



Hana Středová, Lukáš Čechura, Filip
Chuchma, Tomáš Khel, Josef Slaboch,
Bronislava Spáčilová, Tomáš Středa, Jan Vopravil

Bonitace půd pro 21. století

Mendelova univerzita v Brně

Hana Středová, Lukáš Čechura, Filip Chuchma,
Tomáš Khel, Josef Slaboch, Bronislava Spáčilová,
Tomáš Středa, Jan Vopravil

Bonitace půd pro 21. století

2024



Recenzenti

Doc. Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.¹

Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.²

¹ Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geografie, 17. listopadu 1192/12, 779 00 Olomouc, Česká republika

² Technická univerzita vo Zvolene, Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika

Autorský kolektív

doc. Ing. Hana Středová, Ph.D.¹

prof. Ing. Lukáš Čechura, Ph.D.²

RNDr. Filip Chuchma, Ph.D.³

Ing. Tomáš Khel, Ph.D.⁴

Ing. Josef Slaboch, Ph.D.²

Ing. Bronislava Spáčilová, Ph.D.¹

doc. Ing. Tomáš Středa, Ph.D.¹

doc. Ing. Jan Vopravil, Ph.D.⁴

¹ Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská 1, 613 00 Brno

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchbát

³ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

⁴ Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v. v. i., Žabovřeská 250, 156 00 Praha-Zbraslav

Poděkování

Kniha vznikla za finanční podpory projektu QK22020130 Implementace inovací BPEJ do systému státní správy a projektu FW06010399 Agroenvironmentálně-meteorologický dvouúrovňový modulární systém monitoringu - tento projekt je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v rámci Programu TREND.

© Mendelova Univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

ISBN 978-80-7701-017-7 (tisk)

ISBN 978-80-7701-018-4 (online ; pdf)

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-018-4>



Open Access: Monografie *Bonitace půd pro 21. století* podléhá licenci
Uveďte původ 4.0 (CC BY 4.0) Mezinárodní

OBSAH

Abstrakt	4
Abstract.....	4
Úvod.....	5
1 Bonitace půd v souvislostech.....	7
1.1 Bonitace půd pohledem autorského kolektivu	7
1.2 Historický exkurz.....	7
1.3 Současné výzvy a budoucí perspektivy bonitačního systému	10
1.3.1 Globální změna (nejen klimatu)	10
1.3.2 Facelift systému BPEJ v kostce	10
1.3.3 Oceňování neocenitelného.....	11
1.3.4 Legislativní koncovka.....	12
2 Klimaticky podmíněné atributy bonitace půd.....	14
2.1 Klimatické regiony a jejich aktualizace: souhrn poznatků	15
2.2 Metodika zpřesňování hranic nově navržených klimatických regionů	17
2.3 Potenciální evapotranspirace jako základ nové klimatické regionalizace v detailu	21
2.4 Příklad praktické aplikace nových KR	22
2.4.1 Případová studie „Nitrátová směrnice“	22
2.4.2 Případová studie: Faktor erozní účinnosti deště (Faktor R).....	22
3 Pedologicky a stanovištně podmíněné atributy bonitace půd	25
3.1 Nově vzniklé skupiny půd v rámci systému BPEJ.....	26
3.1.1 Kolvizemě	26
3.1.2 Antropozemě.....	26
3.2 Příklad praktické aplikace nových HPJ.....	28
3.2.1 Případová studie: Faktor erodibility půdy (Faktor K)	28
3.2.2 Případová studie: Kvantifikaci odtokové odezvy povodí	28
4 Ekonomické aspekty bonitace půd.....	30
4.1 Vývoj cen BPEJ	30
4.2 Oceňování nových kódů BPEJ.....	35
4.3 Produkční potenciál a mimoprodukční funkce půdy	36
Závěr.....	43
Shrnutí	44
Summary	45
Seznam použité literatury	52
Seznam zkratk, obrázků, tabulek.....	55
Seznam zkratk	55
Seznam obrázků.....	56
List of Figures.....	56
Seznam tabulek	57
List of Tables.....	57

ABSTRAKT

Hodnocení zemědělské půdy hraje klíčovou roli v podpoře udržitelného hospodaření s půdou a správě krajiny. Monografie s názvem „*Bonitace půd pro 21. století*“ shrnuje hlavní pokroky v systému Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), které jsou výsledkem více než dvou dekád intenzivního výzkumu a odborného úsilí. Mezi inovace patří aktualizace klimatické regionalizace, kterou si vyžádala zejména pokračující změna klimatu, způsobující výrazné posuny v ukazatelích, jako jsou teplota a průběh srážek. Systém byl dále rozšířen o nové klasifikace půd, například svahových a antropogenních půd, aby přesněji zachycoval jejich vlastnosti a produkční potenciál. Ekonomické úpravy, včetně vytvoření odhadů stínových cen mimoprodukčních funkcí půdy, zajistily lepší sladění systému s požadavky společnosti a legislativními potřebami. Mezi budoucí výzvy patří propojení klimatických a půdních klasifikací a zpřesnění ekonomického ohodnocení všech kombinací kódů BPEJ. Díky řešení těchto potřeb přispívá systém BPEJ k udržitelnému využívání půdy a plánování krajiny s důrazem na produkční i mimoprodukční hodnoty zemědělské půdy, které jsou klíčové pro dlouhodobou ekologickou stabilitu.

Klíčová slova: degradace půdy, změna klimatu, ekosystémové služby

ABSTRACT

The evaluation of agricultural land plays a crucial role in supporting sustainable land management. The monograph titled „*Soil Evaluation for the 21st Century*“ summarizes key advancements in the Estimated pedologic-ecological unit (EPEU) system, reflecting over two decades of intensive research and expert effort. Innovations include the update of climatic regionalization, driven primarily by ongoing climate change, which has caused significant shifts in temperature and precipitation patterns. The system has also been expanded with new soil classifications, including slope soils and anthropogenic soils, to capture their properties and productive potential more precisely. The implementation of economic adjustments, including the development of shadow price estimates for the non-productive functions of land, has ensured that the system is better aligned with societal and legislative needs. Future challenges include the integration of climatic and soil classifications, as well as the refinement of the economic valuation of all combinations of EPEU. By addressing these needs, the system contributes to sustainable land management, emphasizing productive and non-productive values of agricultural land essential for long-term ecological stability.

Keywords: soil degradation, climate change, ecosystem services

ÚVOD

Bonitace půd představuje klíčový nástroj pro hodnocení a klasifikaci zemědělské půdy, jejíž kvalita a využitelnost jsou rozhodující pro efektivitu a udržitelnost zemědělské produkce. V současné době se tento systém vyvíjí v reakci na dynamické změny v oblasti klimatu, legislativy a ekonomiky. Tato kniha se zaměřuje na komplexní přehled a analýzu současného stavu bonitačního systému, přičemž se věnuje nejen historickým aspektům, ale zejména aktuálním poznatkům a perspektivám do budoucnosti.

První část monografie se věnuje samotné podstatě bonitace půd, od jejího historického vývoje až po současné výzvy, mezi které patří například potřeba adaptace systému na vývoj klimatu, či reforma klasifikace půd v rámci nových ekologických a legislativních podmínek. Další část se soustředí na klimaticky podmíněné atributy, které mají zásadní vliv na schopnost půdy zadržovat vodu, její teplotní režim a obecně její výkonnost ve vztahu k zemědělské produkci. Dále popisuje též pedologické a stanovištní faktory, které ovlivňují vlastnosti půd a jejich potenciál pro pěstování jednotlivých plodin. Řešena je i ekonomická dimenze bonitace půd, a to, zejména v souvislosti s vývojem cen a oceňováním nových kódů Bonitovaných půdně ekologických jednotek.

Popsány jsou i širší souvislosti a rozmanité funkce půdy, které přesahují její čistou produkční roli a zahrnují i mimoprodukční hodnoty, jako je ochrana biodiverzity, zadržování uhlíku a regulace vodního režimu krajiny. Publikace usiluje o komplexní zhodnocení současného systému bonitace půd a přináší podněty pro jeho další vývoj v kontextu měnícího se prostředí a potřeby udržitelného hospodaření s přírodními zdroji.

1 BONITACE PŮD V SOUVISLOSTECH

Bonitace půd představuje systematický proces hodnocení kvality půd s cílem poskytnout ucelený pohled na jejich vlastnosti a potenciál pro různé formy využití. V České republice je bonitace půd klíčovým nástrojem pro stanovení úřední ceny půdy, správu půdního fondu i plánování územního rozvoje. Tento proces zahrnuje sběr a analýzu poměrně širokého spektra dat z oblasti klimatologie, pedologie i geografie.

1.1 Bonitace půd pohledem autorského kolektivu

Výzkumná skupina autorského kolektivu se problematikou bonitace půdy zabývá již mnoho let. Důkazem může být její rozsáhlá projektová¹ i publikační činnost, která zahrnuje nejen vědecké publikace s mezinárodním přesahem, ale i praktické návody a postupy. Tím ovšem tato činnost zdaleka nekončí. Autoři se snaží přicházet i s konstruktivními koncepčními a strategickými přístupy s přímým přesahem až do legislativní roviny zejména na úrovni České republiky. Tato monografie přináší ucelený přehled zásadních poznatků o bonitaci půdy dosažených v posledních dvou dekádách.

1.2 Historický exkurz

Historicky byla bonitace půd zavedena v Českých zemích již v 19. století, avšak moderní metody a standardy byly implementovány až v době po druhé světové válce. Důležitou součástí tohoto procesu je vytvoření bonitačního systému, který umožňuje přehledné a srovnatelné vyhodnocení půdních vlastností a jejich klasifikaci podle určitých kritérií.

Bonitace půd je určitou nadstavbou Komplexního průzkumu půd (KPP), který byl v 60. letech 20. století prováděn na území tehdejší Československé socialistické republiky (ČSSR). Tento průzkum byl prováděn s cílem získat komplexní povědomí o půdním fondu, což bylo klíčové pro tehdejší centralizované plánování zemědělské produkce. Jednalo se o systematický proces, který zahrnoval detailní sběr dat o půdních vlastnostech a charakteristikách na celém území republiky, přičemž jeho přesnost a úplnost byly ovlivněny tehdejšími technologiemi a metodologiemi. Tento průzkum nicméně poskytl a do současnosti poskytuje alespoň základní povědomí o půdním fondu, které sloužilo

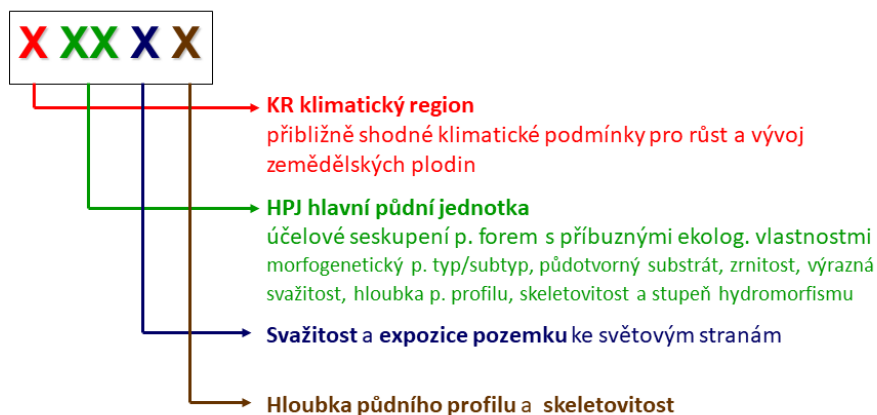
1 QH92030 Hodnocení půd z hlediska jejich produkčních a mimoprodukčních funkcí s dopady na plošnou a kvalitativní ochranu půd České republiky. Poskytovatel: MZe; Příjemce: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Řešitel: Ing. Jan Vopravil, Ph.D., 2009–2011
 QJ1230056 Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce. Poskytovatel: MZe; Příjemce: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Řešitel: Ing. Jan Vopravil, Ph.D., 2012–2016
 QK1920280 Inovace bonitačního systému zemědělských půd (BPEJ) pro potřeby státní správy. Poskytovatel: MZe; Příjemce: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Řešitel: Ing. Jan Vopravil, Ph.D., 2019–2021
 QK22020130 Implementace inovací BPEJ do systému státní správy, Poskytovatel: MZe; Příjemce: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Řešitel: Ing. Jan Vopravil, Ph.D., 2022–2024

jako důležitý vstupní bod pro rozhodovací procesy v oblasti zemědělství, a nyní nachází i širší uplatnění v oblasti ochrany životního prostředí a územního plánování.

Na základě nashromážděných dat v kombinaci s informacemi o základních agroklimatických podmínkách a stanovištních charakteristikách byl sestaven systém bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Každá z nich je charakterizována unikátním pětimístným kódem (Obr. 1) souhrnně interpretujícím vstupní data a umožňujícím i ekonomické vyjádření prostřednictvím hrubého rentního efektu. Jedná se o odhadovanou hodnotu, kterou by mohly zemědělské podniky dosáhnout při využití půdy v rámci dané BPEJ a počítá se na základě potenciálního výnosu zemědělských plodin, které jsou charakteristické pro danou půdně ekologickou jednotku, a aktuálních cen.

BPEJ tvoří specifické územní celky, které mají v důsledku působení řady složek přírodního prostředí vzájemně odlišné stanovištní vlastnosti a vyjadřují rozdílné produkční a ekonomické efekty určitých částí zemědělského území. Jinými slovy, BPEJ vyjadřuje potenciální efektivnost zemědělské výroby v rozdílných přírodních podmínkách a respektuje základní faktory, jakými jsou klima, půdní typy, svažitost, skeletovitost, hloubka ornice konkrétního pozemku a z nich plynoucí rozdíly v úrodnosti půdy. BPEJ tak vyjadřuje hlavní půdní a klimatické podmínky, které mají vliv na produkční schopnost zemědělské půdy a její ekonomické ohodnocení.

Vymezení BPEJ (Mašát a kol., 1974, 2002) bylo provedeno v letech 1973 až 1980 na základě KPP. Jako podklad pro klimatickou rajonizaci v rámci systému BPEJ byla použita data za období 1901–1950. Za základní kritéria pro vymezení KR, která by měla reprezentovat shodné klimatické podmínky pro růst a vývoj zemědělských plodin, byly s ohledem na tehdejší stupeň poznání a grafické i statistické možnosti interpretace zvoleny následující ukazatele: Suma průměrných denních teplot vzduchu rovných nebo vyšších 10 °C (TS 10); Průměrné roční teploty vzduchu a průměrné teploty vzduchu ve vegetačním období (VO); Průměrný roční úhrn srážek; Vláhová jistota ve VO; Pravděpodobnost výskytu suchých VO v %. Výsledkem bylo vytvoření mapy v měřítku 1 : 200 000, kde bylo identifikováno a v mapě zobrazeno deset KR.



Obr. 1 Charakteristika kódu BPEJ

Za KR následuje tzv. hlavní půdní jednotka (HPJ), která vychází z půdní klasifikace a popisuje základní charakteristiky půdy, které ovlivňují její produkční schopnost a vhodnost pro zemědělské využití. Jednotlivé HPJ se obecně vymezují podle: Typu půdy (např. černozem, hnědozem, podzol apod.), Subtypu půdy (specifičtější variace půdního typu, např. fluvizem glejová), Hlubokosti a mocnosti půdního profilu, Zrnatostního složení (např. hlinitá, jílovitá, písčitá) a Vodního režimu půdy (např. půdy odvodněné, s přirozeným nasycením vodou). HPJ je tedy klasifikací, která umožňuje zařadit konkrétní půdy do skupin podle jejich fyzikálních, chemických a biologických vlastností, které přímo ovlivňují jejich zemědělskou hodnotu. Tato základní klimatická a půdní specifikace půdy je v kódu BPEJ doplněna ještě o rámcovou informaci o topografii pozemku – jeho sklonitosti a expozici a o skeletovitosti a hloubce půdního profilu.

Bonitační klasifikace byla zpracována pro zemědělskou půdu jako celek, bez ohledu na využití pozemků (zemědělskou kulturu). Vyjadřuje proto základní agroekologické faktory, potřebné pro hodnocení jak orné půdy a trvalých travních porostů, tak i ostatních speciálních druhů pozemků (chmelnice, vinice, ovocné sady a zahrady). Zdobysévohvzniku, která byla poznamenána velkovýrobním charakterem hospodaření zemědělských podniků, si však přinesla řadu problémů. Nesporným nedostatkem v přesnosti a spolehlivosti bonitační klasifikace, zejména u pozemků menší výměry, je skutečnost, že jednotlivé etapy vymezování a mapování BPEJ byly řešeny v době rozvoje zemědělské velkovýroby a pro tento účel byly prováděcí metodikou stanoveny i výstupy a účelové interpretace. BPEJ byly vymezovány v období vytváření velkých půdních celků, nadměrného využívání těžké mechanizace, kdy se zvyšovala půdní eroze, v období mnohdy neuvážené chemizace apod. Tyto jevy působily negativně na kvalitu zemědělské půdy a měly výrazný vliv i na kvalitu vymezení BPEJ.

V prvopočátku sloužila bonitační klasifikace především jako nástroj racionálního využívání zemědělského půdního fondu, odrůdovou rajonizaci, optimální rozmístění výroby rostlinné produkce, agronomická opatření apod. Po vyjádření produkční a ekonomické schopnosti konkrétních zemědělských půd byla bonitace podkladem pro plánování a řízení zemědělské velkovýroby. Od roku 1988 se výsledky bonitace zemědělských půd staly podkladem pro stanovení daně z pozemků a byly podkladem pro vytvoření jednotlivých produkčně ekonomických skupin.

Aktuálně platným metodologickým nástrojem pro praktické vymezování BPEJ je metodický postup **Bonitace zemědělského půdního fondu ČR, Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek** (páté přepracované a doplněné vydání) doporučený k používání Státním pozemkovým úřadem, autorů **Vopravil a kol. (2021)** – „Metodika BPEJ 2021“. Obecně je metodika vymezování BPEJ průběžně aktualizována v souladu se současným stavem poznání. Existuje tedy reálný předpoklad, že poznatky shrnuté v této monografii budou postupně integrovány do metodické roviny, potažmo do příslušné roviny legislativní (zejména **Vyhlášky č. 227/2018 Sb., o charakteristice bonitovaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich vedení a aktualizaci**).

1.3 Současné výzvy a budoucí perspektivy bonitačního systému

1.3.1 Globální změna (nejen klimatu)

Globální změna je vysoce komplexní mnohohrstevnatý fenomén a pojem. Zjednodušeně řečeno se jedná o proces, který zahrnuje dlouhodobé změny v klimatických podmínkách, životním prostředí a ekosystémech planety Země, které jsou z podstatné části způsobeny lidskou činností, zejména emisemi skleníkových plynů. Zcela nevyhnutelně mají tyto změny značný dopad na produkční potenciál půd, což se projevuje v celé řadě vzájemně provázaných efektů. Nejmarkantnější je pochopitelně prokazatelné zvýšení teplot, které má různé důsledky pro půdní procesy a růst rostlin. Může to vést k rychlejšímu vypařování vláhy prostřednictvím rostlin (transpiraci), zvýšenému výparu z půdy a zvýšenému výskytu sucha. S tím souvisí i změny v rozložení srážek a celkově zvýšená frekvence výskytu extrémních meteorologických jevů, což v konečném důsledku ovlivňuje dostupnost vody pro rostliny i zemědělskou produkci. Mění se i délka vegetačního období s přímou vazbou na růst a vývoj zemědělských plodin a tím i na jejich výnosy a kvalitu. Sekundárním efektem je reakce patogenů na měnící se podmínky, což může, a často i reálně způsobuje, negativní dopady na zemědělskou produkci.

