

Program TransAdapt

Translace poznatků a transfer postupů pro adaptaci
na klimatickou změnu do zemědělské a lesnické praxe
a veřejné správy: co-creative přístup

Aktivita 2.2

Průvodní zpráva k aktivitě 2.2 – Modely bilance uhlíku a vody pro
zpřesnění inventarizace skleníkových plynů a vodního provozu lesních
ekosystémů a revizi map zásob uhlíku v ČR

Obsah

1	Cíl aktivity	3
2	Souhrn metodického řešení	4
2.1	Data a metody	4
3	Výsledky	6
4	Závěr	11
5	Seznam použitých zkratek	12
6	Literatura	12

1 Cíl aktivity

Lesní ekosystémy představují klíčovou složku globálního koloběhu uhlíku a současně významný přírodně-ekonomický zdroj. V podmínkách České republiky jsou lesy největším ekosystémem akumulujícím uhlík v biomase, a jejich vývoj je zásadně ovlivněn probíhající klimatickou změnou i hospodářskými zásahy člověka. Z tohoto důvodu je nezbytné disponovat nástroji, které umožňují dlouhodobé modelování vývoje lesních porostů a jejich produkčních i mimoprodukčních funkcí. Jedním z klíčových nástrojů tohoto typu je model EFISCEN (European Forest Information Scenario Model), který byl využit i v rámci řešeného projektu.

Model EFISCEN je rozsáhlý evropský simulační model určený pro projekci vývoje lesních zdrojů na regionální až celoevropské úrovni. Je založen na empirickém přístupu a využívá především data národních inventarizací lesů, která agreguje do věkových tříd, dřevinných skupin a územních celků. Model pracuje s časovými kroky typicky po pěti letech a umožňuje simulovat vývoj lesních porostů v horizontu přibližně 50–60 let, případně i delším. Princip modelu je založen na přechodech mezi věkovými třídami, kdy jsou porosty v každém kroku vystaveny růstu, těžbě, mortalitě a obnově. Výsledná struktura lesa je tak dána kombinací biologických procesů a managementových zásahů.

Cílem této aktivity bylo pomocí modelu EFISCEN odhadnout vývoj zásob lesa a sekvestrace uhlíku v nadzemní a podzemní biomase pro čtyři hlavní hospodářské dřeviny (smrk, borovice, buk, dub) na území České republiky pro průměrný klimatický scénář do roku 2070.

Probíhající klimatická změna ovlivňuje přírodní podmínky pro růst (nejen) hospodářských dřevin na našem území, přičemž lesy jsou na území ČR největším ekosystémem vážící uhlík ve své biomase. Nezbytným předpokladem pro splnění cíle bylo nalézt metodické řešení pro naplnění modelu EFISCEN standardními národními daty používanými v praxi hospodářské úpravy lesa.

2 Souhrn metodického řešení

Zásadní vlastností modelu EFISCEN je jeho scénářový charakter. Uživatel může definovat různé varianty vývoje v závislosti na změnách hospodaření, poptávky po dříví, klimatických podmínek nebo rozlohy lesů. Díky tomu model umožňuje hodnotit dopady různých strategií lesního hospodaření nebo veřejných politik na vývoj zásoby dřeva, strukturu porostů a poskytování ekosystémových služeb. Kromě tradičních produkčních ukazatelů (zásoba, přírůst, těžba) poskytuje model i výstupy týkající se zásob uhlíku v biomase a půdě, biodiverzity či rizik přírodních disturbancí, jako jsou větrné kalamity nebo požáry.

Z hlediska metodického zařazení představuje EFISCEN tzv. maticový model věkových tříd. Tento přístup umožňuje efektivní práci s rozsáhlými datovými soubory na úrovni států nebo velkých regionů, avšak za cenu určitého zjednodušení prostorové variability. Model nepracuje s konkrétními porostními prvky, ale s agregovanými kategoriemi, což ho činí robustním a výpočetně efektivním nástrojem pro strategické plánování. Díky flexibilní struktuře může být model parametrizován prakticky pro všechny evropské země a umožňuje tak srovnatelné analýzy napříč státy.

Model EFISCEN je dlouhodobě využíván v řadě mezinárodních výzkumných a politických projektů. Na úrovni Evropské unie byl například použit ve studiích zaměřených na odhad potenciálu produkce dřevní biomasy pro energetické a materiálové využití, kde poskytl scénáře dostupnosti dříví v závislosti na různých úrovních mobilizace zdrojů. V oblasti klimatické politiky byl model využit pro stanovení referenčních úrovní sekvestrace uhlíku v lesích v několika evropských zemích v rámci mezinárodních vyjednávání o emisích skleníkových plynů. Významné využití našel také ve studii European Forest Sector Outlook Study (UNECE/FAO), kde sloužil k projekci vývoje lesních zdrojů v Evropě do roku 2030.

a národní úrovni byl model aplikován například ve skandinávských zemích či v Dánsku, kde byl využit pro projekce uhlíkových zásob lesa v kontextu národních klimatických strategií. V novějších aplikacích byl dále rozvíjen směrem k vyššímu prostorovému rozlišení ve variantě EFISCEN-Space, která umožňuje detailnější simulace včetně vlivu disturbancí, jako jsou požáry či větrné kalamity, a pracuje s daty až na úrovni jednotlivých inventarizačních ploch.

Kromě klimatických studií byl EFISCEN využit i pro hodnocení dopadů lesnického managementu na biodiverzitu nebo dostupnost suroviny pro lesní průmysl. Například studie zaměřené na bioekonomiku hodnotily vliv zvýšené poptávky po biomase na udržitelnost těžby, zatímco jiné práce analyzovaly dopady ochranných opatření (např. rozšiřování bezzásahových území) na produkci dřeva. Tyto aplikace potvrzují univerzálnost modelu jako nástroje pro podporu rozhodování na úrovni politik i praxe.

2.1 Data a metody

V rámci programu TransAdapt byl model EFISCEN aplikován na podmínky České republiky s cílem odhadnout vývoj zásob lesa a sekvestrace uhlíku v nadzemní a podzemní biomase hlavních hospodářských dřevin (smrk, borovice, buk a dub) do roku 2070. Klíčovou částí řešení bylo nalezení metodického postupu, který umožní naplnit model výhradně standardními národními daty používanými v lesnické praxi. Základním zdrojem informací byly lesní hospodářské plány a lesní hospodářské osnovy (LHP/LHO), které představují nejpodrobnější běžně dostupný soubor dat o

lesích v České republice. Tato data poskytují komplexní informace o ploše lesních porostů, jejich druhové skladbě, věkové struktuře a zásobě dřeva. V rámci projektu byla tato data získána v anonymizované a agregované podobě pro celé území ČR, přičemž byla omezena na kategorii hospodářských lesů, aby odpovídala zaměření modelu na produkční funkce lesa. V datech byly identifikovány čtyři klíčové hospodářské dřeviny – smrk (*Picea abies*), borovice (*Pinus sylvestris*), buk (*Fagus sylvatica*) a dub (*Quercus spp.*), které dohromady tvoří dominantní podíl zásoby dřeva v českých lesích a současně představují hlavní objekty lesnického hospodaření.

Data LHP/LHO zahrnovala zejména atributy jako plocha porostů (ha), objem zásoby dřeva (m³) a zastoupení jednotlivých dřevin v porostech. Tyto informace byly však primárně vedeny na úrovni porostních skupin a nebyly přímo použitelné v modelu EFISCEN, který pracuje s agregovanou strukturou podle věkových tříd. Proto bylo nutné provést jejich systematickou transformaci a agregaci. V první fázi byla data rozdělena do věkových tříd (typicky v pětiletých intervalech), což odpovídá časovému kroku modelu a umožňuje simulovat postupné stárnutí porostů. Následně byla data agregována podle jednotlivých dřevin a prostorových jednotek tak, aby vznikla vstupní matice reprezentující rozdělení lesní plochy podle věku a zásoby.

Dalším klíčovým zdrojem byla Národní inventarizace lesů (NIL), která poskytuje statisticky reprezentativní údaje o stavu a vývoji lesů na území České republiky. Na rozdíl od LHP, která zachycují stav lesa v konkrétních hospodářských jednotkách, NIL umožňuje získat objektivní odhady růstových charakteristik, zejména ročního přírůstu dřeva. V rámci programu byla data NIL využita především pro odvození hodnot přírůstu jednotlivých dřevin, které byly následně přiřazeny k odpovídajícím věkovým třídám a růstovým podmínkám. Tento krok byl zásadní, protože přírůst představuje klíčový parametr určující dynamiku přechodů mezi věkovými třídami, a tedy i celkový vývoj zásoby lesa.

Pro zpřesnění prostorové variability byly vstupní datové soubory dále členěny podle přírodních podmínek. Území České republiky bylo rozděleno do tří základních růstových zón na základě agregace lesních vegetačních stupňů (LVS), které reflektují klimatické a stanovištní podmínky ovlivňující růst lesních dřevin. Zóna A zahrnovala nížinné oblasti (1. a 2. LVS), zóna B představovala střední polohy (3.–5. LVS) a zóna C zahrnovala vyšší a horské polohy (6.–9. LVS). Toto členění umožnilo zachytit rozdíly v růstové dynamice, produkční schopnosti i druhové skladbě mezi jednotlivými částmi území ČR a současně zohlednit vliv klimatických podmínek na vývoj lesů.

Významnou součástí vstupních dat byly také informace o hospodářském managementu, které nebyly vždy explicitně obsaženy v základních datových zdrojích a bylo nutné je doplnit na základě odborných odhadů a komunikace s vlastníky lesa. Tyto informace zahrnovaly zejména intenzitu a strukturu těžby, dobu obmýetí, typy zásahů (probírky, obnovní těžba), způsoby obnovy porostů a preferovanou druhovou skladbu při zalesňování. V případě modelového území v PLO 22 byla tato data zpřesněna přímou spoluprací s vlastníkem lesa, což umožnilo definovat realistické scénáře budoucího hospodaření.

Další důležitou skupinou vstupů byly parametry pro převod objemu dřeva na biomasu a zásoby uhlíku. Tyto parametry zahrnovaly tzv. biomasa-expanzní faktory, které umožňují přepočet objemu kmene na celkovou biomasu stromu včetně větví, listů nebo jehličí, a dále koeficienty pro odhad podílu podzemní biomasy (kořenového systému). Výsledná biomasa byla následně převedena na obsah uhlíku pomocí standardního podílu uhlíku v suché biomase. Tyto parametry

byly aplikovány jednotně pro jednotlivé dřeviny a věkové třídy, čímž bylo možné kvantifikovat zásoby uhlíku v nadzemní i podzemní biomase lesa.

Specifickou roli hrála také vstupní data pro klimatické scénáře. V rámci navrženého scénáře byl použit klimatický model HadGEM2-ES, který poskytuje projekce budoucího vývoje klimatických podmínek. Tato data byla využita nepřímo prostřednictvím úprav růstových parametrů modelu, které reflektovaly očekávané změny přírůstu dřevin v důsledku změny klimatu.

Celkově byla vstupní datová základna koncipována tak, aby umožňovala realistickou simulaci vývoje lesních porostů při zachování kompatibility s modelem EFISCEN. Kombinace dat LHP/LHO, NIL a doplňujících informací o managementu a klimatických podmínkách vytvořila robustní základ pro modelování, který umožnil analyzovat jak současný stav lesů, tak jejich možný budoucí vývoj. Zároveň je však třeba zdůraznit, že některé z použitých dat (zejména agregované údaje o přírůstu nebo zjednodušené reprezentace managementu) představují zdroj nejistoty, který je nutné zohlednit při interpretaci výsledků.

3 Výsledky

Výsledky řešení představují komplexní soubor výstupů, které lze hodnotit jak z metodického, tak z aplikačního hlediska. Z metodického pohledu je zásadním přínosem skutečnost, že se podařilo úspěšně implementovat model EFISCEN v podmínkách České republiky výhradně s využitím standardních národních lesnických dat. Tento krok má významný dopad na budoucí využitelnost modelu, neboť potvrzuje, že EFISCEN není pouze akademickým nástrojem závislým na specifických datech, ale že jej lze efektivně využívat i v běžné lesnické praxi. Ověření schopnosti modelu pracovat s rozsáhlým datovým souborem na úrovni celé ČR současně dokazuje jeho robustnost a potenciál pro další aplikace, například na úrovni strategického plánování nebo podpory rozhodování veřejné správy.

Z aplikačního hlediska tvoří hlavní výstup projektu vlastní modelové projekce vývoje zásoby lesa a sekvestrace uhlíku pro čtyři hlavní hospodářské dřeviny do roku 2070. Tyto projekce byly zpracovány ve formě detailních tabelárních výstupů, které poskytují informace o vývoji základních charakteristik lesních porostů v čase a umožňují jejich následnou interpretaci a vizualizaci. Výsledky zahrnují celkovou zásobu dřeva, zásobu na hektar, přírůst, objem těžby i zásoby uhlíku, přičemž všechny tyto ukazatele jsou členěny podle dřevin, věkových tříd, růstových zón a jednotlivých složek biomasy.

Z hlediska produkčních charakteristik lesa je jedním z nejdůležitějších sledovaných ukazatelů vývoj celkové zásoby dřeva, která představuje základní indikátor produkční schopnosti lesních ekosystémů. Výsledky ukazují, že v baseline scénáři, odpovídajícím historickému období 2000–2014, dochází k relativně stabilnímu vývoji zásoby, případně k jejímu mírnému nárůstu. Tento trend odráží dosavadní způsob hospodaření, který je charakterizován určitou rovnováhou mezi přírůstem a těžbou. Zásoba dřeva v tomto scénáři postupně roste zejména v důsledku dozrávání porostů a relativně stabilních růstových podmínek.

V navrženém scénáři, který zohledňuje změnu klimatu a upravený management, se však dynamika vývoje zásoby významně mění. V některých případech dochází ke zpomalení tempa růstu zásoby nebo k její stabilizaci na nižší úrovni, což může být způsobeno kombinací sníženého

přírůstu v důsledku klimatického stresu a změn v hospodaření, například zvýšenou intenzitou těžby nebo změnou druhové skladby. Na druhé straně mohou adaptační opatření, jako je diverzifikace dřevinné skladby nebo optimalizace těžebních zásahů, přispět k dlouhodobé stabilitě zásoby a snížení rizika jejího náhlého poklesu.

Velmi významným výsledkem je analýza zásob uhlíku v biomase lesa, která představuje klíčový ukazatel z hlediska role lesů v mitigaci klimatické změny. Výsledky jsou prezentovány samostatně pro nadzemní biomasu (C-Tree) a podzemní biomasu (C-Roots), což umožňuje detailnější pohled na distribuci uhlíku v ekosystému. Nadzemní biomasa tvoří dominantní složku zásoby uhlíku, přičemž její vývoj úzce souvisí s vývojem zásoby dřeva. Podzemní biomasa představuje stabilnější složku, která reaguje na změny pomaleji, avšak významně přispívá k celkové uhlíkové bilanci.

V baseline scénáři vykazuje zásoba uhlíku postupný nárůst, což odpovídá pokračujícímu růstu porostů a relativně vyrovnanému hospodaření. Tento trend naznačuje, že za stávajících podmínek lesy fungují jako stabilní uhlíkový sink. Naproti tomu v navrženém scénáři může být vývoj zásoby uhlíku variabilnější. Krátkodobě může dojít ke snížení zásoby například v důsledku intenzivnější těžby nebo přechodu na jinou druhovou skladbu, dlouhodobě však mohou adaptační opatření přispět ke stabilizaci nebo dokonce zvýšení schopnosti lesa ukládat uhlík.

Další významnou charakteristikou výsledků je jejich strukturální členění, které umožňuje analyzovat vývoj lesních porostů podle jednotlivých kategorií. Rozdělení podle dřevin ukazuje, že jednotlivé druhy reagují na změny klimatu a managementu rozdílně. Například smrk, který je dominantní produkční dřevinou v ČR, může být výrazně citlivější na změny klimatických podmínek, zejména na sucho, což se může projevit poklesem přírůstu nebo zvýšenou mortalitou. Naproti tomu listnaté dřeviny, jako buk nebo dub, často vykazují vyšší stabilitu a adaptační schopnost, což se může projevit jejich rostoucím významem v navržených scénářích.

Analýza podle věkových tříd poskytuje další důležité informace o dynamice porostů. Výsledky ukazují, jak se v průběhu času mění věková struktura lesa, což má přímý vliv na produkční schopnost i uhlíkovou bilanci. Například stárnutí porostů může vést k vyšším zásobám uhlíku, avšak zároveň ke snížení přírůstu a zvýšení rizika disturbancí. Naopak mladší porosty vykazují vyšší růstovou dynamiku, ale nižší absolutní zásoby.

