

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

**Předpokládané změny sekvestrace uhlíku
v důsledku očekávané změny druhové skladby lesů**

**Mapy predikce vývoje zásob organického uhlíku v celém
profilu lesních půd pro roky 2030 a 2050**

Soubor map

Radim Vašát*

Luboš Borůvka*, Radek Novotný, Vít Šrámek**,
Karel Němeček*, Lenka Pavlů*, Věra Fadrhonsová**,
Kateřina Neudertová Hellebrandová**, Václav Tejnecký***

***Česká zemědělská univerzita v Praze**

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

Specializovaná mapa s odborným obsahem

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

Strnady 136

252 02 Jíloviště

2025



OBSAH

1	ZDŮVODNĚNÍ POTŘEBY A CÍLE SPECIALIZOVANÝCH MAP	2
1.1	NÁZEV MAPY	2
1.2	POPIS NOVOSTI MAP	2
1.3	INFORMACE O ROZSAHU VYUŽITÍ MAP	2
1.4	INFORMACE O PŘÍNOSECH MAP PRO UŽIVATELE	3
1.5	SEZNAM ODBORNÝCH PODKLADŮ PŘEDCHÁZejících TVORBU MAP	3
1.6	DEDIKACE	4
2	OPONENTSKÉ POSUDKY	4
3	OBSAH MAPOVÉHO SOUBORU	4
4	METODIKA TVORBY MAP	5
4.1	ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	5
4.2	FAKTORY, KTERÉ MOHOU OVLIVNIT BUDOUCÍ ZÁSOBU ORGANICKÉHO UHLÍKU (C)	6
4.3	VLASTNÍ TVORBA MAP PREDIKCE VÝVOJE ZÁSOB ORGANICKÉHO UHLÍKU V LESNÍCH PŮDÁCH	8
5	VÝSLEDKY - PREDIKCE BUDOUCÍHO ROZLOŽENÍ ZÁSOBY ORGANICKÉHO UHLÍKU	10
5.1	ROK 2030	10
5.2	ROK 2050	10
5.3	INTERPRETACE MAP ODHADU VÝVOJE ZÁSOB UHLÍKU V CELÉM PROFILU LESNÍCH PŮD ČR	10
6	POUŽITÁ LITERATURA	10
	PŘÍLOHY	12



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



Česká zemědělská
univerzita v Praze

1 Zdůvodnění potřeby a cíle specializovaných map

1.1 Název mapy

Mapy predikce možného vývoje zásob organického uhlíku v celém profilu lesních půd České republiky pro roky 2030 a 2050. Osvědčení MZE-3798/2025-16222/MAPA718 a osvědčení UKZUZ 015924/2025.

1.2 Popis novosti map

Tyto mapy představují výsledek výzkumu, jaký nebyl doposud v podmínkách České republiky realizován. Mapy predikce vývoje zásob vycházejí z map zásob uhlíku v celém půdním profilu lesních půd (Vašát a kol., 2021), pro jejichž tvorbu byla využita unikátní agregovaná databáze vlastností lesních půd, která v sobě zahrnuje data získaná v rámci Národní inventarizace lesů (NIL2), typologického průzkumu (obojí ÚHÚL), půdních průzkumů BioSoil a ICP Forest (obojí VÚLHM) a průzkumu půd a výživy lesů v oblastech postižených imisemi (ÚKZÚZ) (Neudertová Hellebrandová a kol., 2024). Predikce je vypočtena podle očekávané změny druhového složení porostů a na základě dvou scénářů vývoje dopadu lidské činnosti na změnu klimatu, optimistického a pesimistického. Jsou tak ukázány dvě krajní možnosti, mezi kterými by měl skutečný vývoj s velkou pravděpodobností probíhat.

1.3 Informace o rozsahu využití map

Informace poskytnutá v mapách je široce využitelná pro státní správu (reporting bilance uhlíku v protokolu LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*) v rámci Kjótského protokolu; využití v rámci Národního akčního plánu adaptace ke změnám klimatu – opatření o 2_5.2; aplikace Koncepce státní lesnické politiky – bod A.3). Dále je významná pro definování současného a odhad budoucího stavu lesních půd a pro možnosti kvantifikace změn, 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 zásoby živin i uhlíku v horizontech nadložního humusu, které mohou být nejsnáze ovlivněny volbou postupů hospodaření v lesích. Výstup je rovněž využitelný pro další vědeckou a vzdělávací činnost v rámci oborů lesnické pedologie a ekologie lesa.

1.4 Informace o přínosech map 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.

1.5 Seznam odborných podkladů předcházejících tvorbu map

Základem pro vznik map odhadu zásob uhlíku v celém profilu lesních půd byla data 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.

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* 21: e00286. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00286>. Typ výsledku Jimp

Vašát, R., Neudertová Hellebrandová, K., Šrámek, V., Borůvka, L., Sáňka, M., Sáňka, O., Vacek, O., Penížek, V., Čechmánková, J., 2021: Mapa procentuálního obsahu organického uhlíku v lesních půdách. Typ výsledku Nmap – specializovaná mapa s odborným obsahem

Borůvka, L., Vašát, R., Šrámek, V., Neudertová Hellebrandová, K., Fadrhonsová, V., Sáňka, M., Pavlů, L., Sáňka, O., Vacek, O., Němeček, K., Nozari, S., Oppong-Sarkodie, V.Y., 2022: Predictors for digital mapping of forest soil organic carbon stock in different types of landscapes. *Soil and Water Research* 17 (2): 69-79. <https://doi.org/10.17221/4/2022-SWR>. Typ výsledku Jimp

Vašát, R., Komprdová, K., Neudertová Hellebrandová, K., Šrámek, V., Borůvka, L., Sáňka, O., Fadrhonsová, V., Čechmánková, J., 2021: Zásoby prvků v nadložním organickém horizontu lesních půd a zásoby uhlíku v celém půdním profilu – soubor map. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Strnady, Jíloviště.

Oppong Sarkodie, V.Y., Vašát, R., Pouladi, N., Šrámek, V., Sáňka, M., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Borůvka, L., 2023: Predicting soil organic carbon stocks in different layers of forest soils in the Czech Republic. *Geoderma Regional* 34: e00658. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00658>.

Typ výsledku Jimp

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Cienciala, E., Borůvka, L. (2024): Zásoby uhlíku v lesních půdách a lesní hospodářství – Review. *Zprávy Lesnického Výzkumu* 69(1): 22-36. <https://doi.org/10.59269/ZLV/2024/1/716>. Typ výsledku Jimp

Oppong Sarkodie, V.Y., Vašát, R., Němeček, K., Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Borůvka, L., Pavlů, L. (2024): Spatial distribution of forest soil base elements (Ca, Mg and K): a regression kriging prediction for Czechia. *Forests* 15: 1123. <https://doi.org/10.3390/f15071123>. Typ výsledku Jimp

1.6 Dedikace

Mapové dílo bylo zpracováno v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QK22020217 „Změny v lesních půdách po kalamitní těžbě – vliv odlesnění na sekvestraci uhlíku, bilanci živin a mobilitu rizikových prvků“ a projektu Technologické agentury České republiky č. SS06010148 „Kvantifikace zásob uhlíku v lesních půdách ČR a možnost jejího ovlivnění lesnickým managementem“.

2 Oponentské posudky

Oponentský posudek oponenta z oboru zpracoval prof. Ing. Jiří Remeš

Pracoviště: Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze

Oponentský posudek pracovníka odborného orgánu státní správy zpracoval Ing. Dušan Reininger, Ph.D.

Pracoviště: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

3 Obsah mapového souboru

Soubor map obsahuje následné mapové listy:

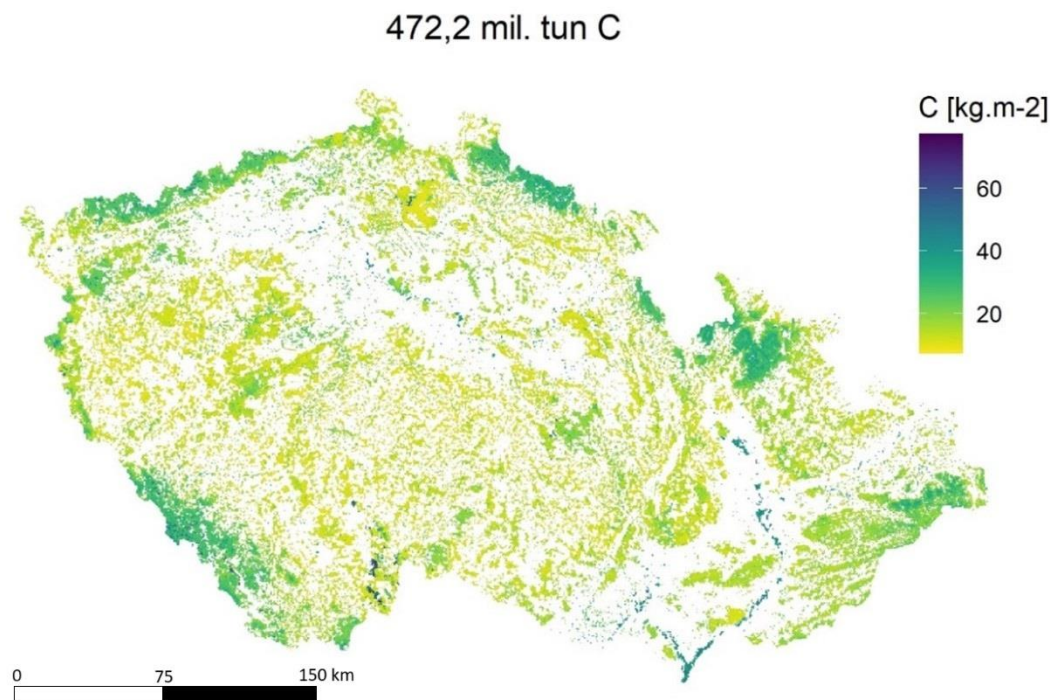
1. Odhad celkových zásob C v lesních půdách ČR v roce 2030 pro klimatický scénář SSP1-2.6
2. Odhad změny v celkových zásobách C v lesních půdách ČR v roce 2030 pro klimatický scénář SSP1-2.6
3. Odhad celkových zásob C v lesních půdách ČR v roce 2030 pro klimatický scénář SSP5-8.5
4. Odhad změny v celkových zásobách C v lesních půdách ČR v roce 2030 pro klimatický scénář SSP1-2.6

5. Odhad celkových zásob C v lesních půdách ČR v roce 2050 pro klimatický scénář SSP1-2.6
6. Odhad změny v celkových zásobách C v lesních půdách ČR v roce 2050 pro klimatický scénář SSP1-2.6
7. Odhad celkových zásob C v lesních půdách ČR v roce 2050 pro klimatický scénář SSP5-8.5
8. Odhad změny v celkových zásobách C v lesních půdách ČR v roce 2030 pro klimatický scénář SSP1-2.6

4 Metodika tvorby map

4.1 Zhodnocení současného stavu

Základem pro tvorbu map vývoje zásob organického uhlíku byl soubor map zásob prvků v nadložním organickém horizontu lesních půd a zásoby uhlíku v celém půdním profilu (Vašát a kol., 2021), které byly upraveny se zohledněním obsahu skeletu podle agregované databáze půdních vlastností (Neudertová Hellebrandová a kol., 2024). Vzhledem k tomu, že stále u velké části sond údaje o skeletovitosti chybí, byl zvolen postup, kdy byla nejprve s využitím sond, kde je obsah skeletu uveden, pomocných charakteristik a prostorových predikčních modelů vytvořena mapa obsahu skeletu v půdách pro celé území ČR. Následně byly tyto odhadované obsahy skeletu použity pro úpravu mapy zásoby půdního organického uhlíku v organickém a minerálních horizontech (0 – 30 cm a 30 – 80 cm) lesních půd. Na základě těchto map byla vytvořena nová souhrnná mapa zásob uhlíku v celých půdních profilech v rozlišení 500 m (Obr. 1), která posloužila jako výchozí stav pro odhady do budoucna.