V důsledku těchto změn se mění celkový produkční potenciál půd, což klade nové výzvy před zemědělství a vyžaduje adaptivní opatření, jako je změna plodinové a odrůdové rozmanitosti, zavádění vodohospodářských opatření, zlepšení půdního managementu a podpora relevantního výzkumu a inovací v oblasti zemědělství. A jelikož zásadním nástrojem pro vyjádření produkčního potenciálu zemědělských půd do dnešních dnů zůstává bonitace půdy, je zřejmé, že vyvstává celospolečenská a mezioborová potřeba inovace celého systému.

1.3.2 Facelift systému BPEJ v kostce

Inovace spočívající v aktualizaci podkladů pro vymezení KR (současně používané vycházejí z klimatických dat z období 1901 až 1950) a půd (v BPEJ není vůbec uvažována antropogenní půda, koluvizemě atd.) mohou aplikační dopady systému, a tím i platnou legislativu, ovlivnit. Zásadním úkolem je tedy najít optimální způsob, jak realizovat, potažmo etapovat zavádění změn a předcházet tak aplikačním komplikacím při praktické implementaci.

Aktualizace klimatické regionalizace (podrobněji kap. 2): V současné době, tj. cca po 70 letech od skončení referenčního období použitého pro vymezení KR (1901–1950), vyvstává potřeba aktualizace stávající metodiky jejich vymezování. Argumenty zdůvodňující nutnost zmíněné aktualizace jsou následující:

- Technický pokrok – dokonalejší měřicí technika, automatizace měření.
- Rozvoj klimatických modelů – možnost simulace komplexních charakteristik, odhad vývoje klimatu do budoucna.
- Změna klimatických charakteristik od roku 1901 v důsledku vývoje klimatu.

Na základě výše uvedeného byla provedena analýza posunu hodnot klíčových klimatických charakteristik použitých pro vymezování KR v metodice Mašát a kol. (1974, 2002) - konkrétně TS10, průměrná roční teplota vzduchu (T_{AVG}) a průměrný roční srážkový úhrn (SRA_p), a to srovnáním jejich hodnot za původní období 1901–1950 a aktuální normálové období 1991–2020.

Tab. I Diference hranic intervalů charakteristik definujících KR pro dvě referenční období (1901–1950 a 1991–2020)

KR	charakteristika	TS10		T _{AVG}		SRA _r	
		min	max	min	max	min	max
0	velmi teplý, suchý	150	300	0	1	-35	5
1	teplý, suchý	50	450	1	2	N/A	150
2	teplý, mírně suchý	-150	650	0	2	-45	200
3	teplý, mírně vlhký	100	550	1	2	-70	105
4	mírně teplý, suchý	-50	600	1	2	-5	145
5	mírně teplý, mírně vlhký	0	700	0	2	-75	225
6	mírně teplý (až teplý), vlhký	-150	450	0	2	-80	80
7	mírně teplý, vlhký	-200	600	1	3	-135	365
8	mírně chladný, vlhký	-150	650	1	3	-175	425
9	chladný, vlhký	N/A	650	N/A	N/A	-125	N/A

Pozn: Hodnoty pro období 1901–1950 jsou odečteny od hodnot pro období 1991–2020; absolutní hodnoty obsahuje Tab. II, N/A – není definováno

Srovnání rozpětí intervalů jednotlivých klimatických charakteristik použitých pro vymezení KR pro období 1901–1950 a 1991–2020 ukazuje rozšíření intervalů TS10 a průměrné roční teploty vzduchu u většiny KR. Výrazný je zejména posun horní hranice intervalů do vyšších hodnot. Posun hranic ročního srážkového úhrnu (resp. nárůst srážek) je patrný zejména u vlhkých KR 7, 8 a 9. Srovnání hranic intervalů charakteristik definujících KR pro dvě referenční období přináší Tab. I.

Aktualizace hlavních půdních jednotek (podrobněji kap. 3): V reakci na rostoucí výskyt antropogenních půd, které bonitěři často identifikují při aktualizacích BPEJ, byly navrženy nové skupiny půd – **koluvizemě a antropozemě**. Tyto půdy byly dříve přiřazovány k jiným kategoriím, což neodpovídalo jejich skutečným vlastnostem a genezi. Koluvizemě vznikají akumulací erozních sedimentů a dosud byly součástí nivních půd (fluvizemí), pro praxi se však jevílo výhodné doplnit BPEJ o kódy specifické pro koluvizemě. Antropozemě, které vznikají rekultivací půd, byly nově klasifikovány podle půdního profilu a parametrů, jako je zrnitostní ráz a mocnost humózní vrstvy, což umožňuje jejich efektivní identifikaci i bez složitých analýz.

Tyto argumenty vedly v roce 2024 k novelizaci Vyhlášky č. 227/2018 Sb., kde byl seznam HPJ rozšířen o skupiny půd koluvizemí (HPJ 79–81) a antropozemí (HPJ 82–89).

Aktualizace ekonomického vyjádření (podrobněji kap. 4): Výše zmíněné aktualizace systému BPEJ vyvolávají potřebu aktualizace jejich ekonomického vyjádření. Je tedy nutno analyzovat dopady navržených inovací na úřední cenu zemědělského půdního fondu a na související legislativu. S využitím ekonometrických technik panelových dat a nejnovějších přístupů v rámci analýzy produktivity a efektivnosti byl také navržen model pro odhad stínových cen mimoprodukční funkce v podobě retenční schopnosti půd.

1.3.3 Oceňování neocenitelného

Systém BPEJ v sobě kóduje mnohé informace o zemědělské půdě. Obsahuje charakteristiku klimatu, půdy i popis stanovištních podmínek, vše v provázání s produkční schopností půdy. A právě vyjádření této produkční dimenze půdy bylo primárním úkolem

a důvodem vzniku celého systému. V reakci na aktuální celospolečenskou potřebu však vyvstává urgentní potřeba hodnocení i mimoprodukčních aspektů zemědělské půdy, což představuje pro BPEJ zásadní výzvu.

Tento posun ve vnímání hodnoty půdy znamená, že součástí budoucího rozvoje systému BPEJ bude nejen zachování a posílení jeho produkční dimenze, ale i integrace mimoprodukčních funkcí, jako je ochrana biodiverzity, zadržování vody, uhlíková sekvestrace a krajinná ekologie. V této souvislosti se otevírá prostor pro širší využití BPEJ v rámci krajinného plánování, kde je kladen důraz na ochranu a správu přírodních hodnot krajiny. Ochrana toho, co je v krajině nejcennější, tedy vyžaduje citlivý přístup, který si neklade za cíl pouze maximalizaci produktivity, ale i udržitelnost a ekologickou stabilitu. Ačkoliv produktivita půdy zůstává klíčovým faktorem, nejcennějšími se nemusí vždy ukázat ty nejproduktivnější půdy, ale právě ty, které vykazují silný potenciál pro mimoprodukční funkce, zajišťující dlouhodobou stabilitu krajiny a její biodiverzitu.

V tomto směru představuje budoucí rozvoj systému BPEJ výzvu, jak efektivně vyvážit produkční a mimoprodukční funkce půdy a jak využít tento nástroj k podpoře udržitelného a ekologicky odpovědného hospodaření s půdou.

1.3.4 Legislativní koncovka

Jak již bylo zmíněno, jsou BPEJ legislativně zakotveny formou Vyhlášky č. 227/2018 Sb., o charakteristice bonitovaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich vedení a aktualizaci. Prostřednictvím „Oceňovací vyhlášky“ č. 3/2008 Sb., o provedení některých ustanovení zákona č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, jsou BPEJ legislativním podkladem pro stanovení daňových sazeb a úřední ceny půdy a odvíjí se od nich i výše odvodů za odnímání půdy ze zemědělského půdního fondu (ZPF). BPEJ jsou také jedním z východisek pro vymezování oblastí méně příznivých pro zemědělství (Less-Favoured Areas – LFA), respektive v současnosti oblasti s přírodními omezeními (Areas with natural constraints – ANC).

V rámci procesu komplexních pozemkových úprav (KoPÚ) jsou informace o BPEJ podkladem pro návrh nových pozemků. Slouží také pro stanovení erozního ohrožení půdy. BPEJ, resp. z nich odvozené třídy ochrany, jsou též jedním z limitů při zpracování územního plánu, konkrétně při vymezování zastavitelných ploch.

S bonitací půdy pracuje řada zákonů. Mezi hlavní právní předpisy vztahující se k bonitaci půdy patří: zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úradech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 229/1991 Sb., o úpravách vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 95/1999 Sb., o podmínkách převodu zemědělských a lesních pozemků z vlastnictví státu na jiné osoby, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 338/1992 Sb., o dani z nemovitosti, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 111/2009 Sb., o základních registrech, ve znění pozdějších předpisů a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů.

BPEJ se dále věnují i nařízení a vyhlášky: Vyhláška č. 327/1998 Sb., kterou se stanovuje charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. Dále Vyhláška č. 13/1994 Sb., která upravuje detaily vztahující se k ochraně zemědělského půdního fondu. Vyhláška č. 48/2011 Sb., která se zabývá stanovením tříd ochrany zemědělského půdního fondu. Vyhláška č. 412/2008 Sb., o stanovení seznamu katastrálních území s přiřazenými průměrnými základními cenami zemědělských pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška č. 500/2006 Sb., o územně analytických podkladech, územně plánovací dokumentaci a způsobu evidence územně plánovací činnosti. Vyhláška č. 122/2007 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav ve znění Vyhlášky č. 545/2002 Sb. Vyhláška č. 162/2001 Sb., o poskytování údajů z katastru nemovitostí České republiky, ve znění pozdějších předpisů. Nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření ve znění pozdějších předpisů. Nařízení vlády č. 241/2004 Sb., o podmínkách provádění pomoci méně příznivým oblastem a oblastem s ekologickými omezeními ve znění pozdějších předpisů. Nařízení vlády č. 75/2007 Sb., o podmínkách poskytování plateb za přírodní znevýhodnění v horských oblastech, oblastech s jinými znevýhodněními a v oblastech Natura 2000 na zemědělské půdě ve znění pozdějších předpisů. Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech ve znění pozdějších předpisů. Nařízení vlády č. 479/2009 Sb., o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých podpor.

2 KLIMATICKY PODMÍNĚNÉ ATRIBUTY BONITACE PŮD



Obr. 2 Agrometeorologická stanice na polní pokusné stanici v Žabčicích (zdroj: fotoarchiv Mendelovy univerzity v Brně²)

Produkční potenciál půdy a její bonita jsou zásadně ovlivňovány klimatickými podmínkami. Klima ovlivňuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy komplexním způsobem. Teplotní poměry včetně sezónních změn ovlivňují procesy rozkladu organické hmoty, rychlost mineralizace živin a aktivitu mikroorganismů v půdě. Množství srážek a jejich distribuce ovlivňuje vlhkost půdy a tím i případnou potřebu odvodnění nebo naopak závlahy. Vlhkost a teplota vzduchu určují intenzitu evapotranspirace a jsou spoluurčujícími faktory pro rozvoj některých rostlinných patogenů. Extrémní povětrnostní události, jako je dlouhodobé sucho, přívalové deště nebo vlny horka, mají výrazný negativní dopad na půdní bonitu. Tyto události mohou způsobit degradaci půdy, ztrátu úrodnosti a změny v půdních vlastnostech.

² https://foto.mendelu.cz/photo/#!Albums/album_4146/album_41462f67616c65726965/album_41462f67616c657269652f32303231/album_41462f67616c657269652f323032312f323032315f30365f31355f706f6c6e695f64656e5f6d656e64656c6167726f5f7a616263696365

2.1 Klimatické regiony a jejich aktualizace: souhrn poznatků

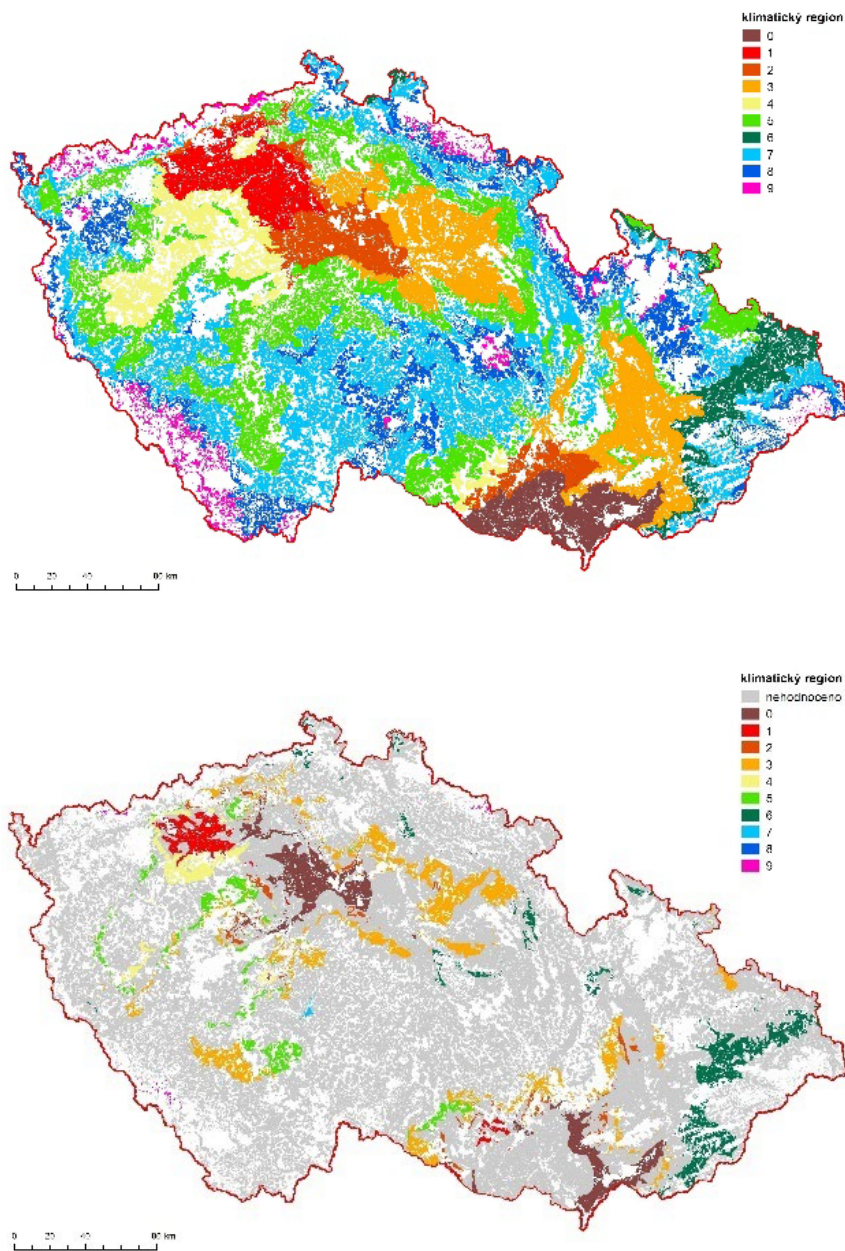
Naše dosavadní poznatky o klimatické rajonizaci v rámci systému BPEJ uvádí Chuchma a kol. (2017) a Středová a kol. (2021), a lze je v kostce shrnout následovně. Jelikož KR definované ve Vyhlášce č. 227/2018 jsou určeny dle klimatických dat 1901–1950 („původní KR“), vyvstává urgentní potřeba jejich aktualizace (změna klimatických podmínek, dokonalejší měřicí technika, automatizace měření, rozvoj klimatických modelů). Reálný důkaz o irelevantnosti stávajících KR přináší Tab. II, která srovnává rozpětí intervalů jednotlivých klimatických charakteristik použitých pro vymezení KR pro období 1901–1950 a 1991–2020, jež ukazuje rozšíření intervalů TS10 a T_{AVG} u většiny KR. Výrazný je zejména posun horní hranice intervalů do vyšších hodnot. Posun hranic SRA_r (resp. nárůst srážek) je patrný zejména u vlhkých KR 7, 8 a 9. Pravá část tabulky ukazuje, jaké klimatické podmínky jsou v současnosti relevantní pro KR, jimž stávající Vyhláška č. 227/2018 přiřazuje hodnoty uvedené v levé části.

Tab. II Srovnání rozpětí hodnot klimatických charakteristik definujících KR pro původní období 1901–1950 (vlevo) a soudobé období 1991–2020 (vpravo)

KR	TS10		T_{AVG}		SRA_r		TS10		T_{AVG}		SRA_r	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
0	2 800	3 100	9,0	10,0	500	600	2 950	3 400	9,0	10,5	465	605
1	2 600	2 800	8,0	9,0	N/A	500	2 650	3 250	8,5	10,5	450	650
2	2 600	2 800	8,0	9,0	500	600	2 450	3 450	8,0	11,0	455	800
3	2 500	2 800	7,0	9,0	550	650	2 600	3 350	8,0	10,5	480	755
4	2 400	2 600	7,0	8,5	450	550	2 350	3 200	7,5	10,0	445	695
5	2 200	2 500	7,0	8,0	550	650	2 200	3 200	7,0	10,0	475	875
6	2 500	2 700	7,5	8,5	700	900	2 350	3 150	7,5	10,0	620	980
7	2 200	2 400	6,0	7,0	650	750	2 000	3 000	6,5	9,5	515	1 115
8	2 000	2 200	5,0	6,0	700	800	1 850	2 850	6,0	9,0	525	1 225
9	N/A	2 000	N/A	5,0	800	N/A	1 050	2 650	3,5	8,5	675	1 410

Při aktualizaci KR byl logicky nejprve navržen prostý přepočítání KR dle současných klimatických dat. Z důvodu rostoucí teploty vzduchu a prakticky neměnných srážkových úhrnů byla ale vyloučena reálná aplikovatelnost tohoto postupu (viz Obr. 3). Dle stávající metodiky lze např. v období 1961–2010 jednoznačně klasifikovat pouze asi 17 % území, neboť intervaly dílčích charakteristik definujících daný KR se nepřekrývají.

Z důvodů podrobně popsanych ve Středová a kol. (2021) bylo přistoupeno k novému metodickému přístupu k vymezování KR („nové KR“). Návrh vychází z hodnot **potenciální vláhové bilance ve vegetačním období (PVB_{vo})**. Jako doplňující charakteristiky, které jsou dopočítány na základě jejich ploch, je vhodné v návaznosti na původní systém použít T_{AVG} , TS10 a SRA_r . Z pohledu přezimování zemědělských plodin jsou určující i zimní podmínky. Do hodnocení je proto zahrnut i **průměr vypočtený z ročních absolutních minim teploty vzduchu ($T_{min_{abs}}$)** - Tab. III.



Obr. 3 Aplikace metodiky vymezení KR pro původní období 1901–1950 (vlevo) a 1961–2010 (vpravo)

Tab. III Charakteristika nových KR dle Středová a kol., 2021 (data 1991–2020)

KR	PVB _{vo}		TS10		T _{AVG}		SRA _r		T _{min,abs}	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
0		-250	2 800	3 450	9,0	11,0	455	575	-15,5	-12,5
1	-250	-200	2 650	3 350	8,0	10,5	475	605	-16,5	-13,5
2	-200	-150	2 450	3 300	8,0	10,5	450	655	-17,0	-14,0
3	-150	-100	2 250	3 200	7,5	10,0	445	730	-17,5	-14,5
4	-100	-50	1 950	3 150	6,5	10,0	470	810	-19,0	-14,5
5	-50	0	1 900	3 150	6,0	10,0	505	925	-19,5	-15,0
6	0	50	1 700	3 100	5,5	9,5	580	1 020	-19,5	-15,0
7	50	100	1 500	3 050	5,0	9,5	605	1 040	-20,5	-15,5
8	100	150	1 550	3 000	5,0	9,5	675	1 120	-21,0	-15,5
9	150		1 050	2 900	3,5	9,0	740	1 410	-21,5	-15,5

Návrh vymezení nových KR tedy reagoval na posun klimatických parametrů. Využitím nejaktuálnějších klimatických dat i nových analytických metod plošné interpolace bylo definováno shodně 10 KR, jejich hranice však z velké části neodpovídají původním KR.