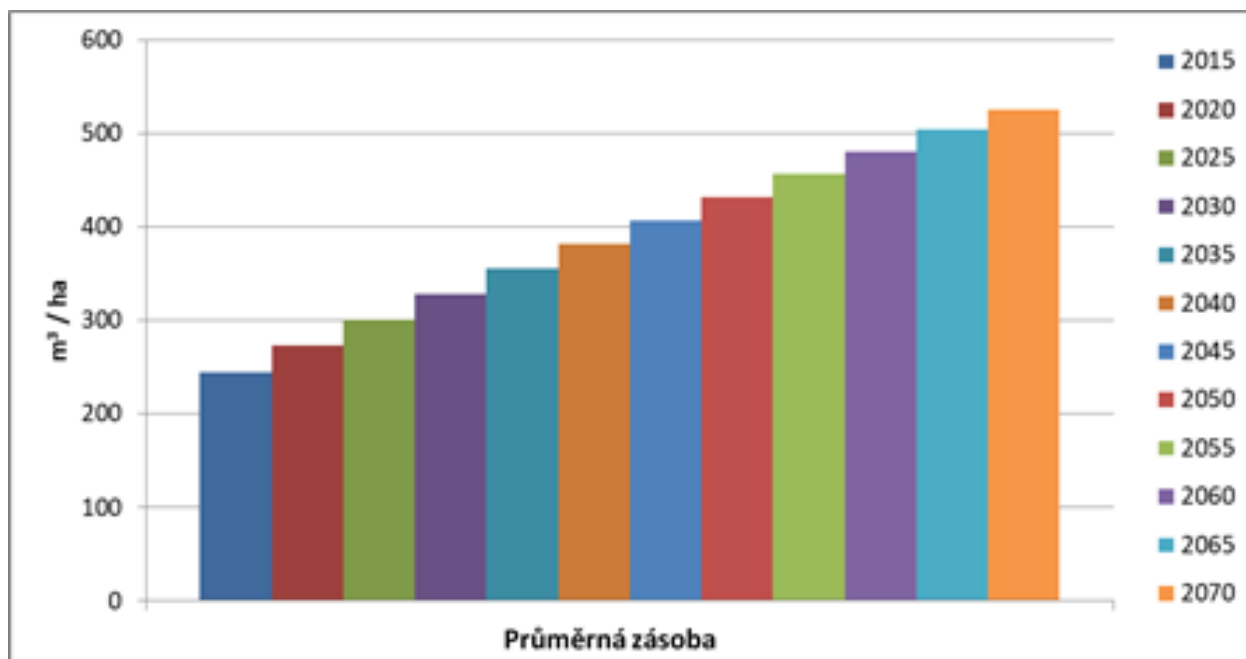
Důležitým aspektem výsledků je také jejich prostorová diferenciaci podle růstových zón. Rozdělení území do tří zón (A, B, C) umožnilo zachytit rozdíly mezi nížinnými, středními a horskými oblastmi. Výsledky ukazují, že reakce lesních porostů na změny klimatu i managementu se v jednotlivých zónách liší, což je dáno odlišnými stanovištními podmínkami. Například horské oblasti mohou být méně citlivé na sucho, ale více ohrožené jinými faktory, zatímco nížinné oblasti mohou vykazovat výraznější pokles přírůstu.

Zásadní význam má srovnání mezi baseline a navrženým scénářem, které umožňuje identifikovat potenciální dopady klimatické změny a efektivitu adaptačních opatření. Toto srovnání ukazuje, že budoucí vývoj lesních porostů není dán pouze klimatickými podmínkami, ale ve značné míře závisí i na způsobu hospodaření. Management lesa tak představuje klíčový nástroj, který může negativní dopady klimatické změny zmírnit nebo naopak zesílit.

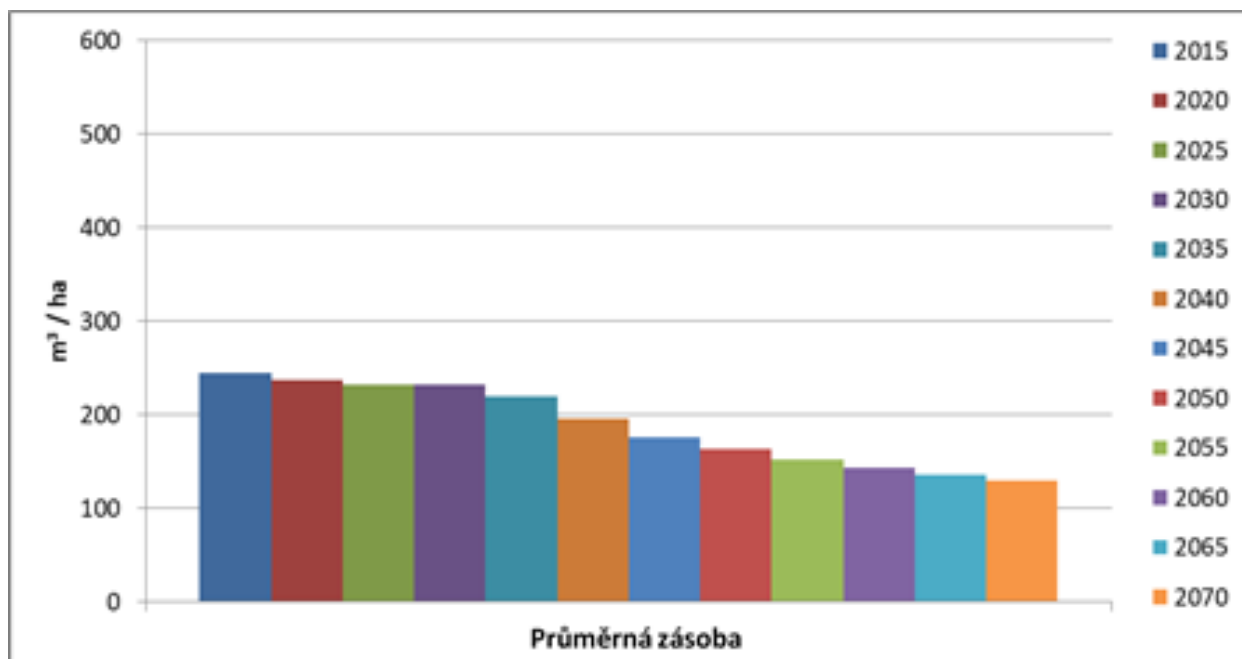
Je však nutné zdůraznit, že všechny prezentované výsledky mají charakter scénářových projekcí. To znamená, že jsou založeny na extrapolaci současných trendů a předpokladů do budoucnosti bez existence pevného kontrolního bodu, který by umožnil jejich ověření. Výsledky jsou tedy

podmíněny vstupními daty, zvolenými parametry i definovanými scénáři a nelze je interpretovat jako přesnou předpověď skutečného vývoje. Jejich hlavní přínos spočívá v možnosti porovnávat různé varianty budoucího vývoje a identifikovat klíčové faktory, které tento vývoj ovlivňují.

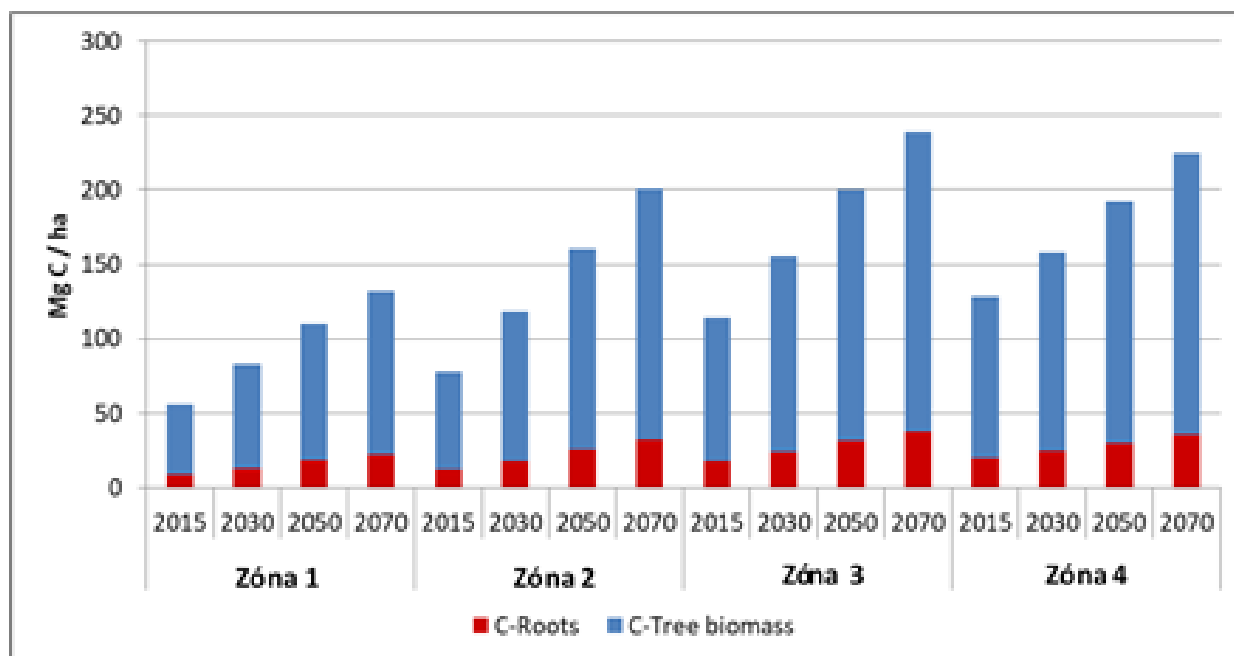
Následující grafy ukazují stav porostu při uvažovaném baseline (Obr. 1, 3) a odpovídající projekci podle navrženého scénáře (Obr. 2, 4). Definovaný scénář vývoje do budoucna představuje extrapolaci známých hodnot bez konečného kontrolního bodu o známé hodnotě. Proto se jedná o výpočet, platný pouze pro podmínky tohoto scénáře, a nelze tvrdit že tyto hodnoty budou v budoucnosti skutečně dosaženy.



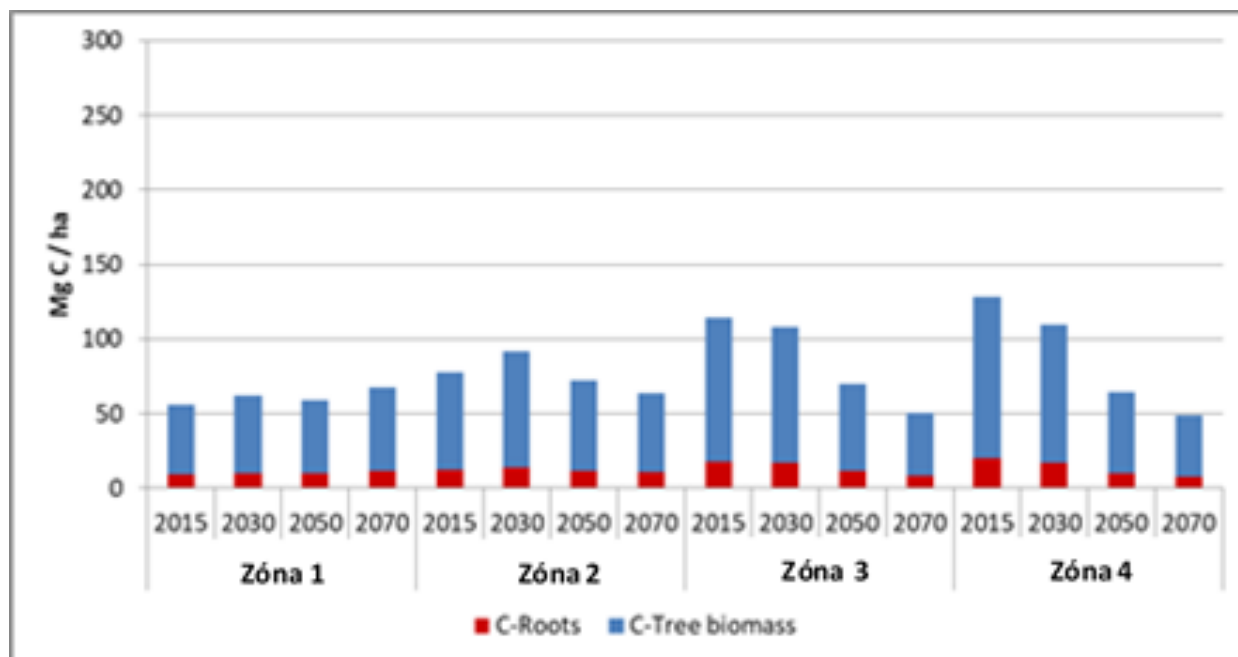
Obr. 1. Průměrná zásoba dřeva (m³/ha) v zájmovém území pro baseline – klimatické podmínky a k nim managementový scénář odpovídající podmínkám za období 2000-2014



Obr. 2. Průměrná zásoba dřeva (m³/ha) v zájmovém území pro navržený scénář – klimatické podmínky podle modelu HadGEM2-ES a uživatelsky definovaný managementový scénář.



Obr. 3. Zásoby uhlíku v biomase (Mg C /ha) v zájmovém území pro baseline. Ukazatel C-Tree vyjadřuje zásoby v nadzemní biomase, ukazatel C-Roots zásoby v podzemní biomase. Území členěno do čtyř zón podle rozdílného managementu.



Obr. 4. Zásoby uhlíku v biomase (Mg C /ha) v zájmové území pro navržený scénář - klimatické podmínky podle modelu HadGEM2-ES a uživatelsky definovaný managementový scénář. Ukazatel C-Tree vyjadřuje zásoby v nadzemní biomase, ukazatel C-Roots zásoby v podzemní biomase. Území členěno do čtyř zón podle rozdílného managementu.

4 Závěr

V rámci řešeného programu TransAdapt byl model EFISCEN aplikován na podmínky České republiky s cílem odhadnout vývoj zásob lesa a sekvestrace uhlíku v nadzemní a podzemní biomase čtyř hlavních hospodářských dřevin (smrk, borovice, buk a dub) do roku 2070. Klíčovou částí řešení bylo nalezení metodiky, která umožní naplnit model standardními národními daty používanými v lesnické praxi, zejména daty lesních hospodářských plánů a národní inventarizace lesů.

Pro zachycení variability přírodních podmínek bylo území rozděleno do tří růstových zón podle lesních vegetačních stupňů. Modelování probíhalo na základě dvou scénářů – výchozího (baseline), který reflektoval klimatické a hospodářské podmínky z období 2000–2014, a navrženého scénáře, který kombinoval klimatická data podle modelu HadGEM2-ES s upraveným managementem definovaným ve spolupráci s vlastníkem lesa.

Významným přínosem projektu bylo ověření, že model EFISCEN lze plnohodnotně využít i v podmínkách České republiky při použití národních datových zdrojů. Dále byly získány konkrétní projekce vývoje zásob dřeva a uhlíku, které lze interpretovat podle dřevin, věkových tříd, managementových zón či jednotlivých uhlíkových zásobníků. Tyto výstupy představují cenný podklad pro plánování lesnické politiky i pro hodnocení dopadů klimatické změny.

Současně je však nutné zdůraznit, že výsledky modelu mají charakter scénářových projekcí. Jsou tedy podmíněny vstupními předpoklady a nelze je považovat za přesnou předpověď budoucnosti. Omezení modelu spočívá zejména v agregovaném přístupu a omezeném zachycení prostorové heterogenity či extrémních disturbancí, pokud nejsou explicitně zahrnuty do scénáře.

Celkově lze konstatovat, že model EFISCEN představuje robustní a flexibilní nástroj pro strategické modelování lesních zdrojů, který je široce využíván napříč Evropou. Jeho aplikace v podmínkách České republiky potvrdila jeho vysokou relevanci pro hodnocení dlouhodobého vývoje lesních ekosystémů a jejich role v sekvestraci uhlíku.

5 Seznam použitých zkratk

EFISCEN	European Forest Information Scenario Model (Evropský scénářový model lesních zdrojů)
LHP	Lesní hospodářský plán
LHO	Lesní hospodářská osnova
NIL	Národní inventarizace lesů
LVS	Lesní vegetační stupeň
PLO	Přírodní lesní oblast
C-Tree	zásoba uhlíku v nadzemní biomase (stromová biomasa)
C-Roots	zásoba uhlíku v podzemní biomase (kořenový systém)
HadGEM2-ES	klimatický model (Hadley Centre Global Environment Model, verze 2 – Earth System)

6 Literatura

Böttcher, H., Verkerk, P. J., Gusti, M., Havlík, P., & Grassi, G. (2012). Projection of the future EU forest CO₂ sink as affected by recent bioenergy policies using two advanced forest management models. *GCB Bioenergy*. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01152.x>

European Forest Institute. (2016). *EFISCEN – European Forest Information Scenario Model*. Retrieved June 2026, from <https://efi.int/article/efiscen>

Schelhaas, M. J., Hengeveld, G., Moriondo, M., Reinds, G. J., Kundzewicz, Z. W., ter Maat, H., & Bindi, M. (2010). Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 681–701.

Schelhaas, M.-J., Eggers, J., Lindner, M., Nabuurs, G. J., Päivinen, R., Schuck, A., Verkerk, P. J., van der Werf, D. C., & Zudin, S. (2007). *Model documentation for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 3.1.3)*. Alterra Report 1559 & EFI Technical Report 26.

Trees4Future. (n.d.). *EFISCEN – European Forest Information Scenario Model*. Retrieved June 2026, <https://www.trees4future.eu>

UNECE & FAO. (2011). *The European Forest Sector Outlook Study II 2010–2030*. United Nations, Geneva.

Verkerk, P. J., Anttila, P., Eggers, J., Lindner, M., & Asikainen, A. (2011). The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. *Forest Ecology and Management*, 261, 2007–2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.027>

Wageningen University & Research. (n.d.). *European Forest Resource Analysis Tools: EFISCEN*. Retrieved June 2026