

SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR
DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

ERDÉSZETI ÉS FAIPARI KLÍMAMITIGÁCIÓS STRATÉGIÁK



KIRÁLY ÉVA ILONA

SOPRON

2026

Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti és
Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Faragó Sándor

Erdei ökoszisztémák ökológiája és diverzitása program
(E1)

Programvezető: Prof. Dr. Mátyás Csaba

Témavezető: Dr. Borovics Attila

Témamegjelölés és célkitűzések

A klímaváltozás hatásainak egyre nyilvánvalóbbá válása, valamint a nemzetközi politikai környezet változásai mind aktuálisabbá teszik a klímitigáció kérdését. Az erdő-alapú szektor speciálisan előnyös helyzetben van a klímaváltozás elleni küzdelemben, hiszen itt nem csak az emissziócsökkentés a rendelkezésre álló opció, hanem az ökoszisztémák természetes, fotoszintézis-alapú szénmegkötő képessége révén lehetőség van a kibocsátások ellentételezésére is, azaz a széndioxid megkötésére, valamint hosszú távú tárolására. Emellett a fa a körkörös biogazdaság megújuló nyersanyaga, melynek termék- és energiahelyettesítési hatásai az ipari és energetikai szektorok kibocsátásait is képesek csökkenteni.

A Soproni Egyetem összes karának együttműködésében indult 2022-ben az ErdőLab projekt, melynek fő célja a hazai erdészeti és faipari szektor klímavédelmi szerepének és lehetséges mitigációs útvonalainak feltérképezése és hatásértékelése.

A projekt egyik célja volt az erdőgazdálkodás és a faipar, azaz együttesen a fagazdaság területét érintő klímitigációs stratégiák szénegyenlegének komplex vizsgálatára alkalmas szénforgalmi modell létrehozása, mely lehetővé teszi a különböző mitigációs útvonalak jövőbeli szénegyenlegének vizsgálatát. A modellezési munkában az Egyetem több kara, illetve külső kutatók is részt vettek. Doktori kutatásom ehhez a nagyobb kutatáshoz kapcsolódott, és próbált hozzájárulni a modellezési munka sikerességéhez.

A modellezési munka eredményeként született meg az Erdőipari Szén Modell (Forest Industry Carbon Model, FICM).

E modell fatermékekre vonatkozó (HWP) és agrárerdészeti részmodelljeinek kidolgozását önálló tudományos eredményeként tekintem és doktori értekezésem tárgyául választottam.

A doktori kutatásom fentiekhez kapcsolódó speciális célkitűzései az alábbiak voltak:

1. **Egy fatermék (HWP) részmodell kidolgozása**, mely az Üvegházhatású Gázleltárjelentés (ÜHG-leltár) készítését szabályozó, az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete (IPCC) által kidolgozott módszertannal konzisztens módon képes megbecsülni a fatermékek széntárolását és a belőlük az életidő végén keletkező széndioxid- és metán emissziókat, valamint számszerűsíti a termék- és energiahelyettesítés útján elkerült kibocsátásokat is.
2. **A HWP modell tesztelése kisebb volumenű, üzemszintű termelési szituációban**, illetve nagyobb léptékben, a hazai HWP széntároló országos szintű szénmérlegének modellezése útján.
3. **Agrárerdészeti részmodell kidolgozása**, mely az Országos Erdőállomány Adattár mezővédő erdősávokra vonatkozó adatain alapul, és az ÜHG-leltárral és az IPCC útmutatókkal konzisztens módon modellezi a mezővédő erdősávok szénmérlegét.
4. **Agrárerdészeti klímamitigációs intézkedések mitigációs potenciáljának értékelése** az agrárerdészeti részmodell felhasználásával.

Az FICM HWP részmodell létrehozása

Annak érdekében, hogy a fatermékek széntároló kapacitása optimalizálható legyen, nagyon fontos, hogy termelésük, felhasználásuk és hulladékkezelésük során is minél nagyobb mértékben érvényesítsük a klímavédelmi szempontokat. Ezért ismernünk kell a termékfejlesztés, újrahasznosítás és az egyes hulladékkezelési technológiák széntárolásra és kibocsátásokra gyakorolt hatásait.