2.2 Metodika zpřesňování hranic nově navržených klimatických regionů

Pro reálnou implementaci do rozhodovacích procesů je nutné celorepublikovou regionalizaci nových KR lokálně zpřesnit tak, aby jejich hranice respektovaly logiku využití území s ohledem na uspořádání krajiny, provádění aktualizace BPEJ apod. Úkolem bylo též nalezení vhodné interpolační metody a zpracování případových studií, které pomohou odhalit případná reálná úskalí obecného metodického postupu v mikroměřítku konkrétního katastrálního území (k.ú.), zemědělského podniku, či dílu půdního bloku (DPB). Po rozsáhlé mezioborové konzultaci bylo přistoupeno k zpřesnění nových KR na úroveň jednotlivých k.ú. Metoda lokálního zpřesňování hranic tedy respektuje hranice jednotlivých k.ú. Konkrétní metodický návod je rozdělen do dvou hlavních kroků:

Krok. č. 1: Určení nových KR dle převládajícího plošného zastoupení v k.ú.

k.ú. spadá do:

Jednoho KR

k.ú. je přiřazen daný KR

Dvou KR

k.ú. je přiřazen KR dle jeho majoritního plošného zastoupení, pokud:

- více než 60 % území pokrývá **jeden** KR.

Tří KR

k.ú. je přiřazen KR dle jeho majoritního plošného zastoupení, pokud:

- více než 60 % území pokrývá **jeden** KR,
- plochy **dvou** plošně nejméně zastoupených KR zabírají v součtu méně než 50 % daného k.ú., a zároveň ani jeden z těchto dvou KR nezabírá více než 40 % plochy k.ú.

Čtyř KR

k.ú. je přiřazen KR dle jeho majoritního plošného zastoupení, pokud:

- více než 60 % území pokrývá **jeden** KR, k.ú. je přiřazeno do daného KR,
- plochy **tří** plošně nejmenších KR zabírají v součtu méně než 50 % daného k.ú. a zároveň **ani jeden** z těchto **tří** nezabírá více než 40 % plochy k.ú.

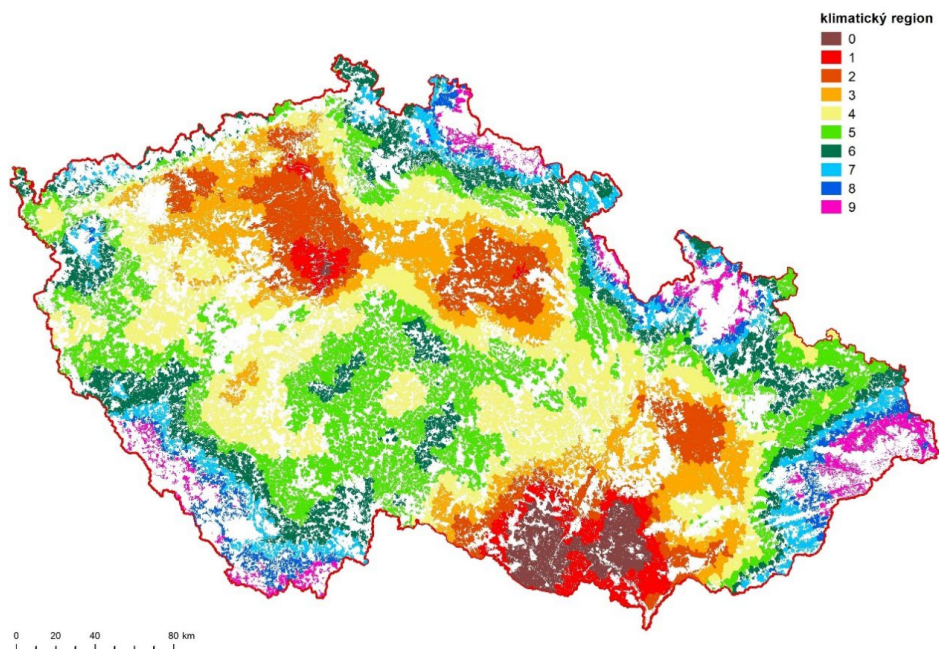
Krok č. 2: Určení nových KR pro k.ú., která není možná zařadit dle kroku č. 1

Pro tyto k.ú. (konkrétní počet: 788) byla porovnávána průměrná hodnota klimatických charakteristik, přesněji PVB_{VO} , T_{AVG} , SRA_r se střední hodnotou intervalu dle tabulky klimatických charakteristik nových KR. Postup probíhal následovně:

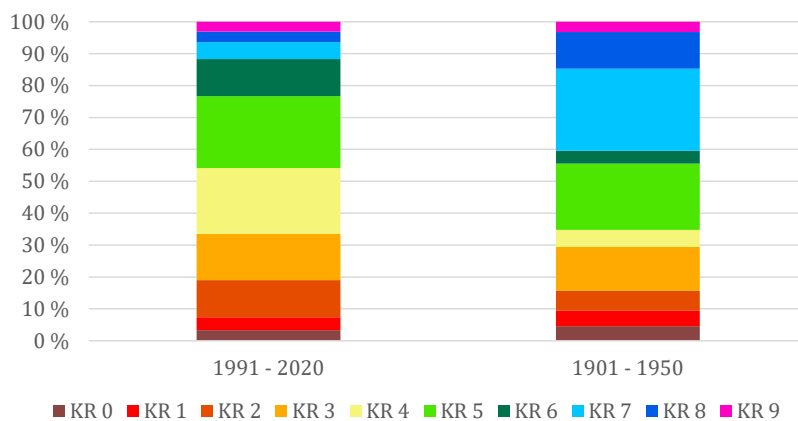
1. pro k.ú. byly vzaty v potaz pouze KR, které se svou plochou nacházely na území daného k.ú. a porovnání proběhlo jen pro tyto KR;
2. pro tyto KR byl určen rozdíl střední hodnoty intervalu klimatické charakteristiky a průměrné hodnoty klimatické charakteristiky spočítané pro k.ú. Počítána byla PVB_{VO} , T_{AVG} , SRA_r ($TS10$ a T_{min_abs} do zpracování nebyly použity);
3. ke k.ú. byly přiřazeny 3 hodnoty KR (0 až 9) za každou ze 3 zjišťovaných klimatických charakteristik dle nejmenšího zjištěného rozdílu;
4. výsledný KR pro k.ú. byl spočítán jako vážený průměr z 3 hodnot KR, kdy váhy jednotlivých klimatických charakteristik byly nastaveny následně:
 $KR \text{ pro vláhovou bilanci} \times 0,4 + KR \text{ pro průměrnou teplotu} \times 0,3 + KR \text{ pro úhrn srážek} \times 0,3 = \text{výsledný KR}$

Mapa nových KR regionalizovaných dle výše popsaného metodického postupu na úroveň k.ú. je uvedena na Obr. 4. V potaz je potřeba brát i fakt, že připravovaná regionalizace by měla sloužit i v budoucnu, a proto je vhodné brát v úvahu i trendy vývoje primární teplotních a vláhových charakteristik a toto uplatnit při přiřazování nových KR. Ve výsledku je tedy možné v rozhodovacím procesu upřednostnit teplejší KR s ohledem na pozorovaný trend vývoje teplot a predikovanou klimatickou změnu.

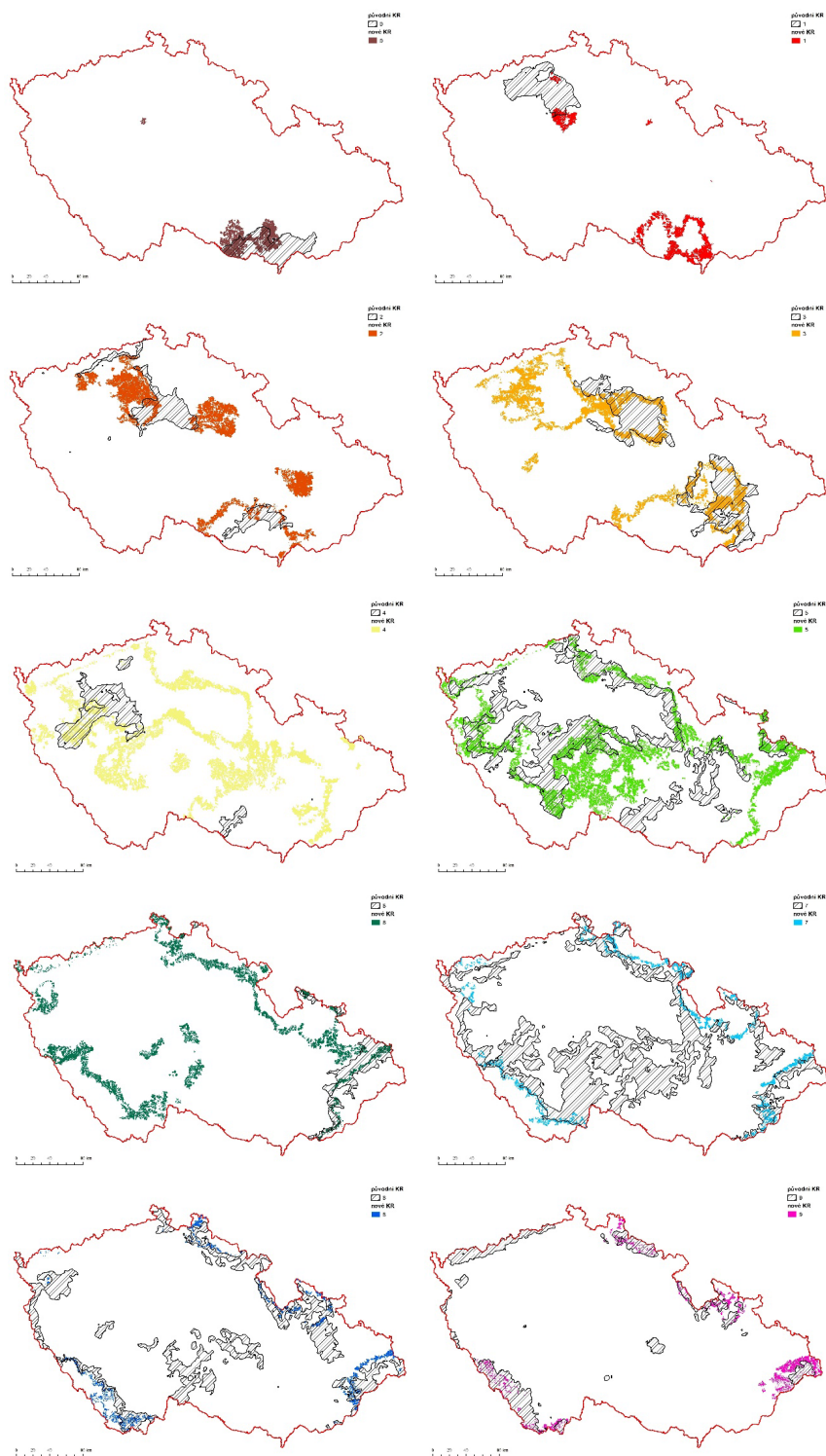
Srovnání plošného zastoupení původních a nových KR přináší Obr. 5, z něhož je patrný přesun ploch z původně nejpočetnějšího KR 7 ve prospěch nového KR 4. Obr. 6 ukazuje srovnání lokací původních KR a nových KR v členění od KR 0 do KR 9.



Obr. 4 Mapa nových KR regionalizovaných na úroveň k.ú.



Obr. 5 Plošné srovnání nových KR (levý sloupec) a původních KR (pravý sloupec) v rámci území ČR



Obr. 6 Plošné srovnání jednotlivých nových KR a původních KR v rámci území ČR

2.3 Potenciální evapotranspirace jako základ nové klimatické regionalizace v detailu

Vstupní data pro výpočet PVBVO a výsledné mapy tvořil soubor vypočítaných denních hodnot potenciální evapotranspirace (pE) za období 1991–2020. Tato data byla spočítána agrometeorologickým modelem AVISO (Kohut *et al.*, 2009) ze vstupních technických řad meteorologických prvků bodů pravidelné gridové sítě 10×10 km (celkem 789 bodů v rámci ČR). Technické řady představují plně homogenizovanou databázi denních hodnot klimatických prvků (průměrná, maximální a minimální teplota vzduchu, úhrn srážek, vlhkost vzduchu, a dalších) od roku 1961 na celém území ČR. Vycházejí ze staniční sítě ČHMÚ a byly vytvořeny v gridových bodech výstupů regionálního klimatického modelu ALADIN-Climate/CZ. Samotný výpočet technických řad meteorologických prvků vychází z interpolační metody IDW (interpolační metoda vážené inverzní vzdálenosti), kdy použité údaje okolních klimatologických stanic jsou nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který se počítá nová technická řada (Štěpánek *et al.*, 2008).

Technické řady meteorologických prvků sloužily jako vstupní data pro výpočet **potenciální evapotranspirace travního porostu** pomocí agrometeorologického modelu AVISO a následně ke stanovení jednoduché (klimatické) vláhové bilance mezi srážkami a potenciální evapotranspirací. Vláhová bilance se uvádí v mm a představuje rozdíl mezi úhrnem srážek a potenciální evapotranspirací travního porostu. V podstatě se jedná o klimatickou bilanci, kdy se při výpočtu potenciální evapotranspirace neberou v úvahu vlhkostní podmínky podloží tvořené půdním horizontem. Vyjadřuje tedy vliv klimatických podmínek na bilanci (a taktéž na výpar) při současném potlačení všech ostatních činitelů, které jinak výpar ovlivňují (půdní vlhkost apod.). Vláhová bilance travního porostu uváděná v mm byla zpracována v denním intervalu v období 1991–2020. Denní úhrny potenciální evapotranspirace v mm vstupující do výpočtu potenciální (základní) vláhové bilance travního porostu byly určeny podle metodiky Penman-Monteith modifikované na podmínky území ČR. Potenciální evapotranspirace udává celkové množství vody v mm, které se může vypařit z půdy (evaporace z půdy) a vegetačního krytu (transpirace rostlin) při současném optimálním nasycení půdního horizontu vodou a za konkrétních klimatických podmínek. V praxi to znamená, že hodnoty potenciální evapotranspirace jsou ovlivněny chodem a variabilitou základních meteorologických prvků a vyjadřují tak potenciál atmosféry odebírat vlhkost z vegetace a půdního krytu, v nichž je voda maximálně dostupná. Nutno zdůraznit, že v přírodních podmínkách potenciální evapotranspirace převyšuje evapotranspiraci aktuální, a to hlavně v teplém půlroce, resp. ve vegetačním období, kdy je množství dostupné vody k vypařování v půdě a v rostlinách objektivně nižší.

V rámci zpracování dat byly pro každý gridový bod přiřazeny vypočtené průměrné hodnoty vláhové bilance za VO (duben až září) z let 1991–2020 a také dlouhodobé průměrné hodnoty dalších agroklimatických charakteristik vypočítaných v sw. ProClimDB. Tímto způsobem byl vytvořen výsledný soubor gridových bodů s databází hodnot analyzovaných agroklimatických charakteristik. Z tohoto souboru byla v softwaru ArcGIS (fm. ESRI) zpracována bodová vrstva. Hodnoty agroklimatických charakteristik pro jednotlivé body byly interpolovány do plochy ČR s využitím metody regresního krigingu se závislostí na několika parametrech jako je nadmořská výška, sklon a orientace svahů včetně korekcí odhadnuté hodnoty, pro zachování hodnoty

odpovídající lokalitě stanice. Interpolace byla provedena pomocí nástrojů obsažených v sw. ProClimDB. Výsledný rastrový model v prostorovém rozlišení 500×500 m byl následně zpracován v prostředí softwaru ArcGIS a bylo provedeno shlazení metodou nejbližších sousedů. Rastrová vrstva vláhové bilance byla následně pro účely vytvoření polygonové vrstvy převzorkována na prostorové rozlišení 100×100 m a reklasifikována do jednotlivých kategorií v kroku po 50 m v rozmezí <-250 mm až > 150 mm. Následně byla převedena na polygony jednotlivých KR do formátu shp. Z výsledné polygonové vrstvy byly vybrány pouze oblasti vymezené hranicemi současných BPEJ.

Poznatky a zjištění související s aktualizací klimatické regionalizace v rámci BPEJ jsou zpracovány formou certifikované metodiky Středová a kol. (2021). Jejich uplatnění v praxi je závislé na jejich reflexi v příslušné legislativě, zejména ve Vyhlášce č. 227/2018 Sb.

2.4 Příklad praktické aplikace nových KR

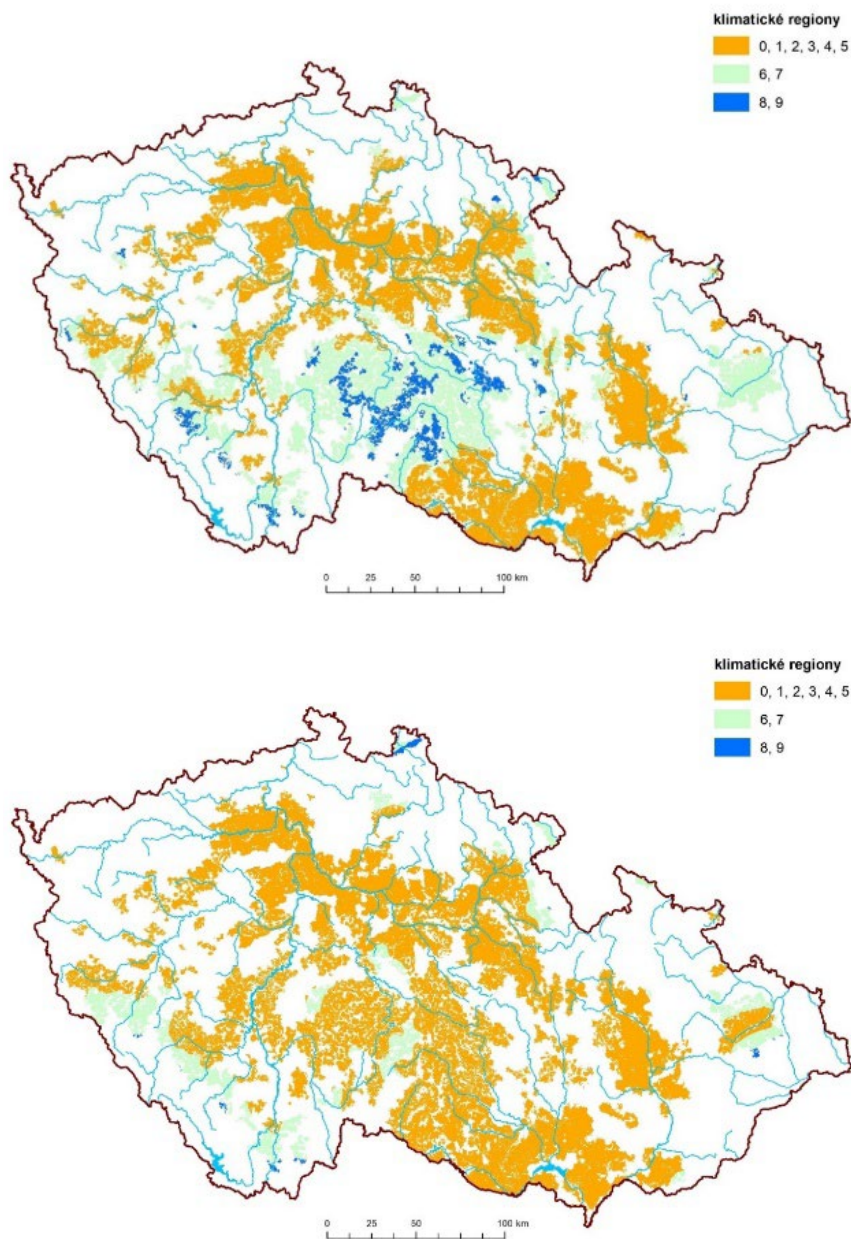
2.4.1 Případová studie „Nitrátová směrnice“

Regulativy aplikace dusíkatých hnojiv zaváděné v kontextu Nitrátové směrnice pro Českou republiku (Nařízení vlády č. 262/2012 Sb.) reflektují klimatickou regionalizaci území systému BPEJ (Vyhláška č. 227/2018 Sb.). Období, ve kterých je v tzv. zranitelných oblastech (ZOD) na orné půdě a trvalých travních porostech zakázáno používání dusíkatých hnojivových látek, jsou specifikována v Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. Konkrétní termíny zákazů vychází z KR, které jsou pro tyto účely seskupeny do 3 klastřů: KR 1-5, KR 6-7, KR 8-9 (pro původní KR na Obr. 6). Při aplikaci nových KR určených na základě dat 1991–2020 je pak prostorová dislokace KR klastřů pro účely Nitrátové směrnice uvedena na Obr. 7. Z porovnání na Obr. 8 je evidentní, že nová klimatická rajonizace postrádá zastoupení chladnějších a vlhčích regionů ve prospěch těch teplejších a sušších.

