

VÝZKUMNÝ ÚSTAV LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A MYSLIVOSTI, V.V.I.

**Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku
v lesních půdách**

soubor map

Radim Vašát*

Kateřina Neudertová Hellebrandová, Vít Šrámek**, Luboš
Borůvka*, Milan Sážka***, Ondřej Sážka***, Oldřich Vacek*, Vít
Penížek*, *Jarmila Čechmánková******

***Česká zemědělská univerzita v Praze**

****Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i**

***** Masarykova univerzita**

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

Specializovaná mapa s odborným obsahem

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i

Strnady 136

252 02 Jíloviště

červen 2021



Obsah

1	ZDŮVODNĚNÍ POTŘEBY A CÍLE SPECIALIZOVANÉ MAPY.....	2
1.1	NÁZEV MAPY.....	2
1.2	POPIS NOVOSTI MAPY	2
1.3	INFORMACE O ROZSAHU VYUŽITÍ MAPY	2
1.4	INFORMACE O PŘÍNOSECH MAPY PRO UŽIVATELE.....	2
1.5	SEZNAM ODBORNÝCH PODKLADŮ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY VYPRACOVÁNÍ MAPY	3
1.6	DEDIKACE	3
1.7	OPONENTSKÉ POSUDKY	3
2	OBSAH MAPOVÉHO SOUBORU	3
3	METODIKA TVORBY MAP	4
4	CITOVANÁ LITERATURA	7
	PŘÍLOHY	8

1 Zdůvodnění potřeby a cíle specializované mapy

1.1 Název mapy

Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách

1.2 Popis novosti mapy

Do současné doby nebyla podobná mapa vytvořena. Informace o obsahu uhlíku v půdách obecně přinášejí například výsledky projektu CzechTerra (czechterra.cz), pro lesní půdy pak výsledky Národní inventarizace lesů. Projekt CzechTerra zpracoval výsledky z půdních odběrů do 30 cm pro 1599 bodů v síti 7x7 km pro povrchové půdní vrstvy. Zhruba třetina bodů charakterizuje lesní půdy. V rámci Národní inventarizace lesů (NIL2) byly prováděny chemické analýzy z 1533 půdních sond ze vzorků odebraných podle genetických horizontů.

Předkládaný mapový výstup využívá unikátní agregovanou databázi chemických analýz lesních půd, která v sobě zahrnuje data získaná v rámci NIL2, typologického průzkumu (obojí ÚHÚL), půdních průzkumů BioSoil a ICP Forests (obojí VÚLHM) a průzkumu půd a výživy lesů v oblastech postižených imisemi (ÚKZÚZ). Tato data nebyla doposud společně vyhodnocována. Nové je rovněž zpracování obsahu uhlíku ve třech vrstvách půdy (organický nadložní horizont, svrchní minerální půda, spodní minerální vrstvy) a použití matematických modelů pro tvorbu těchto map.

1.3 Informace o rozsahu využití mapy

Informace poskytnutá v mapách je široce využitelná pro státní správu (reporting bilance uhlíku v protokolu LULUCF v rámci Kjótského protokolu; využití v rámci Národního plánu adaptace ke změnám klimatu – opatření o 2_5.2; aplikace koncepce státní lesnické politiky – bod A.3). Dále je významné pro definování současného stavu a budoucí monitoring lesů a lesních půd, který by měl dokumentovat změny, ke kterým bude docházet v důsledku požadovaných změn druhové, věkové i prostorové skladby lesních porostů i vlivem probíhajících změn klimatu. Jako potenciálně významný považujeme tento výstup i pro vlastníky a správce lesních porostů, kterým v kombinaci s dalšími dokumenty umožní konkrétněji vnímat problematiku sekvestrace uhlíku v lesních ekosystémech a podporovat ji vhodnými hospodářskými opatřeními. Pokud se bude v budoucnu uvažovat o ocenění funkce ukládání uhlíku v lesích či případné motivaci vlastníků lesů k jejímu posílení, představují tyto mapy jeden ze zásadních podkladů pro taková opatření. Výstup je rovněž využitelný pro další vědeckou a vzdělávací činnost v rámci oborů lesnické pedologie a ekologie lesa.

