austria - development, concepts and examples. *Geoderma* 264: 379–387.
6. Kopecký J. 1931. Bodové stanovení bonity orných půd v ČSR. Zvláštní otisk ze Zemědělského Archivu, ročník XXII, sešit 1-2. Knihotiskárna Politiky, Praha.
7. Kozák J, Němeček J, Borůvka L, Lérová Z, Němeček K, Kodešová R, Janků J, Jacko K, Hladík J, Zádorová T. 2009. Atlas půd České republiky. 2. upravené vydání. Česká zemědělská univerzita v Praze: Praha.
8. Kozák J, Galušková I. 2010. Urban SMS. Interreg IV Central Europe Programme. IPN: 1CE064P3. Katedra pedologie a ochrany půd, Česká zemědělská univerzita, Praha. Elektronická forma. Zpracováno v rámci: Blumlein et al., 2012. Soil in the City. Urban Soil Management Strategy.
9. MAES. 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services – An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. Luxembourg: Publications office of the European Union.
10. Mašát K, Němeček J, Džatko M. 1985. Systém bodového hodnocení produkčního potenciálu BPEJ. Závěrečná zpráva. Praha.
11. Miháliková, M., Dengiz, O. 2019. Towards More Effective Irrigation Water Usage by Employing the Land Suitability Assessment for Various Irrigation Techniques. *IRRIGATION AND DRAINAGE*, 2019, roč. 68, č. 4, s. 617-628. ISSN: 1531-0353.
12. Novák P, Kohel J, Tomiška Z, Zlatušková S. 1995. Metodika stanovení bodové hodnoty půdy (návrh). VÚMOP, Praha.
13. Oberholzer H-R, Freiermuth Knuchel R, 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.
14. Olivková, I. (2011). Aplikace metod vícekritériálního rozhodování při hodnocení kvality veřejné dopravy. *Perner's Contacts*, 6(3), 293–303. Získáno z <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/874>
15. Ronchi S, Salata S, Arcidiacono A, Piroli E, Montanarella L. 2019. Policy instruments for soil protection among the EU member states: A comparative analysis. *Land Use Policy* 82: 763–780.

16. Saaty, T. L. (1984). The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments. In *Quantitative Assessment in Arms Control* (pp. 285-308). Springer, Boston, MA.
17. Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
18. Saaty, T. L. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 74(3), 426-447.
19. Sáňka M, Vácha R, Poláková Š, Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN: 978-80-7212-627-9.
20. Schloter M, Dilly O, Munch JC. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98 (1-3): 255-262.
21. Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky: (2018) ČÚZK, dostupné na: https://www.cuzk.cz/Periodika-apublikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenska_pudniho_fondu_2018.aspx
22. Spilková, J., Šefrna, L. (2010): Uncoordinated new retail development and its impact on land use and soils: A pilot study on the urban fringe of Prague, Czech Republic. 2010. *Landscape and Urban Planning* 94, s. 141–148.
23. Vaidemane Ka. 2019. Contribution of ecosystem services to achievement of the sustainable development goals. *TERRAENVISION Abstracts*. Barcelona.
24. Wolff G. 2006. *Das Bodenschutzkonzept Stuttgart (BOKS)*. Stuttgart, Germany.

10. Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Toth D, Janků J, Marhoul AM, Kozák J, Maitah M, Jehlička J, et al.. Soil quality assessment using SAS (Soil Assessment System). *Soil & Water Res.* 2023;18(1):1-15. doi: 10.17221/141/2022-SWR.
2. Janků J., Kosánová M., Kozák J., Herza T., Jehlička J., Maitah M., Vopravil J., Němeček K., Toth D., Jacko K., Vácha R., Poláková J.: Using soil quality indicators to assess their production and ecological functions. *Soil and Water Research.*, 17: 45–58. 2022.
3. Jaroslava Janků, Jan Jehlička, Kristina Heřmanová, Daniel Toth, Mansoor Maitah, Josef Kozák, Jan Vopravil, Radim Vácha, Karel Jacko, Tomáš Herza. An overview of a land evaluation in the context of ecosystem services. *Soil and Water Research*, 17: 1–14. 2022
4. Janků J., Jakšík O., Kozák J., Marhoul A.M. : Estimation of land loss in the Czech Republic in the near future. *Soil & Water Res.*, 11: 155–162. 2016.
5. Janků J., Sekáč P., Baráková J., Kozák J. : Land use analysis in terms of farmland protection in the Czech Republic. *Soil & Water Res.*, 11: 20–28. 2016.