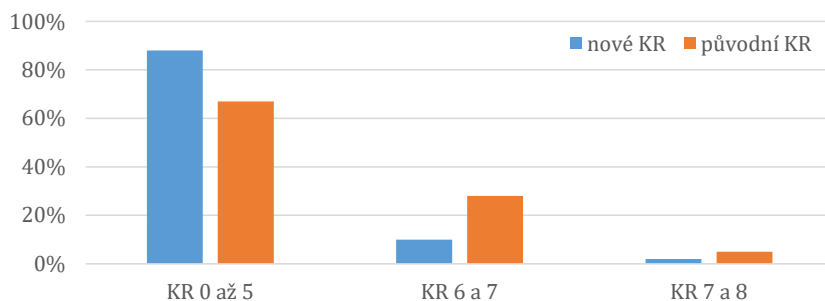
2.4.2 Případová studie: Faktor erozní účinnosti deště (Faktor R)

Podle provedených měření na jednotkových pozemcích (Wischmeier a Smith, 1978) je erozní účinnost deště určena zejména jeho kinetickou energií a intenzitou. Empirický vztah předpokládá, že jsou-li ostatní faktory konstantní, ztráta půdy je přímo úměrná součinu celkové kinetické energie deště a jeho maximální třicetiminutové intenzity. Pro vyjádření jeho průměrné dlouhodobé hodnoty je nutné určit roční sumu dílčích hodnot R-faktoru jednotlivých erozně nebezpečných srážkových epizod a takto získané roční hodnoty R-faktoru následně zprůměrovat do průměrné dlouhodobé roční hodnoty (výsledná jednotka: $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$).

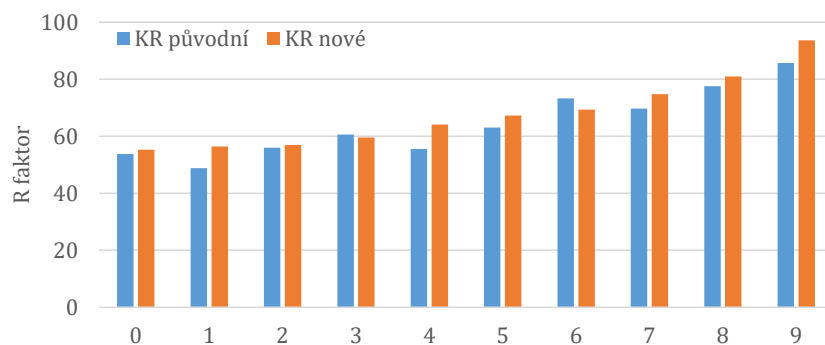
Ačkoli se od roku 2012 pro celou ČR doporučovalo použití jednotné hodnoty $R = 40$, s postupující precizací stanovení R-faktoru dochází nejen ke zpřesňování výsledků a jejich regionalizaci, ale patrný je i trend postupného nárůstu hodnot. Výsledná aktuální platná mapa regionalizovaného R-faktoru je k dispozici na portálu Protierozní kalkulačky (<https://kalkulacka.vumop.cz>) a detaily budoucí aktualizace budou zohledňovat závazky a přístupy ukotvené v Protierozní vyhlášce (Vyhláška č. 240/2021 Sb.). Průměrné hodnoty R-faktoru pro původní a nové KR přináší Obr. 9.



Obr. 7 Seskupení KR pro účely Nitrátové směrnice na základě původní klimatické rajonizace (vlevo) a nové klimatické rajonizace (vpravo)



Obr. 8 Srovnání plošného zastoupení původních a nových KR seskupených pro účely implementace Nitrátové směrnice



Obr. 9 Srovnání hodnot R faktoru pro původní a nové KR

3 PEDOLOGICKY A STANOVIŠTNĚ PODMÍNĚNÉ ATRIBUTY BONITACE PŮD



Obr. 10 Detail prokořeněného půdního profilu (zdroj: fotoarchiv autorů)

Bonita půdy, tedy její schopnost podporovat růst rostlin a další ekosystémové funkce, je zásadně determinována jejich pedologickými vlastnostmi, které určují fyzikální, chemické, potažmo i biologické vlastnosti půdního prostředí. Odráží se v nich geologické, geomorfologické, hydrologické a v důsledku i klimatické podmínky lokality. Zásadní vliv pochopitelně má geologický podklad, neboť charakter matečné horniny ovlivňuje chemické složení a pH půdy a spolu s charakterem reliéfu udává texturu a hloubku půdy a nepřímo i erozní procesy.

Na základě zkušeností pracovníků, kteří aktualizují BPEJ, a pedologů, kteří provádějí různá terénní měření a mapování, vypracovávají pedologické a soudně znalecké posudky a používají kódy BPEJ, byly do soustavy BPEJ doplňovány průběžně další kódy (např. pro výskyt některých půdních typů a subtypů na svahu nad 7°, kde se jejich výskyt neočekával), které se staly součástí dvou posledních vydání Metodik BPEJ (od roku 1974 jsou metodiky týkající se vymezení BPEJ průběžně aktualizovány – nejnovější z nich je Metodika BPEJ 2021 (Vopravil a kol., 2021)³). Doplněné kódy se týkají mapování

³ Vopravil J. *et al.* 2021. Bonitace zemědělského půdního fondu ČR: Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek. Páté přepracované a doplněné vydání. Certifikovaná metodika. Praha: VÚMOP, v.v.i. ISBN 987-80-88323-56-3 (print), 978-80-88323-57-0 (online pdf).

půd s přirozenou pedogenezí. V průběhu dalších let se na některých lokalitách mohou vyskytnout BPEJ, jejichž existenci sice systém BPEJ teoreticky umožňuje, ale které Metodika BPEJ 2021 neobsahuje. Probíhající rozsáhlý výzkum v rámci modernizace systému identifikoval nové kódy pro antropogenní půdy a půdy vzniklé procesem eroze. Dříve byly tyto půdy připodobňovány ke stávajícím BPEJ, přestože jejich geneze a některé půdní vlastnosti nesplňovaly rozpětí charakteristik příslušných HPJ. Do soustavy BPEJ vstupují dvě nové skupiny půd – skupina koluvizemí a skupina antropozemí. Příští aktualizace Metodiky BPEJ tedy již může do praxe tyto HPJ zavádět.

3.1 Nově vzniklé skupiny půd v rámci systému BPEJ

Dlouhodobý výzkum zabývající se studiem půdních podmínek a jejich změnami zejména vlivem eroze a rekultivace vyvrcholil v roce 2024 novelizací **Vyhlášky č. 227/2018 Sb.** Původní výčet HPJ nerefletoval půdy zásadně formované těmito fenomény a pokud byly takové půdy v rámci rebonitace v terénu zaznamenávány, byla jejich diagnostika limitována soudobou právní realitou. V reakci na tyto skutečnosti byl seznam HPJ rozšířen o skupiny půd koluvizemí (HPJ 79–81) a antropozemí (HPJ 82–89).

3.1.1 Koluvizemě

Jedná se o půdy vznikající akumulací erozních sedimentů ve spodních částech svahů, konkávních prvcích svahů a terénních průlezích a i přes některé odlišné půdní vlastnosti související se způsobem jejich vzniku je původní systém přiřazoval k HPJ skupiny nivních půd - fluvizemí. Po aktualizaci výčtu HPJ jsou tyto půdy definovány prostřednictvím následujících kódů HPJ:

- **HPJ 79:** Koluvizemě arenické, koluvizemě arenické karbonátové vzniklé uložením lehkých oderodovaných zemin o mocnosti > 0,5 m, lehké, bezskeletovité nebo s příměsí hrubého písku (grus), ojediněle slabě skeletovité, vláhové poměry málo příznivé, sklon k vysychavosti.
- **HPJ 80:** Koluvizemě modální, koluvizemě modální karbonátové, koluvizemě modální slabě oglejené vzniklé uložením lehčích středních a středně těžkých oderodovaných zemin o mocnosti > 0,5 m, lehčí středně těžké až středně těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, příznivý vodní režim.
- **HPJ 81:** Koluvizemě pelické, koluvizemě pelické karbonátové, koluvizemě oglejené vzniklé uložením těžkých oderodovaných zemin o mocnosti > 0,5 m, těžké až velmi těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, zhoršený vodní režim, možnost periodického převlhčování.

3.1.2 Antropozemě

Pro značnou heterogenitu postupů rekultivace (rekultivace přímé, nepřímé - třívrstvené, s překryvem ornice, popř. přirozená sukcese) bylo od členění podle způsobu rekultivace při návrhu nových HPJ upuštěno a v aktuálním návrhu byla upřednostněna určení genetického půdního představitele, zrnitostního rázu antropogenního půdního profilu a mocnost humózní vrstvy vytvořené antropozemě.

Komplex těchto parametrů v důsledku odráží postup rekultivace a pro popis půdních charakteristik je z pedologického pohledu vhodnější. Výhodou podstaty navržené kategorizace je, že konkrétní zařazení může být na základě vyjmenovaných parametrů prováděno zkušeným bonitérem přímo v terénu bez nutnosti složitých půdních analýz a bez nutnosti znát historii dané lokality, a to obdobným způsobem jako při mapování přirozeně se vyvíjejících zemědělských půd. Po aktualizaci výčtu HPJ jsou tyto půdy definovány prostřednictvím následujících kódů HPJ:

- **HPJ 82:** Antropozemě humózní, antropozemě spolické, včetně slabě oglejených variet, i karbonátové, s překryvem humózní zeminy do 0,3 m nad různým materiálem, lehčí středně těžké až středně těžké, s příměsí skeletu až středně skeletovité, vláhové poměry vcelku příznivé.
- **HPJ 83:** Antropozemě humózní, antropozemě spolické, antropozemě pelické, včetně slabě oglejených variet, i karbonátové, antropozemě oglejené s překryvem humózní zeminy do 0,3 m (do 0,4 m včetně přechodného horizontu) nad různým materiálem, těžké až velmi těžké, s příměsí skeletu až středně skeletovité, možnost lokálního převlhčení.
- **HPJ 84:** Antropozemě humózní, antropozemě překryté, i karbonátové s překryvem humózní zeminy do 0,3 m (do 0,4 m včetně přechodného horizontu) nad lehkým materiálem, středně těžké (lehčí středně těžké), níže lehké, s příměsí skeletu až středně skeletovité, ojediněle i silně skeletovité, výsušnější podle mocnosti překryvu.
- **HPJ 85:** Antropozemě hlubokohumózní, i karbonátové s překryvem humózní zeminy nad 0,3 m nad různým materiálem, lehčí středně těžké až středně těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, vláhové poměry příznivé.
- **HPJ 86:** Antropozemě hlubokohumózní, i karbonátové s překryvem humózní zeminy nad 0,3 m nad různým materiálem, těžké až velmi těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, periodicky převlhčené.
- **HPJ 87:** Antropozemě spolické, antropozemě oglejené, antropozemě glejové, antropozemě humózní, i karbonátové, slabě oglejené variety - katény půd s nerovností terénu, vláhové poměry na ploše variabilní, v poklesech podmáčení a stagnace vody, zrnitost různá, bez skeletu až středně skeletovité.
- **HPJ 88:** Antropozemě humózní, popřípadě hlubokohumózní, antropozemě urbické, antropozemě skeletovité, popřípadě překryté, redukované, sulfidické, kontaminované, intoxikované, i karbonátové, možnost oglejení, překryv humózní i nehumózní zeminou deponií městských odpadů, skládek, silně skeletovitých materiálů ze stavební činnosti, kontaminovaný až intoxikovaný materiál odkališť, městských kalů, odpady po těžbě rud, příměs antropogenního materiálu stírá znaky a sled horizontů původních HPJ, zrnitost různá (většinou středně těžká), bez skeletu až silně skeletovité, vláhové poměry variabilní.
- **HPJ 89:** Antropozemě glejové, se zrnitostí od lehké až po těžkou, která může být variabilní na ploše i v profilu, bez skeletu až silně skeletovité, půdní profil výrazně hydromorfně ovlivněn (4.–5. stupeň), vláhové poměry velmi nepříznivé.

3.2 Příklad praktické aplikace nových HPJ

Příkladem praktické aplikace nově vymezených skupin půd v rámci aktualizace BPEJ je jejich využití při analýze erozních procesů v krajině. Výsledkem je pak přesnější znalost degradačních procesů probíhajících v krajině a možnost efektivnějšího boje proti nim.

Stručný metodický úvod do níže prezentovaných případových studií je následující: Na dílčích půdních blocích a jejich širším území byla modelem USPED (Unit Stream Power-Based Erosion/Deposition model) stanovena místa, kde dochází k erozi a sedimentaci. Erozní smyv byl stanoven výpočtem rovnice USLE (Universal Soil Loss Equation) za využití geoinformačních technologií (GIS). Dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy byla stanovena pro současný stav a pro stav po aktualizaci BPEJ, kdy dochází ke změně HPJ v místech předpokládaného výskytu **koluvizemí**. Změna BPEJ se v rovnici USLE promítne v K faktoru, který je odvozen na základě hlavní půdní jednotky (HPJ).

Pro výpočet povrchového odtoku z povodí byla zvolena metoda jednotkového hydrogramu US SCS pro nezastavěná území vyvinutá v USA a široce rozšířena po celém světě. K transformaci efektivní srážky na časový průběh povrchového odtoku se používají metody jednotkových hydrogramů. V tomto případě byl použit jednotkový hydrogram SCS, který má jediný parametr, jímž je tzv. TC (doba koncentrace – čas, který je potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí).

Pro potřeby srážko-odtokového modelu byly stanoveny hodnoty CN křivek, které charakterizují propustnost krajinného pokryvu. Teoretické rozmezí hodnot CN je od 1 do 100. Hodnota 1 charakterizuje zcela propustný povrch, hodnota 100 zcela nepropustné podloží (jedná se o vodní a zpevnění plochy – střechy, komunikace atd.), v reálném prostředí se vyskytují hodnoty od přibližně 30 (výrazné vsakování vody do podloží) až do 100 (všechna voda z povodí odtéká). Pro určení hodnoty CN je nutné znát několik vstupních parametrů jako například využití území (také označováno jako landuse) a fyzikální parametry půdy (hloubka půdního horizontu, hydraulická vodivost atd.). Fyzikální parametry půdy jsou vyjádřeny pomocí Hydrologických skupin půd (HSP). Prezentovaná případová studie se zaměřuje na výsledky získané **před a po změně kódu BPEJ** na dvou kontrastních pilotních lokalitách (Agrio 1 a Agrio 2). Pro nezpochybnitelný vliv změny BPEJ na erozní ohroženost bude třeba rozšířit analýzu na větší a hydrologicky uzavřenou oblast, ideálně povodí IV. řádu.

3.2.1 Případová studie: Faktor erodibility půdy (Faktor K)

Pomocí rovnice USLE byly srovnány modelované hodnoty průměrné ztráty půdy vodní erozí pro podmínky po vymezení koluvizemí, a to změnou hodnoty K faktoru. V lokalitě Agrio 1 se průměrná roční ztráta půdy zvýšila o cca 14 %; V lokalitě Agrio 2 došlo naopak k mírnému poklesu hodnoty K faktoru ve spodních částech svahu, čímž se průměrná roční ztráta půdy snížila o cca 7 %. Obecně se však dá předpokládat, že ztráta půdy se bude zvyšovat. Kontrastní pilotní lokality byly vybrány i z důvodu, aby bylo zřejmé, že ne vždy tomu tak musí být.

3.2.2 Případová studie: Kvantifikaci odtokové odezvy povodí

Změna kódu BPEJ se promítne i do modelování srážko-odtokových procesů v povodí. Nové HPJ odpovídají jiným hydrologickým skupinám půd (HSP) a následně jiné hodnotě CN křivky. Hodnota CN křivky následně ovlivňuje i počáteční ztrátu a dobu

koncentrace, které jsou zásadními parametry pro vyhodnocení odtokové odezvy. Výstupem ze srážko-odtokového modelu je objem teoretické povodňové vlny a kulminační průtok. Dokumentována je změna objemu teoretické povodňové vlny a kulminačního průtoku po vymezení koluvizemí: V lokalitě Agrio 1 došlo k navýšení objemu teoretické povodňové vlny pro jednotlivé návrhové jednodenní deště mezi 10–26 % a v lokalitě Agrio 2 se jedná o nárůst mezi 8–16 %. Nárůst kulminačních průtoků pro jednotlivé návrhové jednodenní deště je v lokalitě Agrio 1 mezi 0–25 % a v lokalitě Agrio 2 se jedná o nárůst mezi 0–17 %.

4 EKONOMICKÉ ASPEKTY BONITACE PŮD



Obr. 11 Pohled na zemědělskou krajinu s významnou ekologickou hodnotou (zdroj: fotoarchiv autorů)

Každá změna systému BPEJ s sebou nutně přináší potřebu stanovení ekonomické odezvy. Je tedy třeba analyzovat dopady navržených inovací na úřední cenu ZPF a na legislativu Ministerstva financí ČR na ni navázanou. Naším cílem bylo zpřesnění odhadu stínových cen mimoprodukčních funkcí půdy. Tyto odhady jsou založeny na transformačním modelu zahrnujícím produkční i mimoprodukční funkce půdy (vazba na kap. 1.3.3), vč. vlivu počasí a klimatických podmínek. Využívá se ekonometrických technik panelových dat a nejnovějších přístupů v rámci analýzy produktivity a efektivnosti, které zajišťují nestrannost a konzistenci odhadu v přítomnosti problému endogenity, jako je testování robustnosti zpřesněných odhadů stínových cen mimoprodukčních funkcí půdy a zpřesněné soustavy BPEJ dle půdního typu a subtypu, vč. kategorií sklonitosti, expozice, skeletovitosti a hloubky půdy.

4.1 Vývoj cen BPEJ

Půda reprezentuje nejen základní produkční faktor v ekonomice, který nabývá své důležitosti v závislosti na struktuře ekonomiky, ale zároveň představuje velmi důležitou složku lidského života. Vznik a/nebo obnova půdy ve smyslu její úrodnosti je dlouhotrvající proces. Zároveň je ve svém množství limitována a nelze ji reprodukovat, a proto je nejen z ekonomického pohledu považována za statek vzácný.

Připomeňme zde, že základem pro ocenění zemědělských půd jsou v České republice BPEJ evidované v číselných a mapových podkladech a vyjadřující půdní a klimatické podmínky, které mají vliv na produkční schopnost zemědělské půdy a její ekonomické ohodnocení. V následujícím textu je shrnut vývoj cen zemědělské půdy na základě změny přílohy k oceňovací vyhlášce (v tomto výčtu jsou uvedeny

pouze vyhlášky, které mají dopad na změnu hodnoty BPEJ). Po roce 1989 je prvním nástrojem Vyhláška č. 316/1990 Sb., kde jsou v příloze č. 9 uvedeny ceny zemědělské půdy pro jednotlivé bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ). Přehled dalších změn:

- 1994: Vyhláška č. 178/1994 Sb. (platnost od 1. 11. 1994),
- 1998: Vyhláška č. 279/1997 Sb. (platnost od 1. 1. 1998),
- 2001: Vyhláška č. 338/2001 Sb. (platnost od 1. 10. 2001),
- 2008: Vyhláška č. 3/2008 Sb. (platnost od 21. 01. 2008),
- 2014: Vyhláška č. 441/2013 Sb. (aktuálně stále platná).

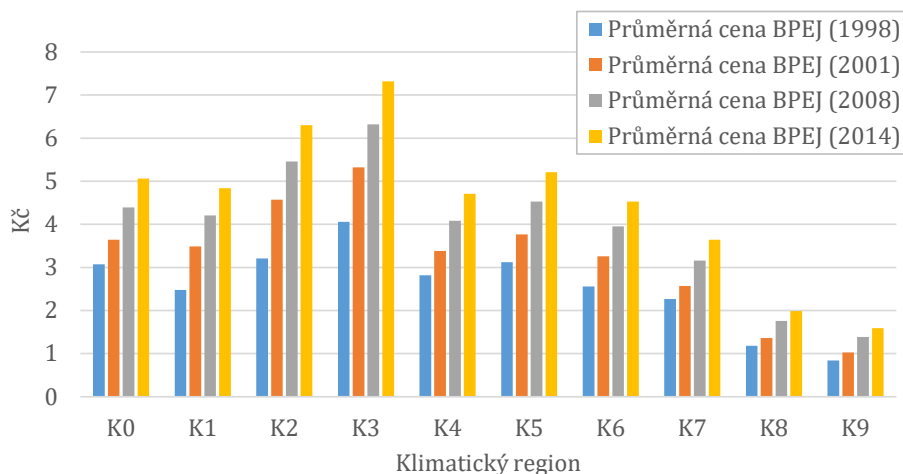
Každá změna systému BPEJ implikuje určité ekonomické dopady, které je nutné detailně analyzovat, a to nejlépe před jejich uvedením v účinnost. Tato skutečnost zejména platí pro případ navržených inovací vedoucích ke změnám úřední ceny zemědělského půdního fondu a na legislativu Ministerstva financí na ni navázanou. V následující pasáži je uvedena statistická analýza vývoje cen jednotlivých BPEJ za analyzované období 1997–2023, dle platných vyhlášek k cenám BPEJ. V jednotlivých cenových vyhláškách dochází postupně ke změnám počtu kódů, respektive k postupnému navýšení především mezi roky 1997 a 2001. V roce 1997 nebylo velké množství kódů ve vyhlášce uvedeno a oceněno. Detailnější mapování BPEJ na území České republiky tedy vedlo postupně k rozšíření počtu kódů z 1818 v roce 1997 až na stávající počet 2172 v roce 2013. Hlavními důvody pro rozšiřování počtu kódů jsou: zohlednění degradačních změn, zásadní změny v hydromorfismu půdy, zjištění údajů o BPEJ u pozemků – kde BPEJ dříve nebyly určeny, zahájení komplexních pozemkových úprav, prokazatelně nesprávné určení BPEJ na základě existujících podkladů či potřeba doplnění a upřesnění celostátní databáze (Vopravil *et al.*, 2011). Z popisných statistik je zřejmý nárůst průměrné ceny v analyzovaném souboru z 3,37 Kč/m² na úroveň 4,93 Kč/m². Patrný je také nárůst minimálních a maximálních hodnot cen BPEJ kódů, kdy minimální hodnota vzrostla z 0,50 na 1,15 Kč/m² a maximální hodnota vzrostla z 13,50 na 19,79 Kč/m².

Zároveň je vhodné se také zaměřit na růst cen BPEJ dle KR. Při detailnějším pohledu na vývoj cen dle jednotlivých KR je patrné, že nejvyšší průměrnou cenu (7,32 Kč/m²) má KR 3, který je nejvhodnější pro pěstování plodin z hlediska klimatických podmínek. Naopak nejhůře jsou na tom KR 8 a 9, kde jsou nízké průměrné teploty s vysokou hodnotou roční sumy srážek. Průměrná cena BPEJ je v těchto dvou KR 1,99 Kč/m² respektive 1,59 Kč/m². Detailní vývoj dle příloh cenových vyhlášek je uveden na Obr. 12.

Z grafu (Obr. 12) je rovněž zřejmé, že postupně dochází k navýšování průměrné ceny BPEJ ve všech KR, což je způsobeno nárůstem cen jednotlivých BPEJ. Při výpočtu řetězového indexu mezi vyhláškami z roku 2001 a 1997 je možné konstatovat, že z celkového počtu kódů byla cena snížena u 568 BPEJ kódů. U zbylého počtu kódů cena

Tab. IV Popisná statistika cen BPEJ dle vyhlášek

Vyhláška číslo	Počet BPEJ	průměr (Kč/m ²)	Min (Kč/m ²)	Max (Kč/m ²)
279/1997	1 818	3.37	0.50	13.50
338/2001	2 199	3.55	0.70	14.81
3/2008	2 199	4.28	1.00	17.25
441/2013	2 172	4.93	1.15	19.79



Obr. 12 Vývoj průměrných cen BPEJ dle KR (Kč/m²)

stagnovala či došlo k jejímu zvýšení. Samotná metodika změny cen není ve vyhlášce popsána. Jelikož v tomto analyzovaném období dochází ke značné volatilitě úprav cen BPEJ, jsou v textu níže popsány nejvýraznější nárůsty či poklesy cen BPEJ dle KR. U KR 0 došlo ke snížení ceny u 48 BPEJ kódů ze 148. Nejvýraznější pokles byl u kódu 02954 (pokles z 3,6 na 1,81 Kč/m²), v relativním vyjádření tedy pokles ceny o 50 %. Naopak největší nárůst byl zaznamenán u kódu 00750 (nárůst z 4,76 na 7,68 Kč/m²) a 07001 (z 2,26 na 3,61 Kč/m²), v relativním vyjádření nárůst o 60 %.

U KR 1 bylo analyzováno 221 kódů BPEJ, přičemž cena poklesla u 82 kódů, u ostatních byl zaznamenán růst ceny. Nejvýraznější pokles nastal u kódu 12844 (pokles ceny z 3 na 1,91 Kč/m²), což představuje snížení o 36 %. Naopak nejvýraznější nárůst ceny nastal u BPEJ 13001 (nárůst ceny z 4,03 na 6,21 Kč/m²), což představuje nárůst o 54 %. U KR 2 bylo analyzováno 206 kódů. Z uvedeného počtu došlo ke snížení ceny u 49 kódů, u zbytku poté zůstala cena stejná či se zvýšila. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 23755, a to o 37 % (pokles z 1,89 na 1,19 Kč/m²). Nejvyšší nárůst byl naopak u kódu 23001, kde došlo k nárůstu ceny o 52 % (nárůst z 4,84 na 7,38 Kč/m²). U KR 3 bylo analyzováno 250 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny u 45 BPEJ, zbylé potom zaznamenaly růst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 33816, a to o 42 % (pokles z 2,38 na 1,39 Kč/m²). Nejvyšší růst byl naopak zaznamenán u kódu 36501, kde došlo k nárůstu ceny o 73,5 % (nárůst z 2,15 na 3,73 Kč/m²). U KR 4 bylo analyzováno 246 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny u 83 BPEJ, u zbylých byl zaznamenán nárůst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 43855, a to o 40 % (pokles z 1,72 na 1,03 Kč/m²). Nejvyšší růst byl naopak u kódu 42313, kde došlo k nárůstu ceny o 75 % (nárůst z 1,75 na 3,07 Kč/m²). U KR 5 bylo analyzováno 260 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny u 64 BPEJ, u zbylých byl zaznamenán nárůst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 53344, a to o 34 % (pokles z 2,87 na 1,89 Kč/m²). Nejvyšší růst byl naopak u kódu 53949, kde došlo k nárůstu ceny o 216 % (nárůst z 0,68 na 2,15 Kč/m²). U KR 6 bylo analyzováno 242 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny u 100 BPEJ, u zbylých byl zaznamenán nárůst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 63816, a to o 54 % (pokles z 1,72 na 0,79 Kč/m²). Nejvyšší

Tab. V Detailní specifikace modelu

Proměnná	Specifikace
K1	KR 1 – teplý, suchý
K2	KR 2 – teplý, mírně suchý
K3	KR 3 – teplý, mírně vlhký
K4	KR 4 – mírně teplý, suchý
K5	KR 5 – mírně teplý, mírně vlhký
K6	KR 6 – mírně teplý až teplý, velmi vlhký
K7	KR 7 – mírně teplý, vlhký
K8	KR 8 – mírně chladný, vlhký
K9	KR 9 – studený, vlhký
SDR1	Sklon pozemku: 3–7°, expozice: bez expozice
SDR2-A	Sklon pozemku: 3–7°, expozice: jih (KR: 0-5)
SDR2-B	Sklon pozemku: 3–7°, expozice: jih, východ, západ (KR: 6-9)
SDR3-A	Sklon pozemku: 3–7°, expozice: sever (KR: 6-9)
SDR3-B	Sklon pozemku: 3–7°, expozice: sever, východ, západ (KR: 0-5)
SDR4-A	Sklon pozemku: 7–12°, expozice: jih (KR: 0-5)
SDR4-B	Sklon pozemku: 7–12°, expozice: jih, východ, západ (KR: 6-9)
SDR5-A	Sklon pozemku: 7–12°, expozice: sever (KR: 6-9)
SDR5-B	Sklon pozemku: 7–12°, expozice: sever, východ, západ (KR: 0-5)
SDR6-A	Sklon pozemku: 12–17°, expozice: jih (KR: 0-5)
SDR6-B	Sklon pozemku: 12–17°, expozice: jih, východ, západ (KR: 6-9)
SDR7-A	Sklon pozemku: 12–17°, expozice: sever (KR: 6-9)
SDR7-B	Sklon pozemku: 12–17°, expozice: sever, východ, západ (KR: 0-5)
SDR8-A	Sklon pozemku: 17–25°, expozice: jih (KR: 0-5)
SDR8-B	Sklon pozemku: 17–25°, expozice: jih, východ, západ (KR: 6-9)
SDR9-A	Sklon pozemku: 17–25°, expozice: sever (KR: 6-9)
SDR9-B	Sklon pozemku: 17–25°, expozice: sever, východ, západ (KR: 0-5)
SDRH1	Hloubka půdního profilu: 30/60 cm a více, bez až slabě skeletovitá
SDRH2	Hloubka půdního profilu: 60 cm a více, slabě skeletovitá
SDRH3	Hloubka půdního profilu: 60 cm a více, středně skeletovitá
SDRH4	Hloubka půdního profilu: 30 cm a více, středně skeletovitá
SDRH5	Hloubka půdního profilu: méně než 30 cm, slabě skeletovitá
SDRH6	Hloubka půdního profilu: méně než 30 cm, středně skeletovitá
SDRH7	Hloubka půdního profilu: 30 cm a více, slabě skeletovitá*
SDRH8	Hloubka půdního profilu: 30 cm a více, silně skeletovitá
SDRH9	Hloubka půdního profilu: 30 cm a více, středně až silně skeletovitá
D_1 až D_78 Dummy proměnné pro HPJ	

Pozn: * aplikováno pro HPJ se sklonem pozemku nad 12° (HPJ 40,41)

nárůst byl naopak u kódu 61602, kde došlo k nárůstu ceny o 50 % (nárůst z 3,59 na 5,38 Kč/m²). U KR 7 bylo analyzováno 246 kódů. U několika z nich došlo ke snížení ceny, u zbylých byl pak zaznamenán cenový nárůst. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 73314, a to o 35 % (pokles z 3,41 na 2,20 Kč/m²). Nejvyšší nárůst byl naopak u kódu 72313, kde došlo k nárůstu ceny o 83,5 % (nárůst z 1,39 na 2,55 Kč/m²). U KR 8 bylo analyzováno 119 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny u 41 BPEJ, u zbylých byl zaznamenán nárůst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 83524, a to o 43 % (pokles z 2,95 na 1,69 Kč/m²). Nejvyšší nárůst byl naopak u kódu 86501, kde došlo k nárůstu ceny o 74 % (nárůst z 1,32 na 2,30 Kč/m²). U KR 9 bylo analyzováno 74 kódů. Z daného počtu došlo ke snížení ceny pouze u 4 BPEJ, u zbylých byl zaznamenán nárůst ceny. Nejvýraznější pokles nastal v případě kódu 95051, a to o 5 % (pokles z 1,01 na 0,96 Kč/m²). Nejvyšší růst byl naopak u kódu 93756, kde došlo k nárůstu ceny o 52 % (nárůst z 0,50 na 0,76 Kč/m²).

Tab. VI Statistika ekonometrického modelu

Součet čtverců reziduí	6 358,135
Směrodatná chyba regrese	1,755984
Koeficient determinace	0,94626
Adjustovaný koeficient determinace	0,94342
F (109,2062)	333,1025
P-hodnota (F)	0
Logaritmus věrohodnosti	-4 248,39
Akaikovo kritérium	8 716,785
Schwarzovo kritérium	9 341,96
Hannan-Quinnovo kritérium	8 945,379

Tab. VII Odhad cen pro nové BPEJ (KR 0)

BPEJ	Kč/m²	BPEJ	Kč/m²
01300	11,27	01543	7,16
01310	10,20	01553	7,37
01313	8,29	01814	4,82
01500	11,35	01841	5,94
01510	10,28	01844	3,61
01512	8,91	01851	6,15
01513	8,37	01854	3,82
01540	9,07	02342	3,92
01550	9,28	02352	4,14
01542	7,70	02343	3,39
01552	7,91	02353	3,60

Další změna cen mezi roky 2001 a 2008 byla již takřka pouze pozitivní, tj. vedla k růstu cen. Výjimku tvoří pouze dva kódy BPEJ z celkového počtu 2199 kódů platných pro toto období, konkrétně se jedná o 53949 a 53939, u kterých došlo k poklesu ceny o 51 respektive o 48 %.

Mezi roky 2008 a 2013 se u všech KR měnila cena shodně, a to růstem cen v průměru o 14,7 %. Výjimkou je pouze kód 71502, kde zůstala cena stejná jako v roce 2008, a to na úrovni 6,23 Kč/m². U ostatních kódů (pro rok 2013 bylo platných 2172 kódů) se cena zvyšovala v rozmezí 14,3–15,1 %. Z výsledků je patrný jednotný posun cen. V tomto případě je již uvedeno, že v růstu ceny je promítnuta inflace.

Půda jako jeden z výrobních faktorů používaných v ekonomice prochází aktuálně dynamickými změnami, které mají především původ v klimatických změnách. Je tedy nutné tyto změny promítnout i do samotné ceny BPEJ, eventuálně ocenit nově vzniklé kódy BPEJ.

4.2 Oceňování nových kódů BPEJ

Systém BPEJ je v podstatě „živý“ mechanismus, a to z důvodu procesu aktualizace BPEJ. Postupně dochází k opakovanému terénnímu průzkumu na jednotlivých zemědělských půdách a stanovuje se charakteristika vstupních proměnných kódů BPEJ. Může se také rozšiřovat počet HPJ, pro které je nutné objektivně stanovit cenu v rámci oceňovací vyhlášky.

Z důvodu nutnosti pružného oceňování při změnách jednotlivých parametrů vstupujících do kódu BPEJ byl vytvořen ekonometrický model. Při jeho konstrukci byla použita hédonická metoda, která spočívá v oddělení jednotlivých faktorů vstupujících do konečné ceny dané BPEJ. V první fázi tedy bylo nutné rozklíčovat a vytvořit podkladová data pro tvorbu ekonometrického modelu (separace jednotlivých proměnných v kódu BPEJ – tzn. KR, HPJ, sklon, expozice, skeletovitost a hloubka půdního profilu (Slaboch a Čechura, 2020)).

Pro odhad stínových cen jednotlivých vstupních parametrů BPEJ byl použit lineární regresní model s korigovanou heteroskedasticitou. V souladu s platnou legislativou (Vyhláška č. 441/2013 Sb.) bylo použito celkem 2172 kódů BPEJ, které jsou v příloze této vyhlášky oceněny. Hedonický model, respektive stínové ceny jednotlivých proměnných, může být následně použit pro ocenění ostatních BPEJ, které dosud nebyly ve vyhlášce oceněny, ale kódy jsou stanoveny (pro 146 kódů neexistuje ocenění). Samotný model je uveden ve vztahu č. 1 a detailní specifikace navrženého modelu je uvedena v Tab. V (Slaboch a Čechura, 2020).

$$Y_i = f(K, SDR, SDRH, D), \quad (1)$$

kde:

Y_i je cena BPEJ (Kč/m²),

K znamená vektor dummy proměnných vyjadřující příslušnost k danému KR,

SDR je vektor dummy proměnných vyjadřující kombinaci charakteristik svahu a expozice,

$SDRH$ představuje vektor dummy proměnných kombinující hloubku půdního profilu a skeletovitost,

D je vektor dummy proměnných představující HPJ.

Důležitou podmínkou pro následnou aplikaci modelu je logická konzistence a směr působení odhadnutých parametrů (stínových cen dané charakteristiky) jednotlivých proměnných. Lze konstatovat, že ekonometrický model prošel ekonomickou verifikací. Rovněž statistická verifikace ukazuje na velmi dobré kvality modelu. Většina odhadnutých parametrů je statisticky významná i na hladině významnosti 1 % a shoda modelu s daty je vysoká. Koefficient determinace (R^2) je roven 0,946, tj. 94,6 % variability cen BPEJ je vysvětleno dummy proměnnými v modelu. Vysoká vysvětlující síla hedonického modelu s vysokou hladinou významnosti pro většinu použitých dummy proměnných (půdní charakteristiky dané kódem BPEJ) jsou důležitým faktorem určujícím robustnost modelu cen půdy jako možného nástroje pro nové nastavení cen. Ekonometrická verifikace potvrdila splnění předpokladů o náhodné složce a odhad parametrů tak lze považovat za nejlepší, nestranný a konzistentní.

Výsledky verifikace ukazují, že model je možné použít pro odhad nově vzniklých kódů, které však zatím nebyly v aktuálně platné legislativě oceněny. Detailnější popis základních statistik modelu je uveden v následující Tab. VI.

Aplikace výsledků modelu tedy spočívá v možnosti ocenění nově vzniklých kódů BPEJ, jako příklad lze uvést v následující tabulce ceny nových kódů BPEJ (uvedené ceny jsou součástí aktualizace cen BPEJ v rámci platné oceňovací vyhlášky). Tab. VII uvádí odhad cen pro KR 0, kde zatím nebyly oceněny uvedené kódy BPEJ (celkem 22). Jedná se o HPJ 13 (hnědozem modální, hnědozem luvická, fluvizem modální), 15 (luvizem modální, hnědozem luvická, kambizem luvická), 18 (rendzina modální, rendzina kambická, rendzina vyluhovaná) a 23 (kambizem arenická, pararendzina arenická, fluvizem arenická). Odhadovaná cena se u jednotlivých BPEJ pohybuje v rozmezí 3,39 Kč/m² až 11,35 Kč/m². Rozdíly cen jsou ovlivněny především sklonem a expozicí, hloubkou půdního profilu a skeletovitostí a v neposlední řadě také samotnou HPJ.

4.3 Produkční potenciál a mimoprodukční funkce půdy

Produkce potravin k zajištění výživy je základním úkolem zemědělské výroby. Z důvodu klimatických změn způsobených globálním oteplováním bude v dalších letech stále složitější tento základní úkol naplnit, jelikož se jedná o činnost vysoce závislou a citlivou na změny klimatu. Dalším důvodem je také narůstající počet obyvatel (Tesfaye *et al.*, 2015). Proto je nutné pochopit interakce mezi klimatem a zemědělskou produkcí, a to především z důvodu vyšší pravděpodobnosti suchých období, kolísání srážek či zvýšené průměrné teploty (Hui *et al.*, 2013; Orlandi *et al.*, 2020). Samotnými vlivy klimatických změn na produkci potravin se zabývá celá řada studií, které se zpravidla liší zaměřením na konkrétní druhy plodin (Zhu *et al.*, n.d.; Gamal, Samak, and Shahba, 2021; Zhang *et al.*, 2021).

Kromě klimatických změn je produkce potravin ovlivněna také fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy, především však hydrologickými vlastnostmi. V podmínkách České republiky je využíván ukazatel produkčního potenciálu, který je ovlivněn typem HPJ, KR, expozicí, svažitostí. Je patrné, že problematiku je nutné vnímat komplexně.

Pro daňové účely se v podmínkách České republiky používá úřední cena půdy, která vychází z ocenění bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Samotné

stanovení ceny BPEJ vychází pouze z produkčního potenciálu v rámci produkce potravin a do ceny tak nejsou zahrnuty další důležité, ale mimoprodukční funkce půdy. Systém bodového hodnocení produkčního potenciálu BPEJ vychází z výpočtu produkční schopnosti půdy a stanoviště. Obecně je výpočet dán vztahem č. 2:

$$PP = (HPJ + Z + SE + SH) \times \text{koeficient } KR \quad (2)$$

Kde:

PP.....je produkční potenciál (body),

HPJje hlavní půdní jednotka (body),

Zje zrnitostní složení půdy (body),

SE.....je svažitost a expozice svahu (body),

SHje skeletovitost a hloubka půdního profilu (body),

KRje klimatický region.

Produkční potenciál se dle tabulkových hodnot pohybuje v rozmezí 6–100 bodů (čím vyšší produkční potenciál, tím je vyšší zemědělská produkce, i potenciální zisk zemědělských subjektů). Produkční potenciál se v rámci České republiky používal také pro definování méně vhodných oblastí pro pěstování (tzv. LFA oblastí). V rámci jednotné metodiky EU došlo k redefinování LFA oblastí, které jsou nyní označeny jako přírodně znevýhodněná území, ANC (Areas with Natural Constraints). Zařazení probíhá na základě biofyzikálních kritérií, která jsou stanovena přílohou III nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1305/2013. Uvedená kritéria jsou závazná pro všechny členské státy EU, a to především ve vazbě na vyplácené dotační tituly.

Obecně můžeme říct, že úrodnost zemědělské půdy je ovlivněna například obsahem humusu, strukturou, skeletovitostí půdy, hodnotou pH apod. Vyváženost a vhodná skladba těchto složek následně vypovídá o úrodnosti půdy. Půdní kvalita však představuje souhrn společensky oceňovaných funkcí půdy, mezi které patří například: produkční funkce, transformační, ekologická, filtrační, retenční, krajínotvorná funkce apod.

Proto je v posledních letech ve vědecké literatuře a médiích věnována značná pozornost konceptu „ekosystémových“ služeb půd. Peněžní ohodnocení těchto služeb, požadované mnoha vládami a mezinárodními agenturami, je často líčeno jako nezbytná podmínka pro zachování přírodního kapitálu, který půda představuje (Baveye, Baveye, and Gowdy, 2016).

Ekosystémové služby jsou definovány jako přínosy, které lidé získávají z ekosystémů. Využití konceptu ekosystémových služeb je určeno k podpoře rozvoje politik a nástrojů, které integrují sociální, ekonomické a ekologické perspektivy. V poslední době se tento koncept stal paradigmatem správy ekosystémů (Seppelt *et al.*, 2011; Iliopoulos and Damigos, 2024).

V posledních desetiletích došlo ke značnému nárůstu programů a plateb za ekosystémové služby (PES), které vyměňují hodnotu za postupy hospodaření s půdou určené k poskytování nebo zajištění ekosystémových služeb – s více než 550 aktivními programy po celém světě a odhadem 36–42 miliard USD ročně (Salzman *et al.*, 2018).

Služby ekologických systémů a zásoby přírodního kapitálu, které je produkují, jsou rozhodující pro fungování systému podpory života na Zemi. Přímo i nepřímo přispívají k lidskému blahobytu, a proto představují část celkové ekonomické hodnoty planety (Costanza *et al.*, 1997).

Ekosystémové služby jsou chápány jako výhody, které z nich lidé získávají. Jedná se o poskytování služeb (voda a jídlo); regulační služby (regulace povodní, sucha, degradace půdy atd.); podpůrné služby (tvorba půdy, koloběh živin, fotosyntéza, biodiverzita); kulturní služby (kulturní a zábavní, duchovní, náboženské a jiné nehmotné výhody) (Slizhe *et al.*, 2023).

Identifikace potenciálu ekosystémů poskytovat ekosystémové služby (ES) do značné míry závisí na podrobnosti a úplnosti základní mapy ekosystémů. Stávající pokyny pro konstrukci tohoto typu map zahrnují pouze několik základních typů ekosystémů, které fungují pouze v národním nebo mezinárodním měřítku a jsou nedostatečné k identifikaci plného potenciálu ekosystémových služeb v místním nebo regionálním měřítku (Kruczkowska, Solon, and Wolski, 2017).

V EU je mapování a hodnocení ekosystémů a jejich služeb, zkráceně MAES, považováno za klíčovou akci pro dosažení cílů v oblasti biologické rozmanitosti a také jako informace pro rozvoj a provádění souvisejících politik v oblasti vody, klimatu, zemědělství a lesnictví (Maes *et al.*, 2016).

Nedávný zájem o životní prostředí a širší ekosystémové služby byl empiricky vyjádřen prostřednictvím zaměření na ekonomické oceňování. Tento důraz byl podnícen rostoucím poznáním, že přínosy a náklady příležitosti spojené s takovými službami nejsou v politických analýzách často zcela zohledňovány nebo jsou dokonce zcela ignorovány. Oceňování biologické rozmanitosti a ekosystémových služeb je proto stále více považováno za klíčový prvek robustního rozhodování, což se odráží v rostoucím počtu souvisejících výzkumů.

Ceny tržního zboží a služeb jsou snadno dostupné a jsou považovány za ukazatele jejich hodnoty. Pro stanovení peněžní hodnoty netržního zboží a služeb je však třeba použít speciální metody oceňování (Deniz and Ok, 2016).

Tradičně byly přínosy projektů oceňovány metodou reprodukčních nákladů (RCM) či analýzou přínosů a nákladů (CBA). V současné době však environmentální ekonomie poskytuje alternativní metody, jako je podmíněné oceňování (CV) a další založené na deklarovaných preferencích, jejichž hlavní předností je jejich schopnost zachytit neúžitkové a budoucí užité hodnoty, které jsou zásadní pro peněžní oceňování. Srovnání ukazuje, že odhady CV čistých přínosů pro životní prostředí jsou téměř dvojnásobné oproti odhadům získaným pomocí standardních metod (Almansa, Calatrava, and Martinez-Paz, 2012; Deniz and Ok, 2016; Damayanti, Bambang, and Soeprbowati, 2018).

Dále se používá například metoda – Ochota platit (WTP) a ochota přijmout (WTA). Jedná se o hlavní nástroje metody podmíněného oceňování (CV) a zejména techniky ochoty platit se široce používají při oceňování veřejných statků a ekosystémových služeb v mnoha oblastech světa (Liu, 2020; Sourokovou *et al.*, 2023).

Zadržování vody v krajině je vzhledem ke klimatickým změnám velmi aktuální téma, a z pohledu ekosystémových služeb se mu věnuje celá řada výzkumů. Například v Číně lesy, louky, zemědělská půda a pastviny zadržují více než 80 % celkové vlhkosti půdy, což hraje významnou roli při ochraně vody a zaručování kvality (Deng, Li, and Feng, 2011).

Ekosystémové služby mohou mít také vliv na hodnoty pozemku v katastrálním území. Výsledky ukazují, že pokud tyto ekosystémové služby nejsou zahrnuty do prodejní ceny pozemku, dochází k podcenění jeho hodnoty a ceny, což podporuje neorganizovanou formu městského růstu (Paris *et al.*, 2023).

V další části textu je nastíněna možnost ocenění retenční schopnosti půd v podmínkách České republiky. K naplnění definovaného cíle jsou použita data výzkumného ústavu monitoringu a ochrany půdy (VÚMOP). Konkrétně se jedná o fyzikální vlastnosti HPJ v rámci klasifikace BPEJ.

Jedná se tedy o komplexní problematiku sledování vlastností půdního fondu České republiky. Samotnou retenční vodní kapacitu můžeme charakterizovat jako množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů a postupně ji pro potřeby rostlin uvolňovat. Aplikovaný metodický postup využívá databázi bonitovaných půdně-ekologických jednotek a jejich kategorizaci do hydrologických skupin, dále pak údaje z datové banky fyzikálních, chemických a morfologických charakteristik a vlastností půd České republiky, výsledků vlastních měření a literárních podkladů. Výsledné hodnoty retenční vodní kapacity zohledňují průměrnou hloubku profilu a obsah vody, charakterizují tak skutečné množství vody, které je půda při srážkách schopna zadržet.

Pro stanovení retenční schopnosti byly použity následující charakteristiky (Slaboch a Malý, 2023):

- pórovitost,
- obsah humusu,
- zrnitost,
- pH CKL,
- hloubka půdního profilu,
- hydrologická skupina půd.

Pro ocenění mimoprodukční funkce jsou použity výsledky ekonometrických modelů stanovených ve vztahu č. 3.

$$\begin{aligned} y_{1ij} &= \sigma_1 + \beta_{11} \times x_{1ij} + \beta_{12} \times x_{2ij} + \beta_{12}^* \times x_{2ij}^2 + \beta_{13} \times x_{3ij} + \beta_{14} \times x_{4ij} + \beta_{15} \times x_{5ij} + \sum_j \alpha_{1j} \times D_j + \varepsilon_{1ij} \\ y_{2ij} &= \sigma_2 + \gamma_{21} \times \hat{y}_{1ij} + \beta_{21} \times x_{1ij} + \beta_{23} \times x_{3ij} + \sum_k \beta_{26k} \times x_{6kij} + \sum_j \alpha_{2j} \times D_j + \varepsilon_{2ij} \end{aligned} \quad (3)$$

kde:

y_{1i} je retenční kapacita,

y_{2i} je produkční potenciál,

x_{1i} je pórovitost,

x_{2i} je obsah humusu,

x_{3i} je zrnitost,

x_{4i} je pH CKL,

x_{5i} je hloubka půdního profilu,

x_{6ki} je dummy proměnná pro hydrologickou skupinu půd,

D_j je dummy proměnná,

i je HPJ,

j je KR,

$\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ jsou parametry určené k odhadu.

Na každou rovnici modelu (3) lze nahlížet jako least-square dummy variable (LSDV) model a odhadnout jej pomocí metody nejmenších čtverců (vztah č. 4):

$$\begin{aligned} X_* &= M_d X \\ y^* &= M_d y \end{aligned} \quad (4)$$

kde:

$$M_d = I - D(D^T D)^{-1} \times D^T$$

Xje matice regresorů,

y je vektor závislých proměnných,

Dje matice dummy proměnných.

Navíc lze předpokládat striktní exogenitu regresorů v modelu (3). Aby se předešlo potenciálním problémům s výskytem heteroskedasticity vedoucí ke zkresleným odhadům kovarianční matice, jsou použity robustní standardní chyby parametrů.

Prvně tedy byly odhadnuty vlivy jednotlivých parametrů na retenční schopnost. Následně byla pomocí ekonometrického modelu odhadnuta retenční schopnost jednotlivých HPJ a také produkční potenciál pro jednotlivé KR. Z výsledných hodnot byl spočítán podíl retenční schopnosti na produkčním potenciálu určeným ekonometrickým modelem a stanoven nárůst ceny se započítáním této mimoprodukční funkce půdy (Slaboch and Malý, 2023).

Samotné stanovení ceny je provedeno variantně s využitím citlivostní analýzy, přičemž jsou definovány následující možnosti zahrnutí vlivu retenční funkce půdy:

- Pro stanovení je použito 100% ceny BPEJ z hlediska produkční funkce půdy a 5% ceny retence v rámci mimoprodukční funkce půdy;
- Pro stanovení je použito 100% ceny BPEJ z hlediska produkční funkce půdy a 10% ceny retence v rámci mimoprodukční funkce půdy;
- Pro stanovení je použito 100% ceny BPEJ z hlediska produkční funkce půdy a 20% ceny retence v rámci mimoprodukční funkce půdy;
- Výsledky jsou vzhledem k rozsahu uvedeny pouze pro prvních 50 kódů BPEJ z celkového množství 2172.

Pozitivně retenci ovlivňují téměř všechny proměnné s výjimkou extrémních hodnot humusu (proměnná humus je ve dvojím vyjádření z důvodů nelineárního průběhu, jelikož je předpokládán konkávní průběh závislosti – po dosažení limitního množství je obsah humusu v půdě negativním determinantem retence). Zmíněný předpoklad i teoretické pedologické aspekty model v podstatě bezezbytku naplnil.

Základní premisou pro praxi je žádoucí zvyšování vodní retence. Pro dosažení uvedeného cíle je dle výsledků odhadu vhodné se zaměřovat zejména na mocnost půdy, která je však mnohdy striktně dána půdně-geologickými aspekty. Z hlediska běžné zemědělské praxe je tedy velice důležitou informací další výstup modelu v podobě relativně velkého vlivu kyselosti půdy, což je faktor, který lze v rámci agrotechnických zásad poměrně snadno modifikovat – pokud by bylo systematicky prováděno snižování kyselosti půd, tak by se retence vody v půdě výrazně zvýšila. Dle odborné literatury má pH půdy v přirozeném prostředí obrovský vliv na půdní biogeochemické procesy, a proto je pH půdy charakterizováno jako „hlavní proměnná půdy“, která ovlivňuje myriády půdních biologických, chemických a fyzikálních vlastností a procesů, které ovlivňují růst rostlin a výnos biomasy (Neina, 2019). Zrnitost je další specifická

vlastnost, která pozitivně ovlivňuje retenci. Zde je zemědělská praxe nejednoznačná, jelikož určitou formou agrotechnických zásahů lze pozitivně ovlivnit i tuto vlastnost. Velikostí pórů lze dle provedených výzkumů ovlivnit retenci vody v půdě obzvláště v nejsušších oblastech (Pires, 2023), čímž by bylo dosaženo pozitivního efektu, avšak proces je dlouhodobý, a pro řadu plodin může být konečný výsledek spíše negativní, jelikož jílovitá půda je pro řadu potravinářských kultur nevhodná.

Uvedené potvrzuje úvodní předpoklad, že schopnost retence je v současném ekonomickém systému oceňování půdy značně podceňována a pro další evaluaci je vhodné uvažovat o zahrnutí tohoto aspektu mezi hlavní determinanty ceny.

Při započítání retenční schopnosti je z výsledků patrné navýšení ceny BPEJ u všech variantních scénářů. V případě započítání 5% vlivu retenční schopnosti na cenu jednotlivých BPEJ se navýšení pohybuje v rozmezí 0.01 Kč/m² až po 0.42 Kč/m² v absolutním vyjádření. Nejvyšší nárůst ceny je u kódu BPEJ 30300, kdy se jedná o černozem na spraši v KR 3, rovinu, s hlubokým půdním profilem a nízkou skeletovitostí. Naopak nejnižší nárůst je v tomto scénáři u kódů BPEJ s velmi nízkým produkčním potenciálem v rámci HPJ 39, 68, 71, 72, 73, 74 napříč KR, a to především z důvodu velmi nízké retenční schopnosti těchto půd. Druhým definovaným scénářem je započítání 10% vlivu mimoprodukční funkce k ceně BPEJ. Navýšení jednotlivých cen se v tomto případě pohybuje v rozmezí 0.01 Kč/m² až po 0.83 Kč/m². U posledního definovaného scénáře se nárůst cen BPEJ pohybuje v rozmezí 0.01 Kč/m² až po 1.67 Kč/m² z hlediska absolutního vyjádření. Navýšení je odvozeno z podílu retenční schopnosti půd na produkčním potenciálu. Pokud bychom se podívali na relativní vyjádření nárůstu ceny BPEJ, tak se výsledky pohybují v rozmezí 1–12 % u scénáře s 20 % započítáním mimoprodukční funkce půdy. Výsledky jsou vzhledem k rozsahu uvedeny pouze pro prvních 50 kódů BPEJ z celkového množství 2172 (Tab. VIII).

Specifikovaný model produkčního potenciálu prokázal statisticky významný vliv celé skupiny faktorů (včetně retence), které navíc mají signifikantní význam i v rámci odlišností KR. V této souvislosti mimoprodukční funkce půdy nabývají na důležitosti, která se dále zvyšuje vlivem klimatických změn. Některé půdy v daném ohledu mohou mít sice nízký produkční potenciál, ale zároveň jsou pro danou lokalitu velmi cenné z hlediska právě mimoprodukčního potenciálu (typicky žádoucí retence povodňové vody apod.). Vzhledem ke klimatickým změnám se jedná o velmi aktuální a žádoucí téma, které využitím dosažených výsledků nabízí možnost exaktního ocenění vlivu faktorů, které byly doposud považovány za externality zemědělského sektoru. Zahrnutím navržených postupů do systému oceňování prostřednictvím upravené BPEJ nabízí jednak zpřesnění výsledné hodnoty a současně i adekvátní změny v tomto systému, které umožní reflektovat i původně nezahrnuté vlastnosti.

Tab. VIII Odhad navýšení ceny BPEJ se započítáním retenční schopnosti dle scénářů

BPEJ	Kč/m ²	100 PP/5R	100PP/10R	100PP/20R	BPEJ	Kč/m ²	100 PP/5R	100PP/10R	100PP/20R
00100	16,77	17,05	17,34	17,90	01904	7,40	7,46	7,52	7,64
00110	14,94	15,19	15,44	15,95	01911	9,95	10,03	10,11	10,27
00112	12,88	13,10	13,32	13,75	01914	6,50	6,55	6,60	6,71
00300	18,10	18,41	18,72	19,34	01941	6,96	7,01	7,07	7,18
00401	7,32	7,36	7,41	7,49	01944	3,99	4,02	4,05	4,12
00411	6,44	6,48	6,52	6,59	01951	8,47	8,54	8,60	8,74
00501	9,18	9,26	9,34	9,50	01954	5,06	5,10	5,14	5,22
00511	7,50	7,57	7,63	7,76	02001	8,17	8,24	8,32	8,46
00600	12,79	13,04	13,28	13,78	02004	5,76	5,81	5,86	5,97
00602	11,38	11,60	11,82	12,26	02011	7,34	7,41	7,47	7,60
00610	11,73	11,96	12,18	12,64	02014	4,74	4,78	4,82	4,91
00612	9,68	9,87	10,05	10,43	02041	5,47	5,52	5,57	5,67
00640	8,90	9,07	9,24	9,59	02044	2,86	2,89	2,91	2,96
00650	9,83	10,02	10,21	10,59	02051	6,26	6,32	6,37	6,48
00700	14,10	14,38	14,66	15,21	02054	3,65	3,68	3,72	3,78
00710	12,55	12,80	13,05	13,54	02110	5,41	5,44	5,47	5,54
00740	9,46	9,65	9,83	10,21	02112	4,73	4,76	4,79	4,84
00750	10,37	10,57	10,78	11,19	02113	4,26	4,29	4,31	4,36
00800	13,59	13,86	14,14	14,68	02142	3,25	3,27	3,29	3,33
00810	11,80	12,04	12,27	12,75	02143	2,68	2,70	2,71	2,74
00840	8,42	8,59	8,76	9,10	02152	3,95	3,97	4,00	4,04
00850	10,08	10,28	10,49	10,89	02153	3,48	3,50	3,52	3,56
01811	8,61	8,68	8,75	8,89	02210	6,53	6,58	6,63	6,73
01901	10,92	11,01	11,10	11,27	02212	5,82	5,87	5,91	6,00

ZÁVĚR

Bodově lze naše závěry, které udávají jasný směr budoucímu vývoji bonitace půdy v České republice a podporují udržitelný přístup k ochraně a správě zemědělské půdy v rámci 21. století, shrnout následovně:

- **Potřeba aktualizace klimatických regionů:**

Klimatická rajonizace použitá v rámci systému BPEJ vychází ze zastaralých dat z období 1901–1950. Posuny klimatických parametrů, jako jsou změny srážkových a teplotních vzorců, vyžadují redefinici klimatických regionů na základě aktuálních měření. Za optimální řešení bylo zvoleno redefinovat KR dle potenciální vláhové bilance ve VO.

- **Zavedení nových kódů HPJ, resp. BPEJ:**

Výzkum ukázal potřebu zavedení nových kódů pro půdy erozní a antropogenní. Tyto kódy přesněji odrážejí současný stav půd a umožňují lépe analyzovat degradační procesy, což zefektivňuje plánování opatření proti erozi a degradaci půdy.

- **Moderní přístup k oceňování půdy:**

Byl vyvinut ekonometrický model pro flexibilní oceňování půd. Tento model umožňuje rychle reagovat na změny v parametrech kódů BPEJ a zajišťuje transparentnost při stanovení hodnoty nových kódů nebo při aktualizaci stávajících.

- **Integrace mimoprodukčních funkcí půdy:**

Systém BPEJ by měl zahrnout mimoprodukční funkce půdy, jako je retence vody, ochrana biodiverzity nebo sekvestrace uhlíku. Tento přístup zajistí přesnější ekonomické hodnocení půdy včetně environmentálních služeb, které poskytuje. Zohlednění těchto funkcí umožní adekvátně ocenit půdy s vysokou ekologickou hodnotou, i když mají nízký produkční potenciál.

- **Zahrnutí environmentálních přínosů do ceny půdy:**

Srovnání metod oceňování ukazuje, že zahrnutí environmentálních přínosů půdy může téměř zdvojnásobit její hodnotu. Tato skutečnost poukazuje na nutnost aplikace moderních oceňovacích metod pro lepší vyjádření skutečné hodnoty půdy, a to nejen pro daňové, ale i strategické účely.

- **Vliv na úřední cenu a daňový systém:**

Jakákoliv inovace systému BPEJ, zejména zahrnutí mimoprodukčních funkcí, bude mít ekonomické důsledky pro stanovení úřední ceny půdy. Tyto změny je nutné důkladně analyzovat před jejich zavedením, aby nedošlo k nečekaným dopadům na daňový systém nebo územní plánování.

- **Zpřesnění analýz degradace půdy:**

Nové skupiny půd a kódy BPEJ umožňují detailnější identifikaci degradačních procesů v krajině, což zlepšuje možnosti efektivního boje proti erozi. Tento postup posiluje ochranu půdy, zejména v oblastech ohrožených intenzivním zemědělstvím nebo změnou klimatu.

- **Podpora pro udržitelný rozvoj krajiny:**

Modernizovaný systém BPEJ podpoří lepší plánování krajinného rozvoje s důrazem na udržitelnost. Přesnější ocenění půd a jejich funkcí pomůže řešit problémy spojené se záborů půdy, degradace přírodních zdrojů a neefektivní využívání půdního fondu.

SHRNUTÍ

Monografie poskytuje komplexní přehled zásadních poznatků o bonitaci půdy, které byly výsledkem více než dvou dekád intenzivní výzkumné a aplikační činnosti autorského kolektivu. Skupina se dlouhodobě zaměřuje nejen na vědecké publikace s mezinárodním dosahem, ale i na praktické aplikace, strategické koncepce a legislativní návrhy, s cílem podpořit udržitelnou správu půdy a krajiny.

Východiskem je skutečnost, že v České republice je bonitace půd klíčovým nástrojem pro stanovení úřední ceny půdy, správu půdního fondu, plánování územního rozvoje. V prvopočátku byla bonitace podkladem pro plánování a řízení zemědělské velkovýroby. Od roku 1988 se výsledky bonitace zemědělských půd staly podkladem pro stanovení daně z pozemků a byly podkladem pro vytvoření jednotlivých produkčně ekonomických skupin. V důsledku globálních změn se mění celkový produkční potenciál půd, což klade nové výzvy před zemědělství a vyžaduje adaptivní opatření. A jelikož zásadním nástrojem pro vyjádření produkčního potenciálu zemědělských půd do dnešních dnů zůstává bonitace půdy, je zřejmé, že vyvstává celospolečenská a mezioborová potřeba inovace celého systému.

Jedním z klíčových témat inovace systému Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) je aktualizace klimatické regionalizace, která reaguje nejen na technické a technologické inovace v klimatologii, ale zejména vývoj klimatu a změny klimatických charakteristik od začátku 20. století. Analýza ukázala výrazné posuny ve vymezení klimatických regionů a změny klíčových ukazatelů, jako jsou teploty a srážky, které významně ovlivňují jejich klasifikaci.

V rámci aktualizace systému BPEJ byly doplněny nové kódy a klasifikace půd, jako například pro svahové půdy nebo nově identifikované půdy antropogenního původu (koluvizemě, antropozemě). Tato inovace reflektuje rostoucí podíl půd vznikajících vlivem lidské činnosti a zajišťuje přesnější popis jejich vlastností a produkčního potenciálu.

Na stránkách této knihy je též popsána aktualizace týkající se ekonomických aspektů bonitace, kdy byly vytvořeny odhady stínových cen mimoprodukčních funkcí půdy, což umožňuje lepší reflektování společenské hodnoty půdy i ve vztahu k příslušné legislativě. Systém BPEJ dlouhodobě slouží jako nástroj pro hodnocení produkční schopnosti půdy, avšak aktuální vývoj zdůrazňuje i potřebu integrace mimoprodukčních funkcí, jako je ochrana biodiverzity, zadržování vody, sekvestrace uhlíku a krajinná ekologie. Tato změna přístupu posouvá hodnotu půdy od čisté produkční dimenze k širším environmentálním a společenským aspektům.

Bonitace půdy tak nadále zůstává nejen praktickým, ale také strategickým nástrojem pro udržitelný rozvoj zemědělství a krajiny v České republice. Budoucí rozvoj systému BPEJ proto představuje výzvu, jak zachovat systém aktuální a odpovídající současným požadavkům na něj kladeným. Vysoce aktuálním tématem je v tomto smyslu zejména dopracování funkčního propojení dílčích kódů (hlavně KR a HPJ) a pro všechny jejich existující i v budoucnosti pravděpodobné kombinace (tedy všechny existující i nově vznikající kódy BPEJ) dopracovat jejich ekonomické ohodnocení. S ohledem na urgentní celospolečenskou poptávku po efektivním vyvážení produkční a mimoprodukční funkce půdy sehraává právě systém klíčovou roli nejen při podpoře udržitelného hospodaření s půdou, ale i v širším krajinném plánování, kde je zemědělský půdní fond nahlížen nejen jako zásadní přírodního bohatství umožňující zemědělskou prvovýrobu, ale i jako součást cenných ekosystémů, které jsou zásadní využití pro dlouhodobou ekologickou stabilitu krajiny, její udržitelnost a biodiverzitu.

SUMMARY

Extended Summary

The monograph provides a comprehensive overview of key findings on agricultural land evaluation, which are the result of more than two decades of intensive research and expert effort by the authorial team. The group has long focused not only on internationally impactful scientific publications but also on practical applications, strategic concepts, and legislative proposals aimed at promoting sustainable soil and landscape management.

Soil evaluation is a systematic process used to assess soil quality, providing insights into its properties and potential uses. In the Czech Republic, it plays a key role in determining land prices, managing soil resources, and planning land use. This involves collecting and analyzing data from climatology, pedology, and geography. Researchers have been studying this field for years, contributing through publications and practical guidelines, and even influencing legislative policies. Historically, soil evaluation in Czech lands dates back to the 19th century, with modern methodologies introduced after World War II. In the 1960s, a comprehensive soil survey was conducted in Czechoslovakia to support centralized agricultural planning. This process helped classify soils based on their characteristics, productivity, and suitability for different uses. The gathered data later contributed to the creation of a system of Estimated pedologic-ecological units (EPEU), each identified by a unique five-digit code that reflects various environmental and economic factors. EPEU units account for differences in climate (i.e. Climate region - CR occupying the first position of the code); soil properties and its fertility (i.e. Main pedological unit - MPU, occupying the second and third position), slope and its inclination (the fourth position) and soil profile dept and skeletal content (the fifth position), allowing for a standardized evaluation of agricultural potential.

This classification remains essential for land valuation and agricultural planning, ensuring that soil use aligns with natural conditions and economic feasibility. The development of this system was based on long-term climate data and soil research, forming the foundation for sustainable land management and environmental protection. The currently valid methodological tool for the practical delineation of EPEU is the methodological procedure Evaluation of the Agricultural Soil Fund of the Czech Republic, specifically the Methodology for Mapping and Updating Evaluated Pedological-Ecological Units (fifth revised and expanded edition), recommended for use by the State Land Office and authored by Vopravil *et al.* (2021) – known as EPEU Methodology 2021. In general, the methodology for defining EPEU is continuously updated in line with the latest scientific knowledge. Therefore, there is a real expectation that the findings summarized in this monograph will gradually be integrated into methodological guidelines and, subsequently, into relevant legislation, particularly Decree No. 227/2018 Coll., on the characteristics of evaluated pedological-ecological units and the procedures for their management and updating.

EPEU system is currently challenged by various causes. Global change is a complex phenomenon involving long-term shifts in climate, ecosystems, and the environment, largely driven by human activities such as greenhouse gas emissions. These changes significantly impact soil productivity, leading to higher temperatures, altered precipitation

patterns, and increased extreme weather events. This affects water availability, crop growth, and overall agricultural yields. To adapt, agriculture must implement changes in crop selection, water management, and soil conservation while integrating new research and innovations. Since soil evaluation remains a key tool for assessing agricultural land productivity, there is a growing need to modernize the system.

The system requires updates to climate data (currently based on 1901–1950 records) and soil classification (excluding anthropogenic soils and colluvial soils). Climate regionalization must be revised to reflect improved measurement technology, advanced climate models, and observed climate shifts. Comparing past (1901–1950) and present (1991–2020) climate data reveals significant temperature increases and changing precipitation trends, particularly in wetter regions. New MPUs - colluvial soils and anthropogenic soils, have been introduced into system to reflect their distinct properties. Previously misclassified, colluvial soils form from erosion deposits, while anthropogenic soils result from land reclamation. Their official recognition led to the 2024 amendment of Decree No. 227/2018 Coll., incorporating these categories into the evaluation system. The updates in climate and soil classification necessitate revising the economic valuation of agricultural land. Econometric models have been developed to estimate the impact of these changes on official land prices and the retention capacity of soils. These revisions aim to ensure the system remains scientifically accurate and practically applicable.

The EPEU system encodes extensive information about agricultural soils, including climate, soil characteristics, and site conditions, all linked to production potential. Initially designed to assess soil productivity, it now faces the challenge of incorporating non-productive functions, such as biodiversity conservation, water retention, carbon sequestration, and landscape ecology. This shift highlights the need to balance productivity with sustainability and ecological stability. Future development of EPEU must integrate these broader environmental values, ensuring agricultural land management supports long-term resilience and ecosystem health.

As for EPEU Legal Framework, their concept is defined by Decree No. 227/2018 Coll., which governs its classification and updates. It also plays a key role in tax assessments, land valuation (Decree No. 3/2008 Coll.), and determining fees for converting farmland to other uses. Additionally, it informs the designation of Areas with Natural Constraints (ANC) and is crucial in land-use planning and erosion risk assessment. Numerous laws reference EPEU, including regulations on land ownership (Act No. 229/1991 Coll.), agricultural land protection (Act No. 334/1992 Coll.), property valuation (Act No. 151/1997 Coll.), and real estate tax (Act No. 338/1992 Coll.). The system is also integrated into legislation governing land registry, public administration, and environmental conservation. Various government decrees further specify how EPEU is applied in land-use planning, environmental protection, and agricultural subsidies. With evolving agricultural and environmental priorities, EPEU's legal framework must adapt to ensure both productive and ecological functions of soil are adequately recognized and safeguarded.

Climate-related Attributes of Soil Evaluation

The productive potential and fertility of soil are fundamentally influenced by climatic conditions. Climate affects the physical, chemical, and biological properties of soil in complex ways. Temperature variations, including seasonal shifts, regulate organic matter decomposition, nutrient mineralization rates, and microbial activity. Precipitation levels and distribution influence soil moisture, determining the need for drainage or irrigation. Air humidity and temperature control evapotranspiration rates and contribute to the spread of plant pathogens. Extreme weather events, such as prolonged droughts, heavy rainfall, or heatwaves, significantly impact soil quality, leading to degradation, fertility loss, and alterations in soil properties.

Existing knowledge on climatic regionalization within the EPEU system, as summarized by Chuchma *et al.* (2017) and Štředová *et al.* (2021), highlights the urgent need for updating climatic regions (CR). The CR defined in Decree No. 227/2018 Coll. are based on climate data from 1901–1950. However, climate conditions have changed, measurement technologies have improved, and climate models have advanced, making the current classification outdated.

A key argument for updating CRs is provided in Tab. II, which compares climatic characteristic intervals from 1901–1950 with those from 1991–2020. The analysis shows a shift in temperature-related metrics (TS_{10} and T_{AVG}), particularly a rise in upper threshold values. Increased precipitation is especially noticeable in humid regions (CRs 7, 8, and 9). The table's right section presents the current climatic conditions corresponding to outdated values from Decree No. 227/2018 Coll.

Initially, a straightforward recalculation of CR using modern climate data was proposed. However, due to rising air temperatures and relatively stable precipitation levels, this approach proved impractical (see Fig. 3). Under the existing methodology, only about 17% of the territory from 1961–2010 could be classified, as intervals for individual climatic characteristics no longer overlap. As a result, a new methodological approach to defining CR was developed (Štředová *et al.*, 2021). The revised classification is based on Potential Water Balance During the Growing Season (PVBVO). Supplementary indicators, calculated based on area-weighted values, include average annual air temperature (T_{AVG}), Temperature sum above 10 °C (TS_{10}), and average annual precipitation total (SRA_p), ensuring compatibility with the original system. Since winter conditions are critical for crop overwintering, the evaluation also considers annual absolute minimum air temperatures (T_{min_abs}) (Tab. III).

The revised CR framework accounts for shifting climatic parameters by utilizing up-to-date climate data and advanced spatial interpolation methods. While the new classification maintains the traditional division into 10 CRs, their boundaries largely differ from the original ones, reflecting contemporary climatic realities. For practical application, new CRs were refined at the cadastral unit (c.u.) level to align with land use and soil evaluation updates. The refinement follows a two-step process: First step represents Assigning a CR based on predominant coverage in a c.u.: If a c.u. falls within a single CR, it is assigned to that CR; If a c.u. overlaps multiple CRs, it is assigned to the one covering over 60% of its area. Additional rules apply when more CRs are involved. Second step describes Determining CRs for complex c.us: For 788 c.us that could not be assigned via step 1, climate data were analyzed using PWB, T_{AVG} , and

SRA_i ; CRs were assigned by calculating the smallest deviation from regional averages; A weighted formula ($PWB \times 0.4 + T_{AVG} \times 0.3 + SRA_i \times 0.3$) determined the final CR for each c.u. The updated regionalization ensures relevance for future applications by considering climate trends, especially temperature and precipitation changes.

The calculation of potential water balance (PWB) for the updated climate regions (CRs) was based on daily potential evapotranspiration (pE) data from 1991–2020, derived using the AVISO agrometeorological model. The data were obtained from a 10×10 km grid covering 789 points across the Czech Republic, utilizing fully homogenized climate records from 1961 onward. The methodology applied the Penman-Monteith equation, modified for Czech conditions, to estimate potential evapotranspiration—the amount of water that could evaporate from soil and vegetation under optimal moisture conditions. This metric reflects atmospheric demand for moisture and is primarily influenced by temperature, humidity, and precipitation variability. Notably, potential evapotranspiration typically exceeds actual evapotranspiration, especially during warm months when soil moisture is limited. For regionalization, long-term averages of PWB (April–September) and other agroclimatic characteristics were calculated for each grid point using the ProClimDB software. The data were then spatially interpolated in ArcGIS using regression kriging, accounting for elevation, slope, and aspect. The resulting raster model (500×500 m resolution) was smoothed and refined into a 100×100 m classification, segmented into categories at 50 mm intervals (-250 mm to > 150 mm). The final polygon layer was adjusted to align with current EPEU boundaries. The updated climate regionalization findings are part of a certified methodology (Středová *et al.*, 2021) and require legislative integration, particularly in Decree No. 227/2018 Coll., for practical implementation.

Practical Application of New CR was introduced by two case studies on „Nitrate Directive“ and Rainfall erosivity factor (R-factor). Regulations on nitrogen fertilizer application in the Czech Republic (Government Regulation No. 262/2012 Sb.) align with climate regionalization under EPEU (Decree No. 227/2018 Sb.). Restricted periods for fertilizer use in vulnerable zones are determined by CRs, grouped into three clusters: CR 1-5, CR 6-7, and CR 8-9. With the updated CR based on 1991–2020 data, the spatial distribution of these clusters has shifted, reducing the presence of cooler, wetter regions in favor of warmer, drier ones (see Fig. 8).

Rainfall erosivity is determined by kinetic energy and intensity (Wischmeier & Smith, 1978). Soil loss correlates with total kinetic energy and peak 30-minute rainfall intensity. The annual R-Factor is calculated by averaging individual erosive rainfall events over time (unit: $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1} \cdot yr^{-1}$). Since 2012, a nationwide R-Factor value of 40 has been recommended, but refinements show increasing trends. The latest R-Factor map is available on the „Soil Erosion Calculator“, with future updates reflecting Soil Erosion Decree (No. 240/2021 Sb.). Fig. 9 compares R-Factor values for original and new CR.

Pedologically Related Attributes of Soil Evaluation

Soil quality influenced by geological, geomorphological, hydrological conditions, its ability to support plant growth and ecosystem functions, is primarily determined by pedological properties, which constitute a MPU as an integral part of EPEU. The EPEU system has evolved through expert fieldwork and mapping, incorporating new codes

for unexpected soil occurrences (e.g., on slopes $> 7^\circ$). The latest EPEU methodology (2021) includes two newly recognized soil groups: colluvial soils and anthropogenic soils. These reflect changes due to erosion and land reclamation, addressing gaps in previous classifications. A 2024 amendment to Decree No. 227/2018 Sb. formally introduced these groups: Colluvial Soils (MPU 79–81), formed by eroded sediment accumulation at slope bases and concave terrain features, previously classified as fluvial soils; Anthropogenic Soils (MPU 82–89) resulted from land reclamation, urbanization, and industrial activities, classified based on genetic traits, texture, and humus depth rather than reclamation methods. Future EPEU methodology updates will integrate these MPUs into practice.

Practical Application of new MPU or EPEU was introduced by two case study – on soil erosion and factor of soil erodibility (K factor) in particular on runoff modelling. The updated system improves soil erosion analysis, leading to better land degradation management. Using the USPED model, erosion and sedimentation zones were identified, while soil loss was calculated using the USLE equation in GIS. The impact of MPU changes, particularly the introduction of colluvial soils, was assessed through alterations in the K factor. For runoff modeling, the SCS unit hydrograph method was used, with CN curve values determining infiltration rates. Experiments at two contrasting sites, Agrio 1 and Agrio 2, illustrate the effects of MPU updates. In Agrio 1, soil loss increased by 14% due to the new classification, while in Agrio 2, soil loss decreased by 7% in lower slope areas. The updated MPU codes altered soil hydrological properties, affecting CN values and runoff characteristics. In Agrio 1, the flood wave volume increased by 10–26%, and peak discharge rose by up to 25%. In Agrio 2, the flood volume grew by 8–16%, with peak discharge rising up to 17%. Expanding the study to larger watersheds is needed for a comprehensive understanding of MPU's role in erosion and hydrology.

Economic Aspects of Soil Evaluation

Changes in the EPEU system require an analysis of economic impacts, particularly on official land prices and related legislation. The aim is to refine estimates of shadow prices for non-productive soil functions using econometric models, considering both production and environmental factors. Since 1990, adjustments to Decree No. 441/2013 Coll., for the Implementation of the Property Valuation Act (Valuation decree) have influenced EPEU pricing, with key updates in 1994, 1998, 2001, 2008, and 2014. The number of EPEUs increased from 1,818 in 1997 to 2,172 in 2013 due to improved mapping, soil degradation, hydromorphic changes, and land reforms. Between 1997 and 2023, the average price of EPEU rose from 3.37 to 4.93 CZK/m², with minimum and maximum prices also increasing. The highest prices are in CR 3 (7.32 CZK/m²), while CR 8 and 9 have the lowest (1.99 and 1.59 CZK/m²) due to unfavorable climatic conditions. Price trends indicate a steady increase across all CRs. Due to significant volatility in EPEU price adjustments during the analyzed period, the most notable increases and decreases are summarized as: between 2001 and 2008, price changes were mostly positive, with only two exceptions (53949 and 53939, dropping by 51% and 48%); between 2008 and 2013, prices increased uniformly by 14.7%, with only one exception (71502, unchanged at 6.23 CZK/m²). The price growth reflects inflation.

As new MPU and EPEU categories may emerge their pricing undergoes continuous updates. We explain how key input characteristics for each EPEU code was determined. To enable flexible pricing adjustments, an econometric model was developed using the hedonic method, which isolates the factors influencing EPEU prices. The first step involved collecting and structuring data based on EPEU variables, including CR, MPU, slope, exposure, soil depth, and skeletal content. A linear regression model with corrected heteroskedasticity was used to estimate shadow prices for these factors, in accordance with Decree No. 441/2013 Sb. This model utilized 2,172 EPEU codes listed in the decree, allowing for the valuation of 146 additional codes that currently lack pricing.

Soil's Productive and Non-Productive Functions

The production of food to ensure human nutrition is the main goal of agricultural production. However, climate change will make this task more difficult in the coming years, as agriculture is highly sensitive to climate shifts. Furthermore, the growing global population adds pressure on food production. Therefore, understanding the interaction between climate and agriculture is crucial, especially due to increased risks of droughts, rainfall variability, and rising temperatures. In recent years, the concept of ecosystem services has gained attention in scientific literature and media. Ecosystem services are the benefits humans derive from ecosystems, including water and food provision, flood regulation, and soil fertility. Economic valuation of ecosystem services is essential for maintaining natural capital. In the European Union, mapping and assessment of ecosystems and their services (MAES) is a key activity for biodiversity goals and policy development in areas such as water, climate, and agriculture. Methods for valuing non-market goods like ecosystem services have evolved, moving from traditional cost-based methods to contingent valuation and willingness-to-pay techniques, which are particularly useful for valuing public goods and environmental services. Ecosystem services play a role in determining land value, and excluding these services may result in undervaluing land and promoting disorganized urban growth. In light of climate change, the importance of water retention as an example of important ecosystem service in the landscape has risen. Our monograph thus explores the potential for valuing soil's water retention capacity in the Czech Republic. This involves a comprehensive analysis of soil properties across the country, specifically examining the amount of water soils can retain and gradually release for plant use. The applied method uses databases of MPU, physical, chemical, and morphological characteristics, field measurements, and early published research. Retention capacity is estimated using factors like porosity, humus content, particle size, pH, soil depth, and hydrological soil groups. Econometric models, based on regression equations, were used to estimate retention and production potentials. The model accounts for the soil's retention ability by analyzing its production capacity. Different pricing scenarios, considering soil retention's non-productive function, were tested, showing an increase in land prices. The results revealed that incorporating soil retention ability leads to price increases across various scenarios. The highest price increase was observed in fertile soils with a good retention capacity, while the lowest increases were in soils with low retention. The models confirmed that soil retention, particularly under changing climatic conditions, should be incorporated into land valuation to reflect its broader, non-productive value, offering more accurate economic assessments.

Conclusions

Our conclusions, which provide a clear direction for the future development of soil evaluation in the Czech Republic and support a sustainable approach to the protection and management of agricultural land in the 21st century, can be summarized as follows:

- The need to update climate regions:
The climatic zoning used within the EPEU system is based on outdated data from the period 1901–1950. Shifts in climatic parameters, such as changes in precipitation and temperature patterns, require a redefinition of climate regions based on current measurements. The optimal solution was chosen to redefine the climate regions according to the potential water balance within vegetation period.
- Introduction of new MPUs and EPEU codes:
Research has shown the need to introduce new codes for erosion-prone and anthropogenic soils. These codes more accurately reflect the current state of soils and enable better analysis of degradation processes, thereby improving the planning of measures against soil erosion and degradation.
- A modern approach to soil valuation:
An econometric model for flexible soil valuation has been developed. This model allows for a rapid response to changes in EPEU code parameters and ensures transparency in determining the value of new codes or updating existing ones.
- Integration of non-productive soil functions:
The EPEU system should incorporate non-productive soil functions such as water retention, biodiversity protection, or carbon sequestration. This approach ensures a more accurate economic evaluation of soils, including the environmental services they provide. Considering these functions will allow for an adequate valuation of soils with high ecological value, even if they have low productive potential.
- Inclusion of environmental benefits in land pricing:
A comparison of valuation methods shows that incorporating the environmental benefits of soil can nearly double its value. This finding highlights the necessity of applying modern valuation methods to better express the true value of soil, not only for tax purposes but also for strategic planning.
- Impact on official land prices and the tax system:
Any innovation in the EPEU system, particularly the inclusion of non-productive functions, will have economic implications for determining the official price of land. These changes must be thoroughly analyzed before implementation to avoid unexpected impacts on the tax system or spatial planning.
- Refinement of soil degradation analysis:
The introduction of new soil groups and EPEU codes allows for a more detailed identification of degradation processes in the landscape, improving the effectiveness of measures against erosion. This approach strengthens soil protection, particularly in areas threatened by intensive agriculture or climate change.
- Support for sustainable landscape development:
A modernized EPEU system will support better landscape development planning with an emphasis on sustainability. More precise soil valuation and assessment of their functions will help address issues related to land take, degradation of natural resources, and inefficient land use.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ALMANSA, C., CALATRAVA, J., MARTINEZ-PAZ, J. M. 2012. Extending the framework of the economic evaluation of erosion control actions in Mediterranean basins. *Land Use Policy*. 29(2), 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.06.013>
- ATKINSON, G., BATEMAN, I., MOURATO, S. 2012. Recent advances in the valuation of ecosystem services and biodiversity. *Oxford Review of Economic Policy*. 28(1), 22–47. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grs007>
- BAVEYE, P. C., BAVEYE, J., GOWDY, J. 2016. Soil “Ecosystem” Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*. 4, 41. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
- COSTANZA, R., DARGE, R., DEGROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K. *et al.* 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387(6630): 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- DAMAYANTI, I. *et al.* 2018. Extended benefit cost analysis as an instrument of economic valuated in Petungkriyono forest ecosystem services. *Journal of Physics Conference Series*. 1025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1025/1/012034>
- DENG, O., LI, Y.-Q., FENG, Z.-K. 2011. Retrieval of Soil Water Retention and Its Economic Valuation in Danjiangkou Reservoir and Upper Area. In: *EPLWW3S 2011: 2011 International Conference on Ecological Protection of Lakes-Wetlands-Watershed and Application of 3S Technology*. Vol 2. Edited by Luo, J. 193–98. Sham Shui Po: Int Industrial Electronic Center. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000391516000045>
- DENIZ, T., OK, K. 2016. Valuation analysis in erosion control activities. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. 66(1): 139–158. <https://doi.org/10.17099/jffiu.18338>
- GAMIL, G., SAMAK, M., SHAHBA, M. 2021. The Possible Impacts of Different Global Warming Levels on Major Crops in Egypt. *Atmosphere*. 12(12), 1589. <https://doi.org/10.3390/atmos12121589>
- JU, H., LIN, E.-D., WHEELER, T., CHALLINOR, A., JIANG, S. 2013. Climate Change Modelling and Its Roles to Chinese Crops Yield. *Journal of Integrative Agriculture*. 12(5), 892–902. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60307-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60307-X)
- CHUCHMA, F., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., ROŽNOVSKÝ, J., SVEJKOVSKÁ, A. 2017. *Aktualizace klimatických regionů v rámci systému bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 96 s. ISBN 978-80-7509-526-8
- ILIOPOULOS, V. G., DAMIGOS, D. 2024. Groundwater Ecosystem Services: Redefining and Operationalizing the Concept. *Resources-Basel*. 13(1): 13. <https://doi.org/10.3390/resources13010013>
- KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA, F. 2009. The long-term soil moisture reserve variability in the Czech Republic based on the AVISO model. In: *Sustainable Development and Bioclimate*. Stará Lesná, Slovakia. Bratislava: Slovak Academy of Sciences. 160–161.
- KRUCZKOWSKA, B., SOLON, J., WOLSKI, J. 2017. Mapping ecosystem services - a new regional-scale approach. *Geographia Polonica*. 90(4), 503–520. <https://doi.org/10.7163/GPol.0114>

- LIU, Y. 2020. The willingness to pay for ecosystem services on the Tibetan Plateau of China. *Geography and Sustainability*. 1(2), 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.06.001>
- MAES, J., LIQUETE, C., TELLER, A., ERHARD, M., PARACCHINI, M. L., BARREDO, J. I., GRIZZETTI, B. *et al.* 2016. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*. 17, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.023>
- MAŠÁT, K. *et al.* 1974. *Bonitace zemědělského půdního fondu ČSR. Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Praha: ČAZ – Ústav pro zemědělský průzkum půd. 144 s.
- MAŠÁT, K. *et al.* 2002. *Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Praha: VÚMOP. 113 s.
- NEINA, D. 2019. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019 (November): 5794869. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- ORLANDI, F., ROJO, J., PICORNELL, A., OTEROS, J., PEREZ-BADIA, R., FORNACIARI, M. 2020. Impact of Climate Change on Olive Crop Production in Italy. *Atmosphere*. 11(6): 595. <https://doi.org/10.3390/atmos11060595>
- PARIS, M., CONTE GRAND M., CIVIT, B., CORICA, L., MERCADO, M. V. 2023. Economic valuation of the CO2 emissions from land use change. *Economia Sociedad y Territorio*. 23(73): 901–929. <https://doi.org/10.22136/est20231883>
- PIRES, L. F. 2023. Changes in Soil Water Retention and Micromorphological Properties Induced by Wetting and Drying Cycles. *Soil Systems*. 7(2): 51. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020051>
- SALZMAN, J., GENEVIEVE, B., CARROLL, N., GOLDSTEIN, A., JENKINS, M. 2018. The global status and trends of Payments for Ecosystem Services. *Nature Sustainability*. 1: 136–144. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0033-0>
- SEPPELT, R., DORMANN C. F., EPPINK, F. V., LAUTENBACH, S., SCHMIDT, S. 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*. 48(3): 630–636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>
- SLABOCH, J., ČECHURA, L. 2020. Land Pricing Model: Price Re-evaluation Due to the Erosion and Climate Change Effects. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*. 12(4): 111–121. <https://doi.org/10.7160/aol.2020.120408>
- SLABOCH, J., MALÝ, M. 2023. Land Valuation Systems in Relation to Water Retention. *Agronomy*. 13(12): 2978. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122978>
- SLIZHE, M., SAFRANOV, T., BERLINSKY, N., EL HADRI, Y. 2023. Impact of climate change factor on the resource (providing) ecosystem services of the Lower Danube wetlands. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series Geology. Geography. Ecology*. 59, 307–319. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-23>
- SOUROKOU, R., VODOUHE, F. G., TOVIGNAN, S., YABI, J. A. 2023. Economic valuation of forest degradation through direct users' willingness to pay in Benin (West Africa). *Trees Forests and People*. 14, 100459. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100459>
- STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA, F., VOPRAVIL, J. 2021. *Metodika vymezení klimatických regionů v rámci systému bonitovaných půdně ekologických*

- jednotek*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. 19 s. ISBN 978-80-7509-810-8 (online). <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-810-8>
- ŠTĚPÁNEK, P., SKALÁK, P., FARDA, A. 2008. RCM ALADIN-Climate/CZ simulation of 2020–2050 climate over the Czech Republic. In: *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds). CD-ROM. ISBN 978-80-86690-55-1
- TESFAYE, K., GBEGBELEGBE, S., CAIRNS, J. E., SHIFERAW, B., PRASANNA, B. M., SONDER, K., BOOTE, K., MAKUMBI, D., ROBERTSON, R. 2015. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: Potential impacts on production and food security. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 7(3), 247–271. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2014-0005>
- TINCH, R., BEAUMON, N., SUNDERLAN, T., OZDEMIROGLU, E., BARTON, D., BOWE, C., BORGER, T. *et al.* 2019. Economic valuation of ecosystem goods and services: a review for decision makers. *Journal of Environmental Economics and Policy*. 8(4): 359–378. <https://doi.org/10.1080/21606544.2019.1623083>
- VOPRAVIL, J. *et al.* 2011. *Půda a její hodnocení v ČR*. Díl II. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 156 s. ISBN 978-80-87361-08-5
- VOPRAVIL J. *et al.* 2021. *Bonitace zemědělského půdního fondu ČR: Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Páté přepracované a doplněné vydání. Certifikovaná metodika. Praha: VÚMOP, v.v.i. ISBN 987-80-88323-56-3 (print), ISBN 978-80-88323-57-0 (online ; pdf)
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978. *Predictiong rainfall erosion losos: a guide to conservation planning*. The USDA Agricultural handbook. No. 537. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Science and Education Administration.
- ZHANG, Y., QIU, X., YIN, T., LIAO, Z., LIU, B., LIU, L. 2021. The Impact of Global Warming on the Winter Wheat Production of China. *Agronomy* 11(9), 1845. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091845>
- ZHU, P., BURNEY, J., CHANG, J., JIN, Z., MUELLER, N. D., XIN, Q., XU, J., YU, L., MAKOWSKI, D., CIAIS, P. 2022. Warming reduces global agricultural production by decreasing cropping frequency and yields. *Nature climate change*. 12, 1016–1023. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01492-5>

SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ, TABULEK

Seznam zkratk

ANC	oblasti s přírodními omezeními
BPEJ.....	bonitovaná půdně ekologická jednotka
DPB.....	díl půdního bloku
HPJ.....	hlavní půdní jednotka
IDW	interpolační metoda vážené inverzní vzdálenosti
k.ú.....	katastrální území
KoPÚ ...	komplexní pozemkové úpravy
KPP	komplexní průzkum půd
KR	klimatický region
LFA	oblasti méně příznivé pro zemědělství
pE.....	potenciální evapotranspirace
PVB.....	potenciální vláhové bilance
SRA _r	průměrný roční srážkový úhrn
T _{AVG}	průměrná roční teplota vzduchu
T _{min_abs}	průměr vypočtený z ročních absolutních minim teploty vzduchu
TS 10 ...	teplotní suma nad 10 °C
VO	vegetační období
ZOD	zranitelné oblasti (dusičnany)
ZPF	zemědělský půdní fond

Seznam obrázků

Obr. 1	Charakteristika kódu BPEJ.....	8
Obr. 2	Agrometeorologická stanice na polní pokusné stanici v Žabčicích (zdroj: fotoarchiv Mendelovy univerzity v Brně).....	14
Obr. 3	Aplikace metodiky vymezení KR pro původní období 1901–1950 (vlevo) a 1961–2010 (vpravo).....	16
Obr. 4	Mapa nových KR regionalizovaných na úroveň k.ú.	19
Obr. 5	Plošné srovnání nových KR (levý sloupec) a původních KR (pravý sloupec) v rámci území ČR.....	19
Obr. 6	Plošné srovnání jednotlivých nových KR a původních KR v rámci území ČR... ..	20
Obr. 7	Seskupení KR pro účely Nitrátové směrnice na základě původní klimatické rajonizace (vlevo) a nové klimatické rajonizace (vpravo)	23
Obr. 8	Srovnání plošného zastoupení původních a nových KR seskupených pro účely implementace Nitrátové směrnice.....	24
Obr. 9	Srovnání hodnot R faktoru pro původní a nové KR	24
Obr. 10	Detail prokořeněného půdního profilu (zdroj: fotoarchiv autorů).....	25
Obr. 11	Pohled na zemědělskou krajinu s významnou ekologickou hodnotou (zdroj: fotoarchiv autorů).....	30
Obr. 12	Vývoj průměrných cen BPEJ dle KR (Kč/m ²).....	32

List of Figures

Fig. 1	Characteristics of the EPEU code.....	8
Fig. 2	Agrometeorological station at the field experimental station in Žabčice (source: photo archive of Mendel University in Brno).....	14
Fig. 3	Application of the CR delineation methodology for the original period 1901–1950 (left) and 1961–2010 (right).....	16
Fig. 4	Map of new CR regionalized at the cadastral unit level.....	19
Fig. 5	Area comparison of new CR (left column) and original CR (right column) within the territory of the Czech Republic	19
Fig. 6	Area comparison of individual new CR and original CR within the territory of the Czech Republic.....	20
Fig. 7	Grouping of CR for the purposes of the Nitrate Directive based on the original climatic regionalization (left) and the new climatic regionalization (right)	23
Fig. 8	Comparison of the area representation of original and new CR grouped for the implementation of the Nitrate Directive	24
Fig. 9	Comparison of R factor values for original and new CR.....	24
Fig. 10	Detail of a rooted soil profile (source: authors' photo archive)	25
Fig. 11	View of an agricultural landscape with significant ecological value (source: authors' photo archive).....	30
Fig. 12	Development of average EPEU prices by CR (CZK/m ²)	32

Seznam tabulek

Tab. I	Diference hranic intervalů charakteristik definujících KR pro dvě referenční období (1901–1950 a 1991–2020)	11
Tab. II	Srovnání rozpětí hodnot klimatických charakteristik definujících KR pro původní období 1901–1950 (vlevo) a soudobé období 1991–2020 (vpravo) ..	15
Tab. III	Charakteristika nových KR dle Středová a kol., 2021 (data 1991–2020)	17
Tab. IV	Popisná statistika cen BPEJ dle vyhlášek.....	31
Tab. V	Detailní specifikace modelu.....	33
Tab. VI	Statistika ekonometrického modelu	34
Tab. VII	Odhad cen pro nové BPEJ (KR 0)	34
Tab. VIII	Odhad navýšení ceny BPEJ se započítáním retenční schopnosti dle scénářů	42

List of Tables

Tab. I	Differences in boundary intervals of characteristics defining CR for two reference periods (1901–1950 and 1991–2020).....	11
Tab. II	Comparison of the range of climatic characteristics defining CR for the original period 1901–1950 (left) and the contemporary period 1991–2020 (right).....	15
Tab. III	Characteristics of new CR according to Středová <i>et al.</i> , 2021 (data 1991–2020) ..	17
Tab. IV	Descriptive statistics of EPEU prices according to regulations	31
Tab. V	Detailed specification of the model.....	33
Tab. VI	Statistics of the econometric model.....	34
Tab. VII	Estimated prices for new EPEU (CR 0)	34
Tab. VIII	Estimated EPEU price increase considering retention capacity according to scenarios.....	42

Název: Bonitace půd pro 21. století

Autor: Hana Středová, Lukáš Čechura, Filip Chuchma, Tomáš Khel, Josef Slaboch,
Bronislava Spáčilová, Tomáš Středa, Jan Vopravil

Vydala: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Tisk: Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2024

ISBN 978-80-7701-017-7 (tisk)

ISBN 978-80-7701-018-4 (online ; pdf)

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-018-4>