1.4 Informace o přínosech mapy pro uživatele

U mapových výstupů nepředpokládáme přímé ekonomické využití ve smyslu tržního zhodnocení. Nicméně jak vyplývá z rozsahu jejich využití, nepřímé ekonomické efekty pro sektor lesního hospodářství i celou společnost mohou být značné.

Předpokládané přínosy mapy spočívají ve zpřístupnění informací pro vlastníky a správce lesních majetků i státní správu.

1.5 Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy

Mapa vznikla na základě zpracování výsledků chemických analýz lesních půd z databází Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i, Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů a Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského z let 2000 – 2019.

Zpracování mapy předcházely tyto odborné publikace:

- Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Čechmánková, J., Borůvka, L., Sáňka, M., Novotný, R., 2020: *Kontrola kvality dat v rozsáhlých databázích chemických vlastností lesních půd. Typ výsledku Nmet – certifikovaná metodika. Potvrzení o uznání výsledku je v Příloze 3*
- Borůvka, L., Vašát, R., Němeček, K., Novotný, R., Šrámek, V., Vacek, O., Pavlů, L., Fadrhonsová, V., Drábek, O., 2020: *Application of regression-kriging and sequential Gaussian simulation for the delineation of forest areas potentially suitable for liming in the Jizera Mountains region, Czech Republic. Geoderma Regional Q2, doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00286. Typ výsledku Jimp*

1.6 Dedikace

Mapové dílo bylo zpracováno v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QK1920163, „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“.

1.7 Oponentské posudky

Oponentský posudek oponenta z oboru zpracoval

Pracoviště:

Oponentský posudek pracovníka příslušného odborného orgánu státní správy zpracoval

Pracoviště:

2 Obsah mapového souboru

Soubor map obsahuje následné mapové listy:

1. Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (organický horizont)
2. Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (minerální horizont 0 – 30 cm)
3. Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (minerální horizont 30 – 80 cm)

3 Metodika tvorby map

Základem pro tvorbu map jsou výsledky chemických analýz lesních půd z databází Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů a Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského z let 2000 – 2019. Tato data byla v rámci projektu „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“ shromážděna do jednotné databáze, následně verifikována a přepočítána pro tři vrstvy půdy: organický horizont, minerální horizont 0 – 30 cm a minerální horizont 30 – 80 cm.

Zdroje doplňkových údajů

Pro tvorbu modelů pro prostorový odhad půdních vlastností byly získány doplňkové údaje pro všechny lokality v databázi. Údaje o reliéfu byly získány z digitálního výškového modelu ArcČR® 500 s rozlišením 200 metrů (ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ, 2016). Odvozené charakteristiky reliéfu byly vypočteny pomocí nástroje Terrain Analysis Toolbox v programu SAGA GIS 2.1.4 (Conrad et al., 2015).

Údaje o půdách (půdní typy a subtypy podle Taxonomického klasifikačního systému) byly získány z databáze půdního informačního systému PUGIS v měřítku 1:250.000 (Kozák et al., 1996).

Průměrné roční srážky a teploty byly získány z databáze WorldClim.org v rozlišení 1 km (Fick, Huijmans, 2017).

Údaje o využití půdy (land cover/land use), zejména druh lesa (v kategoriích listnatý, smíšený, jehličnatý) byly získány z databáze CORINE Land Cover 2018 (EEA, 2018) s rozlišením 250 m. Lesotypologické údaje (Viewegh et al., 2003, Viewegh, 2005) o stanovištích, zejména lesní vegetační stupně, soubory lesních typů a edafické kategorie, byly získány z mapy lesnické typologie v měřítku 1:10.000 (ÚHÚL, 2019).