A hazai fatermékekkel kapcsolatos országos szintű elemzések, illetve gyártói szintű hatásértékelések támogatására hoztam létre az FICM modell HWP részmodelljét az IPCC LULUCF-, valamint Hulladék szektoraira vonatkozó módszertani útmutatóiból kiindulva. A modell az IPCC módszertanból származó egyenletek alkalmazása mellett rendelkezik egy saját fejlesztésű újrahasznosítási- és hulladékút-választó modullal is. A modell képes előrevetíteni a fatermékek széntárolásának időtartamát, a belőlük származó szén-dioxid- és metán kibocsátások alakulását, illetve a kapcsolódó termék- és energiahelyettesítési hatások mértékét.

A modell a következő modulokból áll:

- **A használatban lévő fatermékek modulja:** modellezi a használatban lévő fatermékek szénkészletét és szénegyenlegét az életidő végéig, azaz a hulladékká válás időpontjáig.
- **Újrahasznosítási és hulladékút-választó modul:** a hulladékká váló fatermékek a modellben három különböző úton haladhatnak tovább, ezek az

újrahasznosítás, az égetés és a hulladéklerakás. A modellben beállítható, hogy az adott évben keletkező hulladékmennyiség milyen arányban kerüljön elosztásra az egyes útvonalak között. Az újrahasznosításra alokált mennyiség esetében az is megadható, hogy az újrahasznosított alapanyag milyen arányban kerüljön elosztásra az egyes termékkategóriák között.

- **A hulladék modul:** számítja a bioenergetikai felhasználásból származó szén-dioxid emissziókat, az égetéssel történő ártalmatlanítás emisszióit, valamint a fahulladék hulladéklerakással történő ártalmatlanítása során keletkező szén-dioxid- és metán emissziókat. Emellett számolni tud a hulladéklerakón történő metánvisszanyerés mértékének változásaival is.
- **A termék és energiahelyettesítési modul:** számszerűsíti a termék- és energiahelyettesítés útján az ÜHG-leltárak Ipar- és Energia szektoraiban elkerült kibocsátásokat. Ezek mértéke a fatermékek termelésének növekedésével nő. Illetve minél magasabb a nagy hozzáadott értékű, hosszú élettartamú fatermékek gyártásának aránya, annál nagyobb termék helyettesítési hatások érhetőek el. A termék helyettesítési modult az EFI európai szintű átfogó elemzését alapul véve dolgoztam ki.

Az FICM HWP részmodell Magyarországra specifikus paraméterezését a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai, az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) és az Országos Hulladékgazdálkodási Terv, valamint a Nemzeti Üvegházhatású Gázleltár jelentés adatai alapján végeztem el.

A létrehozott modell segítségével több különböző elemzést végeztem. Egyrészt vizsgáltam egyetlen hipotetikus gyártó egy évi termékmennyiségének életútját. Elemeztem a változó termékélettartamok, újrahasznosítási arányok és az eltérő hulladékgazdálkodási gyakorlatok hatását a lemezipari termékek szén-dioxid-tárolására. E hatások vállalati szintű nagyságrendjének számszerűsítése érdekében nyolc különböző forgatókönyv szerint készítettem prognózisokat 200 000 m³ forgácslap szén-dioxid tárolására, valamint szén-dioxid- és metán kibocsátásaira vonatkozóan.

Másrészt a teljes hazai HWP széntárolóra vonatkozó szénegyenleg elemzéseket is végeztem az 1985-2022-es historikus időszak, illetve a 2050-ig terjedő projekciós időszak vonatkozásában. A prognózisokban összesen 11 scenárióban vizsgáltam a hazai fatermékek várható szénegyenlegét.

Az FICM agrárerdészeti részmodell létrehozása

A LULUCF szektor döntő szerepet játszik a mezőgazdasági, energetikai és ipari szektorok ÜHG kibocsátásának ellensúlyozásában. Az agrárerdészet egy olyan földhasználati és gazdálkodási rendszer, amely a fák vagy cserjék termesztését integrálja a mezőgazdasági gyakorlatba, és kombinálja mezőgazdasági növények termesztésével vagy állattartással. Az agrárerdészeti rendszerek optimalizálják mindkét komponens, a fák és a mezőgazdasági tevékenységek előnyeit, növelve a termelékenységét, a biodiverzitást és a környezeti fenntarthatóságot. Az agrárerdészeti gyakorlatok kulcsfontosságúak a mezőgazdasági területeken a szénmegkötés és -tárolás fokozásában.

Az FICM modell agrárerdészeti részmodelljének kidolgozása során részletesen megvizsgáltam a hazai mezővédő erdősávokra vonatkozó adatokat, melyeket az Országos Erdőállomány Adattár 2020. évi statisztikai állapotából specifikus leválogatásokkal szűrtem le, és a Statistica szoftver (14.0.1.25. verzió, Tulsa, OK, USA) segítségével elemeztem.

Vizsgálatokat végeztem a mezővédő erdősávok záródásának és fatermőképességének fajtacsoportonkénti értékelésére is. Az így nyert adatok alapján végeztem el az FICM modell specifikus paraméterezését.

A létrehozott FICM agrárerdészeti részmodell felhasználásával értékeltem a magyarországi mezővédő erdősávok területének megduplázásával elérhető szénmegkötéseket és az éves átlagos klímamitigációs potenciált 2050-ig.

Az eredményeket összefoglaló tézisek

Az egyes tézispontok után szürkített mezőben találhatóak az adott tézist megalapozó tudományos közlemények.

1. AZ FICM HWP részmodelljének létrehozása

Megalkottam az FICM HWP részmodelljét a fatermékek széntárolásának és szénegyenlegének prognosztizálására. A modell konzisztens a Nemzeti Üvegházhatású Gázleltár jelentéssel, illetve az IPCC módszertanával. A modellel számszerűsíthető a fatermékekben megkötött- és tárolt szén mennyisége, illetve az életidő végén a fahulladékok kezelése során felszabaduló szén-dioxid- és metán kibocsátások nagyságrendje. A modell számol a fatermékek újrahasznosításával is. Termékhelyettesítési modulja segítségével pedig becsülhető a fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatása útján elkerült kibocsátások mértéke.

Király É. et al. (2024). *Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(6). <http://doi.org/10.1007/s11027-024-10161-1>

Király É. et al. (2024). *Climate Change Mitigation Through Carbon Storage and Product Substitution in the Hungarian Wood Industry. Wood Research*, 69(1), 72–86. <http://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286>

Király É. et al. (2023). *Modelling Carbon Storage Dynamics of Wood Products with the HWP-RIAL Model—Projection of Particleboard End-of-Life Emissions under Different Climate Mitigation Measures. SUSTAINABILITY*, 15(7). <http://doi.org/10.3390/su15076322>

2. Üzemi szintű szénforgalmi modellezés

Az FICM HWP modellt alkalmazva vizsgáltam különböző klímamitigációs intézkedések hatásait 200 000 m³ forgácslap széntárolására, valamint a hulladékká válását követő szén-dioxid- és metán kibocsátásaira. Megállapítottam, hogy az egyes mitigációs intézkedések

közül a megnövelt újrahasznosítási aránynak volt a legnagyobb mitigációs hatása. A forgácslap élettartamának meghosszabbítása kiegészítő intézkedés lehet az éghajlatváltozás mérséklésére, valamint a kaszkád-rendszerű újrahasználatra és újrahasznosításra, illetve a körkörös biogazdaság koncepciójának támogatására. Megállapítottam továbbá, hogy a lerakott fahulladék hosszú távon jelentős metán kibocsátás forrása, így a fahulladék égetéssel történő ártalmatlanítása előnyösebb a lerakásnál.

Király É. et al. (2023). *Modelling Carbon Storage Dynamics of Wood Products with the HWP-RIAL Model—Projection of Particleboard End-of-Life Emissions under Different Climate Mitigation Measures*. SUSTAINABILITY, 15(7). <http://doi.org/10.3390/su15076322>

3. Az erdészeti és faipari szektor historikus mitigációs szerepének elemzése

Az FICM HWP modell termékhelyettesítési moduljának alkalmazásával és az Üvegházhatású Gázleltár jelentés adatainak értékelésével megállapítottam, hogy az 1985-2021 közötti historikus időszakban az erdészeti és faipari szektorhoz kapcsolódó klímamitigációs hatás 49%-a az erdőkben történő széntárolás révén valósult meg, míg 4%-a a fatermékek széntárolása, 47%-a pedig a termék- és energiahelyettesítési hatások útján realizálódott.

Király É. et al. (2024). *Climate Change Mitigation Through Carbon Storage and Product Substitution in the Hungarian Wood Industry*. *Wood Research*, 69(1), 72–86. <http://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286>

4. A fatermékek országos szintű szénegyenlegére vonatkozó BAU prognózis

Az FICM HWP részmodellt alkalmazva egy Business as Usual scenárióra beállított országos szintű prognózis alapján megállapítottam, hogy további klímamitigációs intézkedések nélkül a magyarországi fatermékek 2047-re

szén-dioxid nyelőből kibocsátóvá válnak. A szénmegkötés folyamatos fenntartása érdekében elengedhetetlen további klímavédelmi intézkedések bevezetése, beleértve a kaszkád termékértékláncokat és a körkörös biogazdaság elveinek alkalmazását.

Király É. et al. (2024). *Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(6). <http://doi.org/10.1007/s11027-024-10161-1>

5. Különböző klímamitigációs intézkedések hatásai az országos HWP szénegyenleg alakulására

Az FICM HWP modellt alkalmazva országos szintű előrejelzést végeztem a hazai HWP széntároló szénegyenlegére vonatkozóan 11 különböző scenárióban. Ennek során megállapítottam, hogy a leghatékonyabb egyedi mitigációs intézkedések közé tartozik a termékek életidejének növelése, az újrahasznosítási arány növelése és az iparifa mennyiségének növelése az ipari választékarány növelésével, vagy a kitermelés fokozásával. Ezen intézkedések kombinációjával a 2022-2050 közötti időszakban éves átlagban maximum 1,5 Mt szén-dioxid egyenérték klímamitigációs potenciál érhető el. Ez az érték tovább lenne növelhető azáltal, ha a kitermelt faanyagot teljes egészében hazánkban dolgoznánk fel.

Király É. et al. (2024). *Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(6). <http://doi.org/10.1007/s11027-024-10161-1>

Király É. et al. (2024). *Climate Change Mitigation Through Carbon Storage and Product Substitution in the Hungarian Wood Industry. Wood Research*, 69(1), 72–86. <http://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286>

6. A háztartásokban elégetett fahulladék mennyiségi becslése

Az FICM HWP részmodell alkalmazásával megbecsültem a háztartásokban elégetett fahulladék évenkénti mennyiségét és fűtőértékét. Számításaim szerint a hulladékká váló fatermékek közül évente több mint 1,2 millió m³ kerülhet elégetésre háztartási tüzelő-berendezésekben, amelynek fűtőértéke 14 PJ. Az eredmények arra utalnak, hogy a Bio Screen CCE projekt által kimutatott biomassza-forráshiány jelentős része (39%-a) nem illegális fakitermelésből, hanem háztartási fahulladékégetésből ered.

Király É. et al. (2025). *Estimating the amount and heating value of wood waste burned in households based on FICM HWP model output data. Acta Agraria Debreceniensis*, 1, 79-84.
<https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/15104>

7. Az FICM Agrárerdészeti részmodelljének létrehozása

Megalkottam az FICM agrárerdészeti részmodelljét, melyet az Országos Erdőállomány Adattár mezővédő erdősávokra vonatkozó adatai, valamint nemzetközi szakirodalmi adatok segítségével paramétereztem. A részmodell alkalmas mezővédő erdősávok biomassza, holtfa, avar és talaj széntárolóira vonatkozó szénforgalmi prognózisok készítésére.

Király É. et al. (2024). *Carbon Sequestration in the Aboveground Living Biomass of Windbreaks—Climate Change Mitigation by Means of Agroforestry in Hungary. Forests*, 15(1).
<http://doi.org/10.3390/f15010063>

Király É. & Borovics A. (2024). *Preparatory Study for Carbon Sequestration Modelling of Agroforestry in Hungary – The Assessment of the Average Canopy Closure of Windbreaks. Hungarian Agricultural Research: Environmental Management Land Use Biodiversity*, 2024(1.), 4–8.

Király É., & Borovics A. (2024). *Preparatory study for carbon sequestration modelling of agroforestry systems in Hungary: The*

assessment of the yield class distribution of windbreaks. Acta Agraria Debreceniensis, (1), 73–78.

<http://doi.org/10.34101/actaagrar/1/13673>

Király É. et al. (2024). *Climate Benefit Assessment of Doubling the Extent of Windbreak Plantations in Hungary. Earth, 5(4), 654–669.*
<http://doi.org/10.3390/earth504003>

8. Mezővédő erdősávok területének megduplázására vonatkozó modellszámítás

Az FICM agrárerdészeti részmodelljének alkalmazásával megvizsgáltam a hazai mezővédő erdősávok területe megkétszerezésének klímamitigációs hatásait. Megállapítottam, hogy az újonnan létesített mezővédő erdősávok a 2050-ig terjedő időszakban összesen 913 kt szénket kötnének meg. Az újonnan telepített erdősávok átlagos éves klímamitigációs potenciálját pedig 144 kt széndioxid egyenértékre becsültem. Megállapítottam, hogy ez a klímamitigációs potenciál érték megegyezik a földhasználati- és erdészeti szektor (LULUCF) átlagos éves szénmegkötésének 2%-ával. Előrejelzésem szerint a szénmegkötés legjelentősebb része a biomassza széntárolóban valósulna meg.

Király É. et al. (2024). *Climate Benefit Assessment of Doubling the Extent of Windbreak Plantations in Hungary. Earth, 5(4), 654–669.*
<http://doi.org/10.3390/earth504003>

Következtetések

Doktori kutatásom során kidolgoztam az Erdőipari Szén Modell (FICM) fatermékekre (HWP) és agrárerdészeti rendszerekre vonatkozó részmodelljeit, amelyek alkalmasak a hazai faipari és agrárerdészeti szektorok klímamitigációs szerepének számszerűsítésére.

A HWP részmodell alkalmazásával igazoltam, hogy a faipari termékek széntároló funkciója, valamint a termék- és energiahelyettesítési hatások egyaránt jelentős mértékben járulnak hozzá Magyarország üvegházhatásúgáz-mérlegének javításához. Eredményeim ugyanakkor arra is rávilágítottak, hogy a Business as Usual forgatókönyv esetén a fatermékek szénnyelő szerepe középtávon megszűnik, és kibocsátóvá válhatnak. Ez indokolja új, a körkörös biogazdaság elvein alapuló klímavédelmi intézkedések bevezetését, különös tekintettel a termékek élettartamának növelésére, az újrahasznosítás fokozására és a hazai iparifa-feldolgozás arányának emelésére.

Az FICM modell járulékos eredményeként sikerült megbecsülnöm a háztartásokban elégetett fahulladék mennyiségét, amely egy eddig kevésbé vizsgált, de jelentős kibocsátási forrást tár fel. Ennek kezelése kulcsfontosságú mind környezetvédelmi, mind klímamitigációs szempontból, továbbá a körkörös biogazdaság logikája szerint is, hiszen az erdőforrások optimális felhasználása és újrahasznosítása érdekében a háztartási fahulladékégetés felszámolása elengedhetetlen.

Az agrárerdészeti részmodell alkalmazásával kimutattam, hogy a mezővédő erdősávok nemcsak a mezőgazdasági termelés

stabilitását növelik, hanem jelentős szénmegkötési potenciállal is bírnak. Területük megduplázása országos szinten számottevő klímamitigációs hatást eredményezne, amely a LULUCF szektor szénmérlegét javítaná.

Összességében kutatásom alátámasztja, hogy az erdészeti és faipari szektor integrált kezelése nélkülözhetetlen a klímacélok teljesítéséhez. A kifejlesztett modellek gyakorlati alkalmazása hozzájárulhat a nemzeti Üvegházhatású Gázleltár pontosításához, a tartós szén-dioxid-eltávolítás, a karbongazdálkodás és a termékekben való szén-dioxid-tárolás uniós tanúsítási keretrendszeréről szóló rendelet (CRCF, EU/2024/3012) szerinti karbon tanúsítás megalapozásához, valamint a hazai klímabarát erdőgazdálkodási, agráredészeti és faipari stratégiák kidolgozásához.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom:

Dr. Borovics Attilának

amiért elvállalta doktori kutatásom témavezetését, mindvégig irányt mutatott, minden kérdésemmel és problémámmal fordulhattam hozzá, és sosem maradtam tanács vagy megoldás nélkül. Külön köszönöm zseniális előadásait, melyeket nem csak tanulságos hallgatni, hanem örömteli és lelkesítő is.

Dr. Bidló Andrásnak

amiért másodéves környezetmérnök hallgató koromban megismertetett a szénmegkötés, a klímamitigáció és az Üvegházhatású Gázleltár világával. Bátorításának és példájának köszönhetem, hogy ezzel a szakterülettel foglalkozom immáron közel másfél évtizede.

Dr. Somogyi Zoltánnak

amiért bevezetett az Üvegházhatású Gázleltár mélységeibe és magasságaiba. A módszertani ismeretek átadásán túl köszönöm azt is, hogy elleshettem tőle a nemzetközi szintű angol tudományos szaknyelv használatának fortélyait. Legmeghatározóbb olvasmányaim között tartom számon angol nyelven írott műveit. Emellett köszönöm tudományetikai tanítását is.

Dr. Kottek Péternek

amiért már 2013-ban ráirányította a figyelmemet a fatermékek szénforgalmi modellezésének fontosságára. Emellett köszönöm a közös munkálkodást, mely az élet minden területére kiterjedt.

Szepesi Andrásnak

amiért megismertetett a LULUCF szektor szakpolitikai rejtelseivel és bevezetett az Agrárminisztérium fellegvárába.

Wisnovszky Károlynak

aki első munkaadóm és jóindulatú pártfogóm volt szárnyaim bontogatásának időszakában.

Kis-Kovács Gábornak

amiért megismertetett az Üvegházhatású Gázleltár Hulladék szektorának számításaival. A tőle tanultak képezték alapját a fatermék modell hulladék modulja megalkotásának.

Dr. Schiberna Endrének

aki osztályvezetőmként támogató szakmai közeget teremtett, és lehetőséget adott arra, hogy kutatásaim mellett fokozatosan bekapcsolódhassak az egyetemi oktatásba és a hallgatók témavezetésébe.

Dr. Illés Gábornak

a közös cikkeink szakmai színvonalát emelő, értékes meglátásaiért, valamint a reménybeli együttműködés jegyében, ami a klímaváltozás hatásait is integráló erdőállomány prognózis kidolgozását illeti.

Dr. Csépanyi Péternek

amiért szívesen fogadott az Örökerdő Szakosztály tagjai közé, és mindazért, amit az örökerdő üzemmód és a klímavédelem kapcsolatáról tanultam tőle.

Az Agrárminisztérium munkatársainak

a mindenkor támogató közös munkáért, és azért, hogy az Országos Erdőállomány Adattár adatait kutatási célokra a rendelkezésünkre bocsátották.

Az Erdészeti Tudományos Intézet összes munkatársának

amiért befogadtak maguk közé és támogató közeget biztosítottak a kutatásomhoz és a mindennapi munkavégzéshez.

A Soproni Egyetem összes munkatársának

a sok-sok tudásért, melyet környezetmérnök szakos hallgató koromban átadtak nekem, és amely megalapozta későbbi pályafutásomat és így a jelen kutatást is. Emellett köszönöm, hogy az utóbbi években immár kollégaként támogattak és segítettek a munkámban.

Publikációk jegyzéke

Q1-2 publikációk

- Borovics, A., Ábri, T., Benke, A., Illés, G., Király, É., Kovács, Z., Schiberna, E., & Keserű, Z. (2025). Carbon credit revenue assessment for four shelterbelt projects following EU CRCF protocols. *Agroforestry Systems*, 99(7), 214. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-0XXXX-X>
- Borovics, A., Király, É., & Kottek, P. (2025). Climate-change mitigation strategies at the level of a forestry company in the light of age-class legacy effects. *Annals of Forest Science*, 82(1). <https://doi.org/10.1186/s13595-025-01282-x>
- Borovics, Á., Király, É., Keserű, Z., & Schiberna, E. (2025). Balancing climate change adaptation and mitigation through forest management choices—A case study from Hungary. *Forests*, 16(11), 1724. <https://doi.org/10.3390/f16111724>
- Borovics, A., Király, É., Kottek, P., Illés, G., & Schiberna, E. (2025). From climate liability to market opportunity: Valuing carbon sequestration and storage services in the forest-based sector. *Forests*, 16(8), 1251. <https://doi.org/10.3390/f16081251>
- Király, É., Illés, G., & Borovics, A. (2025). Green infrastructure for climate change mitigation: Assessment of carbon sequestration and storage in the urban forests of Budapest, Hungary. *Urban Science*, 9(5), 137. <https://doi.org/10.3390/urbansci9050137>
- 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>
- Király, É., Bidló, A., Keserű, Z., & Borovics, A. (2024). Climate benefit assessment of doubling the extent of windbreak plantations in Hungary. *Earth*, 5(4), 654–669. <https://doi.org/10.3390/earth504003>
- Király, É., Forsell, N., Schulte, M., Kis-Kovács, G., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Kottek, P., Németh G., Polgár A., & Borovics, A. (2024). Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(6). <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10161-1>
- Király, É., & Borovics, A. (2024). Carbon sequestration of Hungarian forests by management system and protection status. *Trees*,

- Forests and People, 15, 100511.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100511>
- Király, É., Keserű, Z., Molnár, T., Szabó, O., & Borovics, A. (2024). Carbon sequestration in the aboveground living biomass of windbreaks—Climate change mitigation by means of agroforestry in Hungary. *Forests*, 15(1), 63.
<https://doi.org/10.3390/f15010063>
- Király, É., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2024). Climate change mitigation through carbon storage and product substitution in the Hungarian wood industry. *Wood Research*, 69(1), 72–86. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286>
- Borovics, A., Mertl, T., Király, É., & Kottek, P. (2023). Estimation of the overmature wood stock and the projection of the maximum wood mobilization potential up to 2100 in Hungary. *Forests*, 14(8), 1516.
<https://doi.org/10.3390/f14081516>
- Király, É., Kis-Kovács, G., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2023). Modelling carbon storage dynamics of wood products with the HWP-RIAL model—Projection of particleboard end-of-life emissions under different climate mitigation measures. *Sustainability*, 15(7), 6322.
<https://doi.org/10.3390/su15076322>
- Kottek, P., Király, É., Mertl, T., & Borovics, A. (2023). Trends of forest harvesting ages by ownership and function and the effects of the recent changes of the Forest Law in Hungary. *Forests*, 14(4), 679.
<https://doi.org/10.3390/f14040679>
- Király, É., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2022). Carbon sequestration in harvested wood products in Hungary: An estimation based on the IPCC 2019 Refinement. *Forests*, 13(11), 1809. <https://doi.org/10.3390/f13111809>

Egyéb teljes tudományos közlemények

- Borovics, A., Király, É., Széles, Z., & Csiha, C. (2025). Építési fatermékek a körkörös biogazdaság fókuszpontjában II. Erdészeti Lapok, 160(4), 153–157.
- Borovics, A., Ábri, T., Benke, A., Király, É., Kovács, Z., Schiberna, E., & Keserű, Z. (2025). A mezővédő fásításokból származó karbonkredit-bevétel becslése. Gazdálkodás, 69(2), 119–143. http://doi.org/10.53079/GAZDALKODAS.69.2.t.pp_119-143
- Borovics, A., Király, É., Széles, Z., & Csiha, C. (2025). Építési fatermékek a körkörös biogazdaság fókuszpontjában I. Erdészeti Lapok, 160(3), 99–102.
- Börsök, Z., Borovics, A., Polgár, A., Horváth, A. L., Kocsis, Z., & Szakálosné, M. K. (Eds.). (2025). Fosszilis energiaforrásokból származó szén-dioxid kibocsátás csökkentése fatüzeléssel történő helyettesítéssel. Soproni Egyetem Kiadó. <http://doi.org/10.35511/978-963-334-506-1>
- Borovics, A., Király, É., & Kottek, P. (2024). A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlegének előrejelzése az erdőipari szén modell felhasználásával. Erdészettudományi Közlemények, 14(1), 3. <http://doi.org/10.17164/EK.2024.02>
- Borovics, A., & