

A klímavédelmi felelősségvállalástól a piaci lehetőségig

Klímitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelése az erdőalapú ágazatban

Borovics Attila¹, Király Éva¹, Kottek Péter², Illés Gábor¹, Schiberna Endre¹

Az ökoszisztéma-szolgáltatások – vagyis a természetből származó, az emberi jólétet szolgáló előnyök – a környezeti fenntarthatóság és a gazdasági prosperitás alapvető pillérei. A Millenniumi Ökoszisztéma Értékelés (MEA 2005) az ökoszisztéma-szolgáltatásokat négy fő kategóriába sorolja, ezek az ellátó, a szabályozó, a kulturális és a támogató szolgáltatások (1. ábra). Az erdők által biztosított szabályozó funkciók, mint a szén-dioxid megkötése és tárolása, alapvető jelentőségűek a klímaváltozás mérséklésében és a fenntartható gazdasági fejlődés támogatásában. Az erdők képesek a légköri CO₂ hosszú távú megkötésére biomasszájukban, talajukban és a fatermékekben, így közvetlenül hozzájárulnak a klímavédelmi célok eléréséhez.



Ennek a szolgáltatásnak egy része karbonkreditként értékesíthető mind az önkéntes, mind – bizonyos korlátozásokkal – a megfelelési karbonpiacokon.

Míg az EU Kibocsátáskereskedelmi Rendszere (EU ETS) jelenleg nem ismeri el az ökoszisztéma-alapú, a földhasználati szektorban (LULUCF) keletkező

szénmegkötést, az önkéntes piacok nagyobb rugalmassággal alkalmaznak természet-alapú megoldásokat, mint az erdőtelepítés vagy a klímabarát erdőgazdálkodás.

A szénmegkötés pénzügyi ösztönzése egyre nagyobb figyelmet kap a nemzetközi és az uniós klímavédelmi joganyagban. Az EU Zöld Megállapodás és a Szén-dioxid Eltávolítási és Karbon-gazdálkodási Tanúsítási Keretrendszer (CRCF rendelet) nemcsak a klímacélok teljesítését szolgálja, hanem a természeti tőkén alapuló bioökonómia fejlődését is elő akarja mozdítani. Ebben az összefüggésben kiemelt jelentőséggel bír a fatermékekben hosszú távon tárolt szén, amely hozzájárul a körforgásos biogazdasághoz és a klímabarát anyaghasználat elterjesztéséhez.

Elemzésünk célja a magyarországi erdők klímavédelemhez kapcsolódó szolgáltatásainak pénzügyi értékelése volt négy egymást kiegészítő értékelési koncepció mentén:

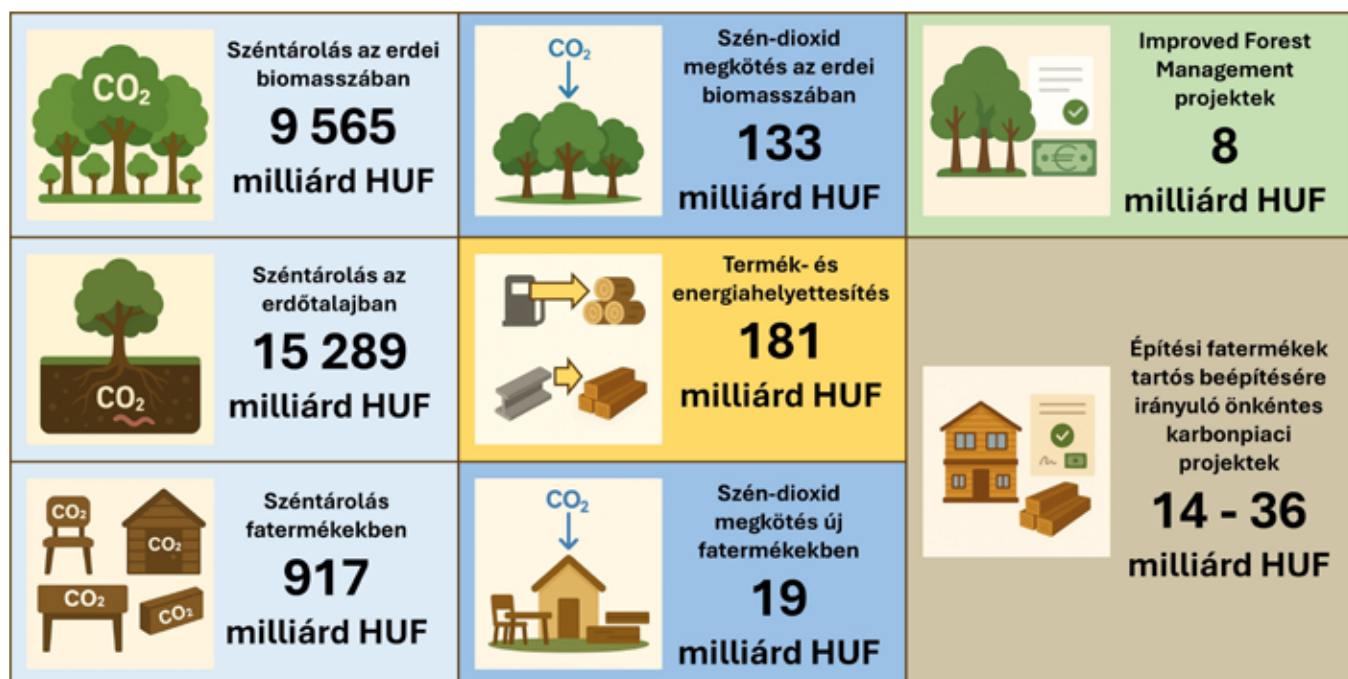
1. a teljes széntárolási érték, amely lefedi az erdei biomasszában, a talajban és a fatermékekben tárolt szenet;
2. a megkötési érték, amely a légköri CO₂ éves nettó elnyelésének értékét jelöli;
3. az elkerült kibocsátások értéke, amely az anyag- és energiahelyettesítési hatások elemzése révén kerül kiszámításra; valamint



1. ábra Az erdők ökoszisztéma-szolgáltatásainak típusai

¹ Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet

² Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztály



2. ábra A hazai erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak pénzügyi értéke

4. a piacosható érték, amely az önkéntes karbonpiaci projektek keretében tanúsítható és forgalmazható szén-dioxid-mennyiséget jelöli.

Az alábbiakban külön-külön részletezzük a négy értékelési koncepció módszertanát és eredményeit, melyeket a 2. ábra és az 1. táblázat összesít.

Teljes széntárolási érték

A teljes széntárolási érték az erdők biomasszájában, talajában, valamint a fatermékekben jelenleg tárolt szén eszmei értékét tükrözi. Ez az érték úgy értelmezhető, mint egyfajta éghajlati felelősségi költség, amely akkor jelentkezik, ha a hazai erdei ökoszisztémák teljes degradációja következtében a bennük tárolt szénmennyiség egésze a légkörbe kerülne.

Az értékeléshez szükséges adatokat az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) 2021. évi statisztikai állapota szolgáltatja, a fatermékek széntartalma az Üvegházhatású Gázleltár (ÜHG-leltár, NIR 2023) adatai alapján került meghatározásra, míg a talaj széntartalmára vonatkozó becsléseket Illés és munkatársai (2025) szolgáltatották, akik hosszú távú erdőtalaj-monitoring rendszerek adatainak integrációja útján modellezték a hazai erdőtalajok teljes szénkészletét. Az így becsült szénkészleteket tonnánként 50 eurós karbonárral monetizáltuk, amely megfelel az önkéntes karbonpiacon jellemző jelenlegi átlagos árszintnek (Borovics és Király, 2024). Ez az ár azonban alacsonyabb, mint az IPCC (2018) által meghatározott földhasználati nyelőkre vonatkozó árnyékár, amelyet korábbi tanulmányok (Szerényi és Széchy, 2021) alkalmaztak, így becslésünk konzervatívnak mondható.

Az erdei biomasszában, a talajban és a fatermékekben tárolt szén össz mennyisége számításaink szerint eléri az 1 289 millió tonna CO₂-t, amelynek becsült pénzügyi értéke 25 772 milliárd forint (64 milliárd euró). Ezen belül a legnagyobb részarányt az erdőtalajok képviselik: 764 millió tonna CO₂-t tárolnak, ami 15 289 milliárd forint (38 milliárd euró) értéknek felel meg. Ezt követi az erdei biomassza 478 millió tonna CO₂ egyenértékkel, amelynek értéke 9 565 milliárd forint (23 milliárd euró), valamint a fatermékek, amelyek 46 millió tonna CO₂ egyenérték tartanak megkötve, mintegy 917 milliárd forint (2 milliárd euró) értékben.

Elemzésünk lényeges eredménye a talajszénkészlet szerepének kiemelt jelentősége: az erdőtalajok mintegy 1,6-szor annyi szenet tárolnak, mint az élőfakészlet. Ugyanakkor tanulmányunk nem tudta számszerűsíteni a talajszénkészlet változásainak folyamatait, illetve ezek pénzügyi értékét, mivel ehhez jelenleg még nem áll rendelkezésre elegendő adat.

A talaj szénkészlete növekedhet vagy csökkenhet a különféle erdőgazdálkodási beavatkozások hatására, ezért a jövőbeli kutatásoknak prioritásként kell kezelniük a talajszén-monitoring és -modellezés fejlesztését, hogy a talaj szénforgalma is beépíthető legyen a hitelesített mérési, jelentéstételi és ellenőrzési (MRV) rendszerekbe, mind az önkéntes, mind pedig a megfelelő karbonpiaci keretei között.

Szénmegkötési érték

A szénmegkötési érték a magyarországi erdők nettó szén-dioxid-elnyelését tükrözi. Az ehhez kapcsolódó éghajlati fe-

lelősségi költség abban az esetben jelentkezik, ha az erdők szénelnyelő funkciója megszűnne, azaz a nettó megkötés nullára csökkenne. Ebben az esetben az ENSZ és az EU joganyaga által előírt célértékek nemteljesülése miatt a megfelelési LULUCF karbonpiacon debitek jelentkeznének. Ezek nagyságrendjének számszerűsítése teljes egészében az ÜHG-leltár hivatalos adataira épült, amely minden 1985–2021 közötti évre közöl becsléseket a LULUCF szektor, és azon belül az erdők nettó nyeléséről.

Az éves CO₂-elnyelést szintén az önkéntes karbonpiacon jellemző 50 euró/tCO₂ árfolyammal értékeltük, amelyet itt olyan szakpolitikai költségként értelmeztünk, amely a LULUCF megfelelési keretrendszerben a nyelőkapacitás fenntartását célozza.

A 2021-es évben a magyar erdők 6,7 millió tonna CO₂-t kötötték meg, amelynek becsült pénzügyi értéke 133 milliárd forint (334 millió euró), míg a fatermékek további évi 900 ezer tonna CO₂-vel járultak hozzá a szénmegkötéshez, melynek értéke 19 milliárd forintra (47 millió euróra) tehető. *A két komponens együttesen 152 milliárd forint (380 millió euró) éves megkötési értéket képvisel.*

Elkerült kibocsátás értéke

Az elkerült kibocsátások esetében azt vizsgáltuk, hogy mekkora kibocsátás keletkezne az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerének (ETS) hatálya alá eső ágazatokban abban az esetben, ha megszűnne az ipari- és a tűzifa hazai előállítás, és ezek helyett fosszilis alapú, nagy kibocsátású alternatívákat (pl. beton, acél, fosszilis tüzelőanyagok) használnánk.

Az anyag- és energiahelyettesítési hatásokra vonatkozó becsléseket Borovics és társai (2024) szolgáltatták, akik országos szinten határozták meg a faanyag alkalmazásával elért kibocsátáscsökkenési potenciált. A pénzügyi értékelés során 100 euró/tCO₂ karbonárat alkalmaztunk, amely az ETS kvótakereskedelmi rendszerben jellemző átlagos kvótaár.

Amennyiben a jelenleg az iparban és az energiaszektorban felhasznált fa helyét fosszilis alapú, magas kibocsátású alternatívák vennék át, ez évente további 4,5 millió tonna CO₂-kibocsátást eredményezne. Az ETS-piacon jellemző 100 euró/tCO₂ ár alapján az elkerült kibocsátások pénzügyi értéke 181 milliárd forint (453 millió euró) évente, ez alátámasztja a fa alapanyagok felhasználásának klímavédelmi jelentőségét.

A termékhelyettesítési ökoszisztéma-szolgáltatás kategória – amely a korábbi hazai ökoszisztéma-szolgáltatás értékelésekben nem szerepelt – az erdészeti szektor klímavédelmi hozzájárulásának jelentős hányadát képviseli, és szorosan illeszkedik a körkörös biogazdaság elveihez, valamint az Európai Unió éghajlat-politikai célkitűzéseire (Camia et al., 2018; Sathre és O'Connor, 2010). *Ez az eredmény rávilágít az erdőnek és a faanyagnak azon közvetett, ám kulcsfontosságú szerepére, amelyet nemcsak szénelnyelőként, hanem az ipari értékláncokon belüli szén-dioxid-kiváltó tényezőként is betölt.*

Piacosítható érték

A piacosítható karbonkredit-bevételi lehetőségeket két egymást kizáró kreditálási stratégia szerint értékeltük:

1. a klímabarát erdőgazdálkodás (azaz *Improved Forest Management, IFM*), amely a véghasználat felfüggesztésével az élőfakészlet helyben történő megtartására, azaz in situ szénraktározásra törekszik;
2. a fatermékek tartós beépítése, amely megnövelt ipari választékarányt, és változatlan vagy intenzívebb fakitermelést feltételez, és az így kitermelt faanyagot tartós építőipari felhasználás révén több évtizedes vagy akár évszázados széntárolási potenciállal ruházza fel.

A vizsgált mindkét alternatív projekt-típus tanúsítható az EU új Szén-dioxid Eltávolítási és Karbongazdálkodási Tanúsítási Keretrendszer (CRCF) szerint.

A klímabarát erdőgazdálkodási forgatókönyv értékeléséhez az OEA-ból származó állományleíró és erdőgazdálkodási adatokat használtuk, azokat az erdőterü-

leteket vizsgálva, amelyek vágásos üzemmódban vannak, és elérték az erdőtervezés által előírt vágásérettségi kort.

Az elemzésünkben vizsgált *Improved Forest Management* projekt a vágásforduló meghosszabbítását feltételezi, amely során az érintett állományokat nem termelik le, hanem tovább fenntartják önkéntes karbonpiaci projektként regisztrálva. A jóváírható éves szénelnyelési többletet az érintett állományok folyónövedék értékei alapján becsültük meg, amelyből 15%-os természetes mortalitást vontunk le, így meghatározva a tényleges jóváírható mennyiséget. A pénzügyi értéket itt is a napjainkban jellemző 50 euró/tCO₂ önkéntes piaci karbonárral számszerűsítettük. Az EU CRCF rendelete által előírt biodiverzitásra vonatkozó addicionalitási kritérium teljesítése érdekében a nem őshonos fajokat – *nemesnyár és akác* – kizártuk ebből a forgatókönyvből, *mivel ezek valószínűleg nem lépnek be a karbonpiacra CRCF-tanúsított karbon farming projektekből.*

A fa tartós beépítésén alapuló önkéntes piaci projektek a klímabarát erdőgazdálkodási projektekkel szemben azt feltételezik, hogy a fakitermelés üzemszerűen vagy akár fokozott intenzitással folytatódik, és a kitermelt faanyag egyre nagyobb arányban kerül építőipari felhasználásra, meghaladva a jelenleg szokásos (Business as Usual, BAU) mértéket.

A kitermelt faanyagot ebben az esetben tartós épületszerkezeti elemekként használják fel, amelyek évtizedeken vagy akár évszázadokon át képesek megőrizni a szenet. Ez a projekt-típus megfelel az EU CRCF rendelete tanúsítási kritériumainak, és bevételi forrást jelenthet olyan építetők vagy befektetők számára, akik tanúsított széntárolási projekteket valósítanak meg. Az ilyen formában tárolt szén piaci értékét szintén 50 euró/tCO₂ árfolyamon határoztuk meg. Ennél a projekt-típusnál két aleset vizsgáltunk: az egyik esetben az ipari faválasztékok arányát növeltük a BAU szinthez képest, a másik esetben pedig mind az ipari választékarányt, mind pedig a kitermelt faanyag mennyiségét megnöveltük, összhangban a Borovics és társai (2024) által modellezett intenzifikációs scenárió feltételezéseivel.

Eredményeink azt mutatják, hogy a klímabarát erdőgazdálkodás országos szinten évente 0,4 millió tonna CO₂-többlet megkötését teszi lehetővé, mely évi 8 milliárd forint (21 millió euró) karbonpiaci bevételt eredményezhet.

Ezzel szemben a fa tartós beépítésére irányuló projektek esetében az ipari választékarányok növelése, de a fakitermelési szint változatlanul tartása mellett évente 0,7 millió tonna CO₂ többlet irányítható hosszú távú beépítésre az építőiparba, amely mintegy 14 milliárd forint (36 millió euró) éves karbonpiaci bevételt eredményezhet.

A fokozott fakitermelést és növelt ipari választékarányt feltételező forgatókönyv esetében ez az érték 1,8 millió tonna CO₂-re emelkedik, ami évente akár 36 milliárd forint (90 millió euró) bevételt jelenthet az önkéntes karbonpiacon.

Ez a különbség egy alapvető gazdasági és szakpolitikai dilemmára mutat rá: a klímabarát erdőgazdálkodási projektek elősegíthetik az ökoszisztéma rezilienciájának növelését és a biológiai sokféleség megőrzését, bár meghatározó szakértők ezt egyre gyakrabban vonják kétségbe, mint tette ezt például Mátyás Csaba az *Erdőgazdálkodás a természethelyreállítás és a szénsemlegesség követelményei között* című, az *Erdészeti Lapok* májusi számában megjelent írásában (Mátyás, 2025).

Azonban a klímabarát erdőgazdálkodási projektek országos szinten korlátozottabb bevételi lehetőségeket kínálnak, miközben nem teszik lehetővé a tartós beépítésből és a kitermelt faanyaghoz kapcsolódó helyettesítési hatásokból származó klímavédelmi előnyök hatásainak kiaknázását sem.

Ezzel szemben a fatermékek tartós beépítése nemcsak magasabb karbonpiaci bevételt kínál, hanem jelentős helyettesítési hatásokat is biztosít, így jobban illeszkedik a körforgásos bioökonomia céljaihoz. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy ez az útvonal *csak fenntartható fakitermelés mellett lehet elfogadható, a hosszú távú ökológiai stabilitás megőrzése érdekében.*

Fontos megjegyezni továbbá, hogy az EU CRCF keretrendszere jelenlegi formájában nem teszi lehetővé a fatermékek tartós beépítésének beszámítását az *Improved Forest Management* projektek esetében. Ennek következtében a CRCF jelenleg nem támogatja azokat az integrált megközelítéseket, amelyek az élő biomasszában és a faanyagban történő széntárolást egyaránt elismernék egyazon projektben. Ezzel a rendelet *korlátozza a komplex klímavédelmi stratégiák tanúsításának lehetőségét.*

Ráadásul a CRCF-hez kapcsolódó végrehajtási rendeletek még kidolgozás alatt állnak, így továbbra is kérdéses,

	millió t CO2	millió EUR	milliárd HUF
Hazai erdei biomasszában tárolt szén	478	23.913	9.565
Hazai erdőtalajokban tárolt szén	764	38.223	15.289
Hazai fatermékekben tárolt szén	46	2.293	917
Összesen	1.289	64.429	25.772
Hazai erdők éves szénmegkötése			
Hazai erdők éves szénmegkötése	6,7	334	133
Hazai fatermékek éves szénmegkötése	0,9	47	19
Összesen	7,6	380	152
Hazai fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatása			
Hazai fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatása	4,5	453	181
Tartós beépítési projektbe bevonható széntárolás			
Tartósan beépíthető fatermék (intenzifikált faipar, változatlan fakitermelés)	0,7	36	14
Tartósan beépíthető fatermék (intenzifikált faipar, növelt fakitermelés)	1,8	90	36
Improved forest management projektbe bevonható szénmegkötés	0,4	21	8

Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha a teljes hazai erdőállomány megsemmisülne

Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha a hazai erdőállomány nettó éves szintű szénmegkötése nullára csökkenne

Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha megszűnne a hazai fatermék- és tűzifa termelés

Becsült bevételi lehetőség: a fatermékek tartós beépítéséből keletkeztethető teljes karbonpiaci bevétel intenzifikált faipar, illetve intenzifikált faipar és megnövelt fakitermelés esetében

Becsült bevételi lehetőség improved forest management projekttekből, a véghasználatok teljes ethagásával



1. táblázat Az éghajlatváltozás mérséklésével kapcsolatos ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének eredményei a magyar erdészeti és faipari ágazatban

hogy a jövőben milyen típusú Improved Forest Management projektek minősülnek majd jóváírásra jogosultnak. A jelenlegi bizonytalanság, valamint a fatermékek tartós beépítéséhez kapcsolódó magasabb bevételi potenciál alapján célszerű lenne a szakpolitikai ösztönzőrendszereket a fenntartható fakitermelés és az építőipari faanyaghasználat klímabarát fejlesztése irányába elmozdítani.

Következtetések

Elemzésünk talán legfontosabb megállapítása az, hogy a LULUCF szektorhoz kapcsolódó nemzetközi szerződések által szabályozott kötelezettségvállalásokból fakadó szénmegkötési célértékek elérésének megghiúsulása lényegesen magasabb felelősségi költségeket eredményezne, mint az önkéntes karbonpiacon történő részvételből származó potenciálisan realizálható bevételek nagyságrendje. Ez az önkéntes piacon érvényesülő adicionalitási kritériumok eredménye, amelyek csak olyan szén-dioxid-megkötések esetében teszik lehetővé a jóváírást, amelyek a szokásos üzleti alaphelyzethez (BAU) képest többletet jelentenek.

A magyarországi erdők szénmegkötési potenciáljának pénzügyi értékelése nemcsak tudományos, hanem stratégiai jelentőséggel is bír a klímavédelem és a bioökonómiai átmenet szempontjából. Az eredmények egyértelműen rámutatnak arra, hogy az ökoszisztéma-szolgáltatások megfelelő pénzügyi elismerése és ösztönzése nélkülözhetetlen az éghajlatváltozásához való alkalmazkodás hatékony támogatásában. A szakpolitikai és

piaci mechanizmusok finomhangolása, különösen a CRCF-rendelet végrehajtása kapcsán, kulcsfontosságú lesz ahhoz, hogy a magyar erdők szénelnyelő kapacitása a jövőben is megőrizhető és tovább növelhető legyen, ugyanakkor megvalósuljon a fatermékek széntárolásának optimalizálása is.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Felhasznált irodalom

- Borovics A., Király É. & Kottek P. 2024: Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model. *Forests* 15(4): 600. <https://doi.org/10.3390/f15040600>
- Borovics A. & Király É. 2024: Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF rendelet szabályrendszere. *Erdészeti Lapok* 159(10): 418–423.
- Camia A., Robert N., Jonsson R., Pilli R., García-Condado S., López-Lozano R. & Giuntoli J. 2018: Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. JRC Science for Policy Report, Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109869>
- Illés G., Móricz N., Bereczki K. & Németh T. 2025: Carbon stock assessment of fo-

rest soils of Hungary based on long-term monitoring systems. Kézirat előkészületben.

- IPCC 2018: Rogelj J., Shindell D., Jiang K., Fifita S., Forster P., Ginzburg V., Handa C., Khesghi H., Kobayashi S., Kriegler E., Mundaca L., Séférian R. & Vilarinho M.V.: Mitigation Pathways Compatible with 1.5 °C in the Context of Sustainable Development. In: IPCC Special Report – Global Warming of 1.5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- Mátyás Cs. 2025: Erdőgazdálkodás a természethelyreállítás és a szénszegesség követelményei között. *Erdészeti Lapok* 160(5): 206–211.

- MEA 2005: Millennium Ecosystem Assessment – Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, D.C. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

- NIR 2023: National Inventory Report for 1985–2021. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.

- Sathre R. & O'Connor J. 2010: Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science and Policy* 13(2): 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005>

- Szerényi M. Zs. & Széchy A. 2020: Az ökoszisztéma-szolgáltatások közgazdasági értékelése, módszertan kidolgozása: A klímaszabályozás, az árvízi kockázat csökkentése és a rekreáció pénzbeli értékelésének megalapozása. Agrárminisztérium, Budapest. https://unipub.lib.uni-corvinus.hu/7960/1/kehob430_Gazdasagi_ertekeles.pdf

Illusztráció: **Carbonfuture**