Tvorba predikčních modelů

Při tvorbě map organického uhlíku byly společně uplatněny dva koncepčně rozdílné přístupy, a to techniky digitálního mapování půd založené na vztahu mezi cílovou (mapovanou) proměnnou a faktory prostředí, a geostatistické metody založené na prostorové závislosti (autokorelaci) sledované půdní proměnné. Pro kalibraci modelů digitálního mapování byly použity algoritmy strojového učení (machine learning), jmenovitě náhodné lesy (random forest – RF), metoda podpůrných vektorů (support vector machines - SVM) a multivariate adaptive regression splines (MARS). Jako vysvětlující proměnné vstupující do modelu byly použity charakteristiky terénu (nadmořská výška, sklon, orientace svahu, horizontální zakřivení, vertikální zakřivení, index konvergence, celková sběrná plocha, topografický vlhkostní index, LS faktor, úroveň údolnice, vzdálenost k údolnici, hloubka údolí a relativní poloha na svahu), údaje o klimatu (průměrné roční teploty a srážky), informace o půdním typu (sdružený půdní typ) a další stanovištní charakteristiky (druh porostu, edafické kategorie, smíšenost lesa).

Ověření úspěšnosti predikce

Přesnost předpovědi jednotlivých predikčních přístupů byla testována metodou křížové validace při rozdělení vstupních dat do 10 podsouborů (*10-fold cross-validation*) a byla vyjádřena pomocí ukazatelů úspěšnosti predikce, a to indexu determinace (R^2) vyjadřujícího podílo (příp. procento) vysvětlené variability závislé proměnné, odmocniny průměru čtverce chyby (*root mean square error* - RMSE) vyjadřující průměrnou chybu odhadu (čím menší, tím přesnější odhad), poměr výkonu k odchylce (*ratio of performance to deviation* – RPD) vyjadřující konzistenci mezi odhadnutými a měřenými hodnotami (čím vyšší hodnota, tím úspěšnější predikce), poměr výkonu k vzdálenosti mezi kvartily (*ratio of performance to interquartile distance* – RPIQ) kombinující chybu odhadu a vysvětlenou variabilitu (čím

vyšší hodnota, tím přesnější odhad) a systematickou odchylku (*BIAS*) predikovaných hodnot od měřených.

Konečná predikce je výsledkem tzv. společného (*ensemble*) učení, kdy se na finálním řešení podílejí různou měrou všechny použité metody – jedná se tedy o vážený průměr odhadů testovaných metod. Jednotlivé váhy těchto metod vstupujících do finálního modelu jsou potom nastaveny pomocí algoritmu tak, aby byla minimalizována chyba odhadu (RMSE).

Úspěšnost predikce jednotlivých přístupů je ilustrována tabulkou 1, kde jsou uvedeny ukazatele přesnosti a spolehlivosti predikce pro všechny použité metody jednotlivě a konečně také pro model společného učení, a dále obrázkem 1 ilustrujícím přesnost predikce graficky vynesemím predikovaných vs. změřených hodnot. Složení modelů společného učení s jednotlivými váhami je uvedeno v tabulce 2. Pokud se některá z metod ve složeném modelu neobjeví, její váha se rovná nule.

Mezi 6 nezávislých proměnných s nejvyšším vysvětlujícím potenciálem (hodnoceno pomocí metody RF), které se uplatnily při tvorbě map, patří:

- Nadmořská výška
- Edafické kategorie
- Průměrná roční teplota
- Průměrné roční srážky
- Sdružený půdní typ
- Úroveň úrodnosti

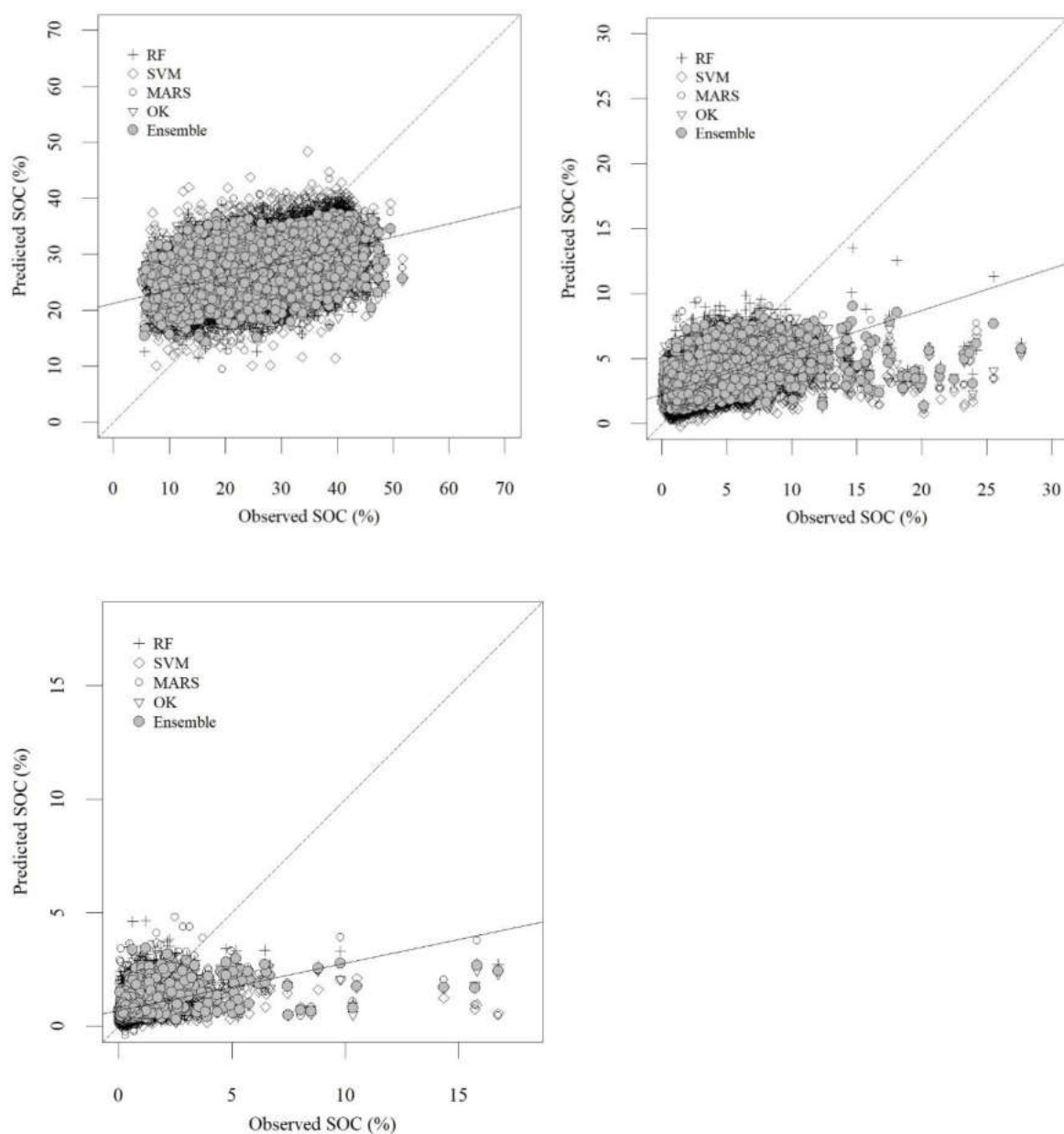
Tab. 1: Validace map obsahu organického uhlíku tučně je pro každou vrstvu vyznačen nejlepší výsledek)