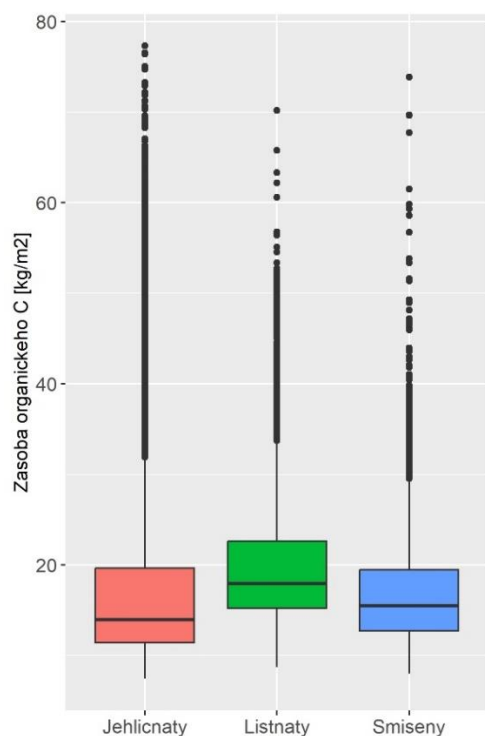
Obr. 1. Současná zásoba uhlíku v lesních půdách ČR.

4.2 Faktory, které mohou ovlivnit budoucí zásobu organického uhlíku (C)

Do předpovědi vývoje zásob uhlíku vstupují dva faktory, u kterých lze do budoucna očekávat změnu, a to změna druhového složení lesních porostů a měnící se klima. U dalších faktorů, které mají vliv na zásobu C v lesních půdách, jako je např. hloubka půdy, půdní typ, obsah jílu, topografická poloha, atd., se do blízké budoucnosti se změnou nepočítá a proto nebyly do predikce budoucího stavu zahrnuty.

4.2.1 Druh porostu

Při změně jehličnatého porostu na druhově bohatší smíšený či listnatý les lze očekávat zvýšení zásoby organického uhlíku, jak je dokumentováno na obrázku 2. Největší celková zásoba organického uhlíku se nachází pod listnatými porosty, následována smíšenými lesy, a nejméně organického uhlíku se nachází pod lesy jehličnatými (Zdroj dat: Borůvka a kol., 2022). Odhadované změny druhu porostu vycházejí ze současných a očekávaných trendů změny porostů. Plochy pro změnu typu porostu byly rozmístěny v jehličnatých hospodářských lesích náhodně, aby odpovídali nahodilé těžbě, která se v posledních letech stala dominantní formou těžby lesa.



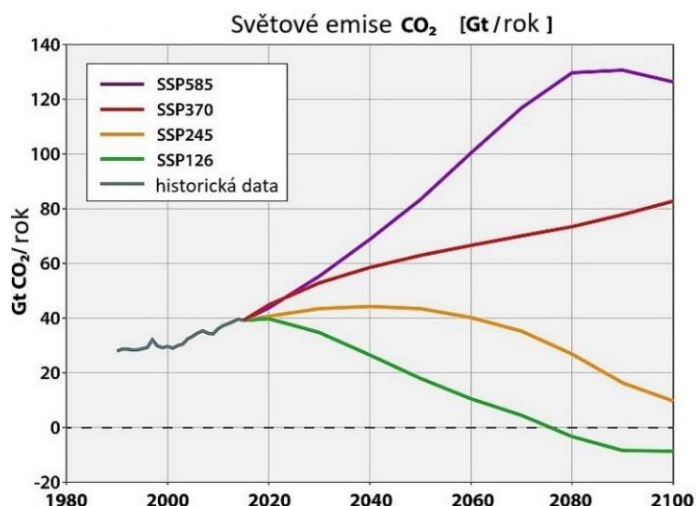
Obr. 2. Celková zásoba organického uhlíku podle typu lesního porostu v lesních půdách ČR.

4.2.2 Změna klimatu

Použité klimatické scénáře vycházejí z projektu Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6) z programu World Climate Research Programme (WCRP) (<https://wcrp-cmip.org/cmip6/>). Do předpovědi byly zahrnuty dva SSP (*Shared Socioeconomic Pathways*) scénáře, a to scénář SSP1-2.6 a SSP5-8.5 představující dva protipóly v odhadovaném dopadu lidské činnosti na změnu klimatu. Scénář SSP1-2.6, tzv. udržitelná a „zelená“ cesta, popisuje stále udržitelnější svět s minimálními dopady lidské činnosti na změnu klimatu. Spotřeba je zde orientována na minimální využívání přírodních zdrojů a energií. Naproti tomu scénář SSP5-8.5 popisuje svět poháněný spalováním fosilních paliv. Sociální a ekonomický rozvoj je zde založen na intenzivním využívání fosilních paliv s vysokým procentem uhlí a energeticky náročným životním stylem po celém světě. Odhadované emise CO₂ pro klimatické scénáře SSP1-2.6 a SSP5-8.5 jsou znázorněny na obrázku 3.

Očekávaná změna v celkových zásobách organického C v lesních půdách se změnou klimatu se potom odvíjí od zjištěné závislosti celkových zásob na teplotě. Na obrázku 4 je tato závislost ilustrována na příkladu průměrných teplot 3. měsíce pro listnaté (a), jehličnaté (b) a smíšené porosty (c) na základě map zásob

prvků v lesních půdách (Vašát a kol., 2021). Informace o typu lesního porostu (jehličnatý, smíšený a listnatý) byla získána z databáze Corine Land Cover 2018 Czech Republic (CLC18_CZ). Zatímco u listnatých porostů dochází v průměru k mírnému nárůstu celkových zásob organického C se zvyšující se teplotou, u jehličnatých a smíšených porostů je tento trend opačný a dochází zde naopak k poklesu zásob se vzrůstající teplotou. Pro korekci mapy zásob uhlíku se změnou klimatu posloužil lineární model závislosti zásob uhlíku na teplotě.



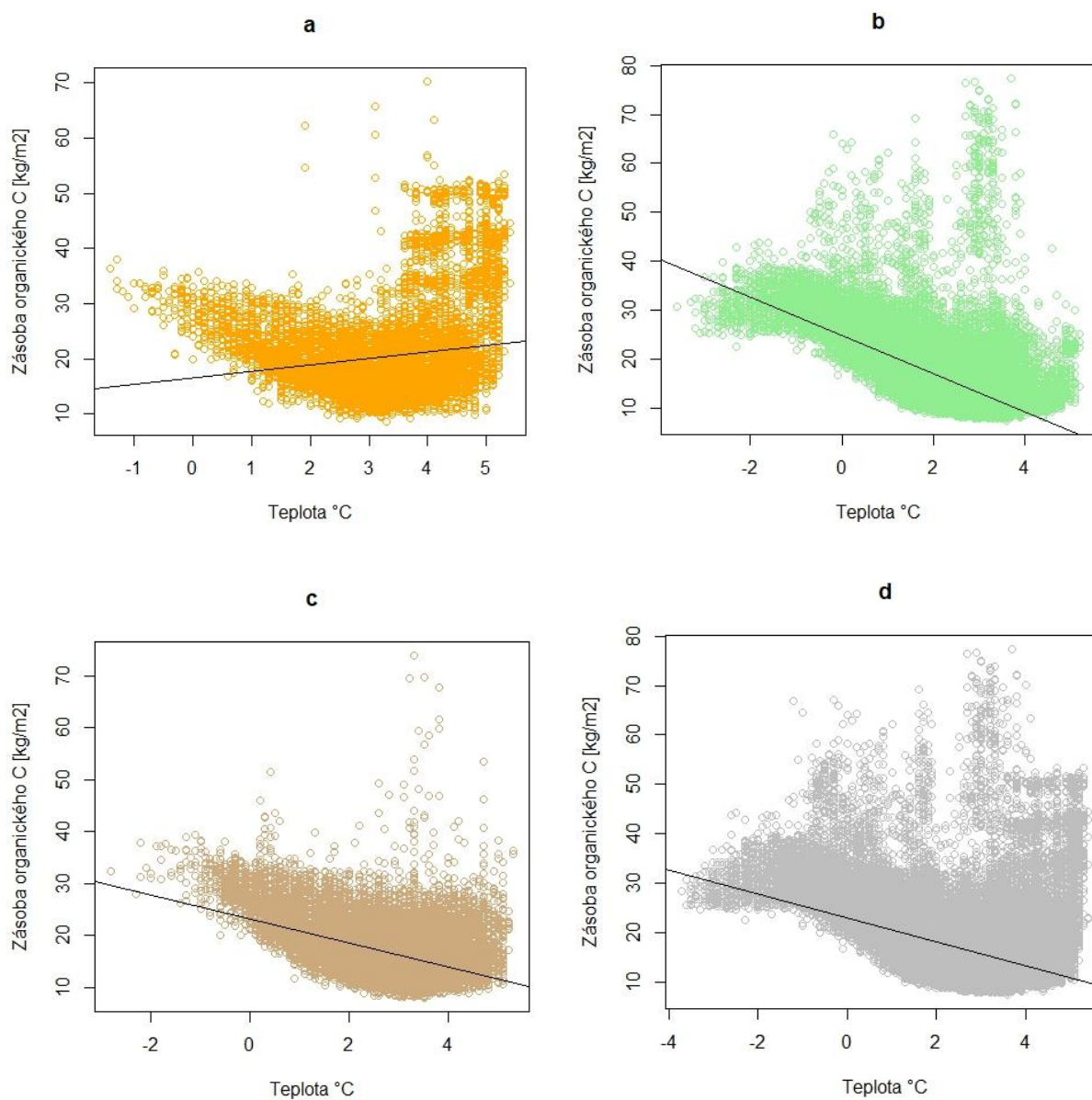
Obr. 3. Odhadovaný vývoj světových emisí pro různé scénáře socio-ekonomického rozvoje. Zdroj: SSP Public Database (<https://wcrp-cmip.org/cmip6/>).

4.3 Vlastní tvorba map predikce vývoje zásob organického uhlíku v lesních půdách

Pro tvorbu map predikce zásob organického uhlíku pro roky 2030 a 2050 byly použity stejné modely, jaké byly použity a ověřeny při tvorbě map zásoby organického uhlíku v profilech lesních půd v současnosti (Vašát a kol., 2021). Lze předpokládat, že vliv druhu porostu a klimatických faktorů na tvorbu zásoby půdního organického uhlíku bude stejný. Spolehlivost těchto modelů pro predikci budoucího stavu ale nelze ověřit, protože neexistují skutečné údaje pro tato období.

Do uvedených modelů byly tedy změněny vstupní údaje, tj. druhové složení porostů a teploty podle jednotlivých scénářů. Pro rok 2030 se počítá s nárůstem průměrné roční teploty o 0,05 °C (scénář SSP1-2.6) a o 0,25 °C (scénář SSP5-8.5), a dále s přeměnou 7 % jehličnatých porostů na porosty smíšené (5 %) a listnaté (2 %). Pro rok 2050 se počítá s nárůstem průměrné roční teploty o 0,2 °C (scénář SSP1-2.6) a o 0,6

°C (scénář SSP5-8.5), a dále s přeměnou 15 % rozlohy jehličnatých porostů na porosty smíšené (10 %) a listnaté (5 %).



Obr. 4. Závislost zásoby organického C ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) v lesních půdách na průměrné teplotě v březnu podle druhu porostu (a – listnatý, b – jehličnatý, c – smíšený, d – všechny lesní porosty).

5 Výsledky - predikce budoucího rozložení zásoby organického uhlíku

5.1 Rok 2030

Pro rok 2030 jsou celkové zásoby odhadovány na 469,2 (scénář SSP1-2.6) a 463,1 (scénář SSP5-8.5) mil. tun C, přičemž rozdíly oproti současnému stavu činí -3,1 (SSP1-2.6), resp. -9,2 (SSP5-8.5) mil. tun C (související mapy viz. Přílohy).

5.2 Rok 2050

Pro rok 2050 jsou celkové zásoby odhadovány na 456,2 (scénář SSP1-2.6) a 438,4 (scénář SSP5-8.5) mil. tun C (Obr. 9 a 11), přičemž rozdíly oproti současnému stavu činí -16,1 (SSP1-2.6), resp. -33,8 (SSP5-8.5) mil. tun C (související mapy viz. Přílohy).

5.3 Interpretace map odhadu vývoje zásob uhlíku v celém profilu lesních půd ČR

Ve všech případech odhadu budoucích změn zásob uhlíku v lesních půdách byl zaznamenán jeho pokles, přičemž nejvýraznější úbytek byl predikován pro rok 2050 a klimatický scénář SSP5-8.5. I když by změna druhového složení lesních porostů měla mít teoreticky za následek zvýšení zásob uhlíku v lesních půdách, změna klimatu se zde ukazuje jako významnější faktor, který má za následek eliminaci těchto pozitivních změn a celkově se podílí na souhrnném snížení zásob uhlíku v lesních půdách ČR. K mírnému nárůstu v zásobách uhlíku by mohlo docházet v lesních půdách nižších poloh a ojediněle také ve vyšších polohách Krušných hor a Šumavy. Naopak k výraznějšímu úbytku v zásobách uhlíku by mohlo docházet ve středních (Českomoravská vrchovina) a vyšších polohách po celé ČR. Důvodem je vyšší procento zastoupení listnatých porostů v nižších polohách, u kterých by se zvyšující se teplotou mělo docházet ke zvyšování zásob uhlíku, a naopak vyšší procento jehličnatých porostů ve středních a vyšších polohách v kombinaci s vyššími teplotami vedoucími k rychlejšímu rozkladu organické hmoty v půdě by mohlo vést ke snižování zásob uhlíku v lesních půdách.

6 Použitá literatura

Borůvka, L., Vašát, R., Šrámek, V., Neudertová Hellebrandová, K., Fadrhonsová, V., Sáníka, M., Pavlů, L., Sáníka, O., Vacek, O., Němeček, K., Nozari, S., Oppong-Sarkodie, V.Y. (2022). Predictors for digital mapping of forest soil organic carbon stock in different types of landscapes. *Soil and Water Research* 17 (2): 69-79.

Neudertová Hellebrandová, K., Fadrhonsová, V., Šrámek, V. (2024). Aggregated database of forest soil chemical properties in the Czech Republic based on surveys from 2000 to 2020. *Annals of Forest Science* 81: 17.

Vašát, R., Komprdová, K., Neudertová Hellebrandová, K., Šrámek, V., Borůvka, L., Sáňka, O., Fadrhonsová, V., Čechmánková, J. (2021). Zásoby prvků v nadložním organickém horizontu lesních půd a zásoby uhlíku v celém půdním profilu – soubor map. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i, Strnady, Jíloviště.

PŘÍLOHY