Vrstva	Model	R^2_{cv}	RMSE _{cv}	RPD	RPIQ	BIAS
F+H	RF	0.21	7.66	1.12	1.75	0.08
	SVM	0.15	8.04	1.07	1.67	-0.81
	MARS	0.18	7.82	1.10	1.71	0.002
	OK	0.26	7.41	1.16	1.81	-0.017
	Ensemble	0.30	7.28	1.18	1.84	-0.03
0 – 30 cm	RF	0.33	2.07	1.22	1.38	-0.08
	SVM	0.27	2.19	1.15	1.30	0.35
	MARS	0.27	2.15	1.17	1.32	0.001
	OK	0.33	2.07	1.22	1.38	-0.001
	Ensemble	0.38	2.00	1.26	1.42	-0.04
30 – 80 cm	RF	0.22	1.09	1.13	0.59	-0.04
	SVM	0.19	1.14	1.08	0.57	0.21
	MARS	0.16	1.14	1.08	0.57	0.003
	OK	0.21	1.10	1.13	0.59	-0.002
	Ensemble	0.26	1.07	1.15	0.61	-0.02

RF – Random Forest; SVM – Support Vector Machines; MARS – Multivariate Adaptive Regression Splines; OK – Ordinary Kriging

Tab. 2: Složení finálních modelů společného učení (Ensemble models)

Vrstva	Ensemble model
Organic	0.25RF + 0.1SVM + 0.05MARS + 0.6OK
0 – 30 cm	0.5RF + 0.5OK
30 – 80 cm	0.5RF + 0.05MARS + 0.45OK



Obr. 1: Graf predikovaných hodnot vynesných oproti měřeným hodnotám pro vrstvy půdy: organický horizont (vlevo nahoře), 0–30 cm (vpravo nahoře) a 30–80 cm (vlevo dole). Optimální proložení korelačního pole je znázorněno přerušovanou čarou a aktuální průběh čarou plnou.

4 Citovaná literatura

ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ (2016): ArcČR 500 - digitální geografická databáze, version 3.3. www.arcdata.cz (cit. 23. 10. 2020).

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J.: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991–2007, <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>, 2015.

Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37 (12): 4302–4315.

Kozák, J., Němeček, J., Jetmar, M. (1996). The database of soil information system - PUGIS. Rostlinná Výroba 42: 529–534.

Viewegh J. (2005): Czech Forest (Site) Ecosystem Classification. Česká zemědělská univerzita v Praze, 170 p..

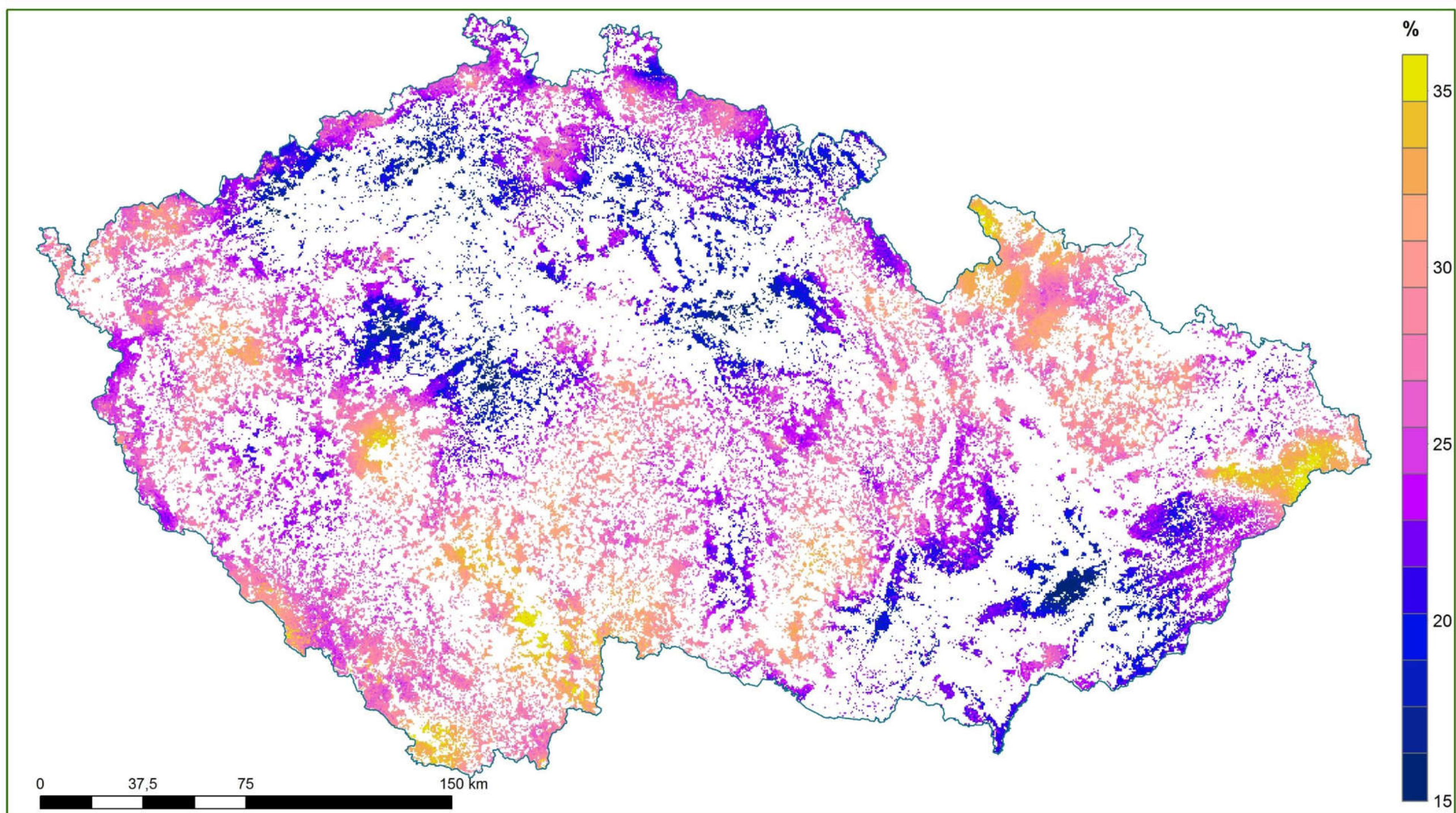
Viewegh J., Kusbach A., Mikeska M. (2003): Czech forest ecosystem classification. Journal of Forest Science 49: 85–93.

ÚHÚL (2019): Typologická mapa 2019. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Available from: <http://geoportal.uhul.cz/>

EEA (2019): CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. Accessed from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-accounting-layers> on 2020-10-23.

PŘÍLOHY

Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (organický horizont)



R. Vašát*, K. Neudertová Hellebrandová**, V. Šrámek**, L. Borůvka*, M. Sáhka****, O. Sáhka****, O. Vacek*, V. Penížek*, J. Čechmánková**

*Česká zemědělská univerzita v Praze

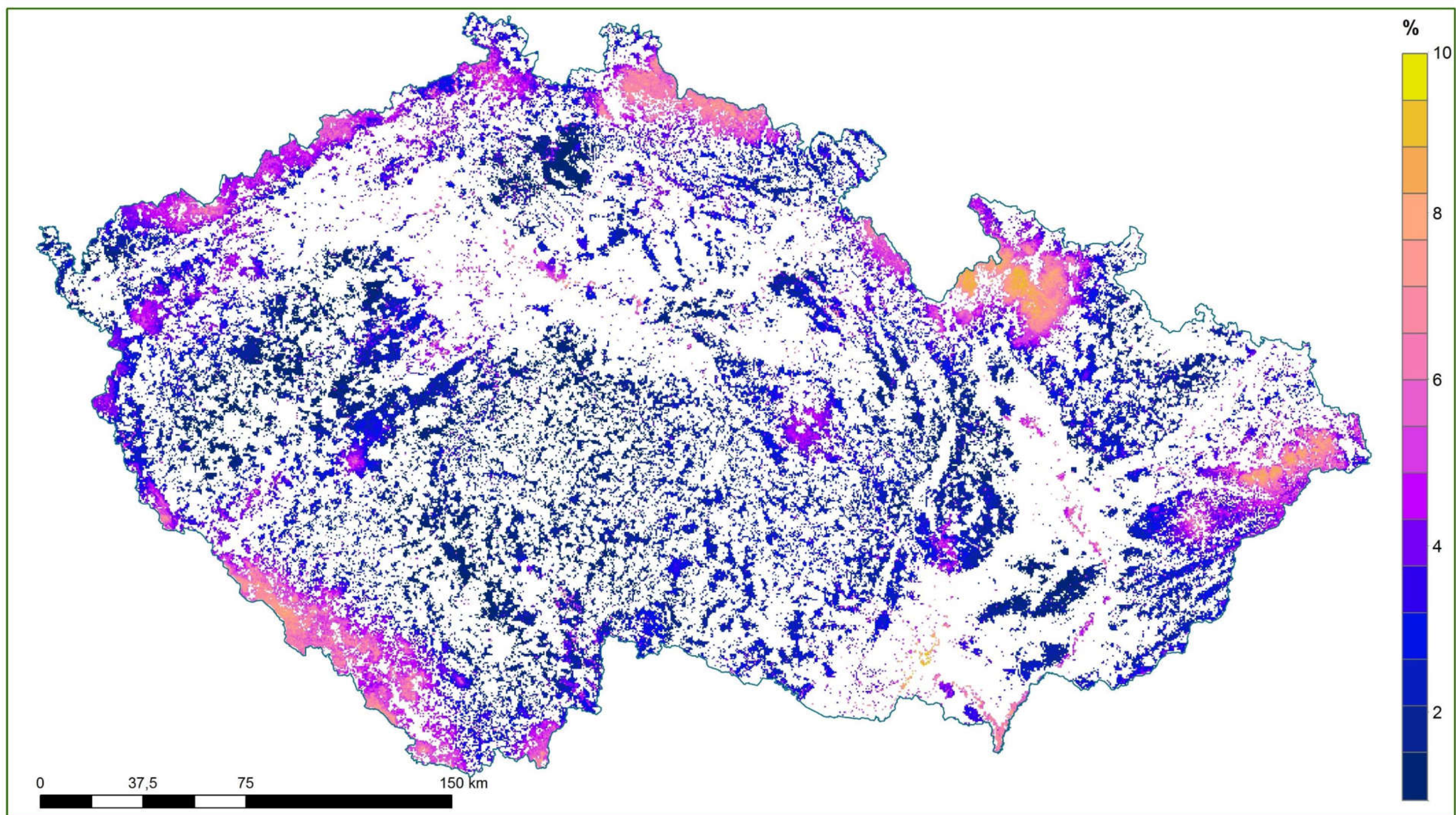
**Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.

***Masarykova univerzita

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

Mapové dílo bylo zpracováno v rámci projektu NAZV QK1920163, „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“.

Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (minerální horizont 0 - 30 cm)



R. Vašát*, K. Neudertová Hellebrandová**, V. Šrámek**, L. Borůvka*, M. Sáhka****, O. Sáhka****, O. Vacek*, V. Penížek*, J. Čechmánková**

*Česká zemědělská univerzita v Praze

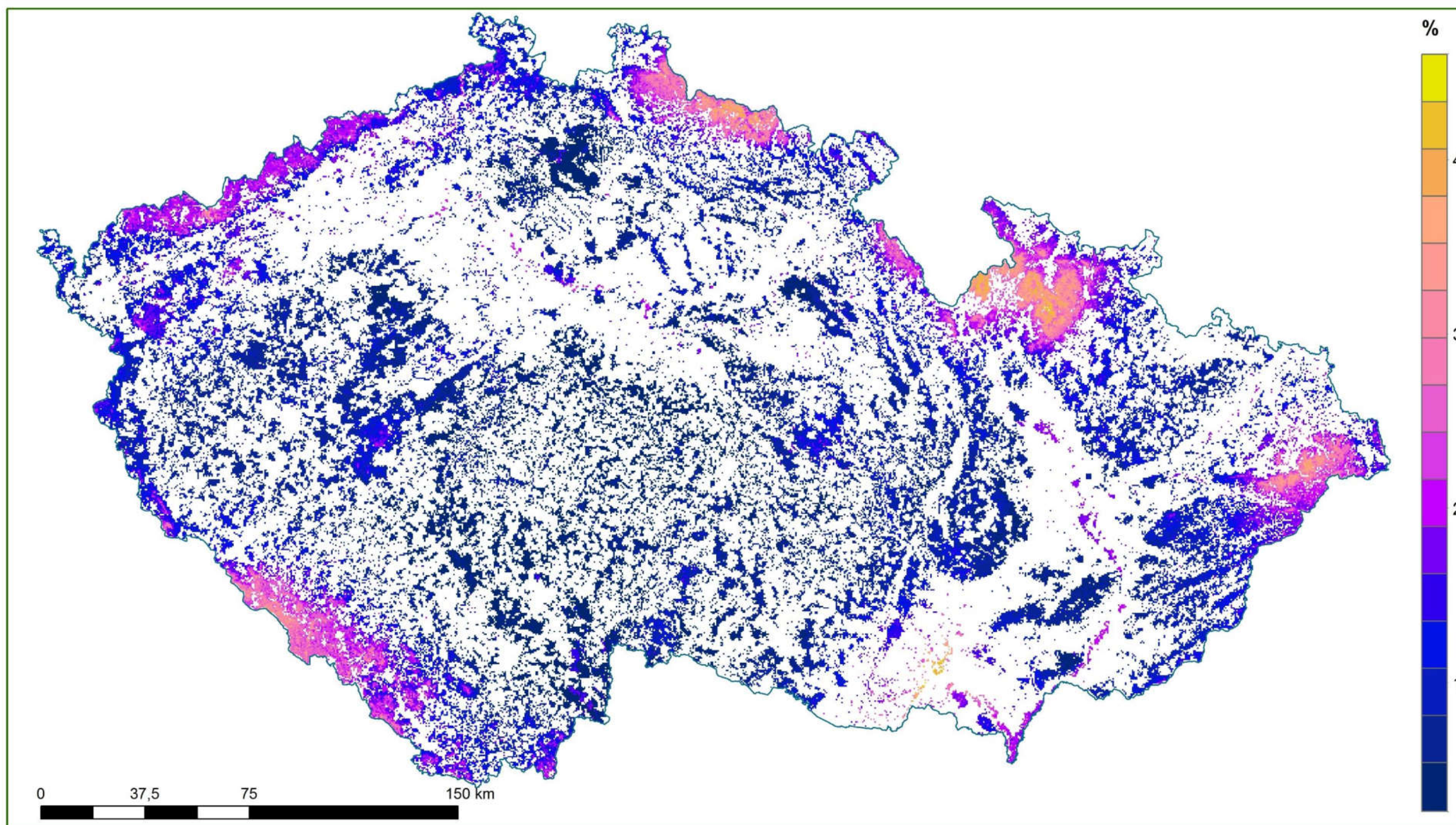
**Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.

***Masarykova univerzita

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

Mapové dílo bylo zpracováno v rámci projektu NAZV QK1920163, „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“.

Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách (minerální horizont 30 - 80 cm)



R. Vašát*, K. Neudertová Hellebrandová**, V. Šrámek**, L. Borůvka*, M. Sáhka****, O. Sáhka****, O. Vacek*, V. Penížek*, J. Čechmánková**

*Česká zemědělská univerzita v Praze

**Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.

***Masarykova univerzita

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

Mapové dílo bylo zpracováno v rámci projektu NAZV QK1920163, „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“.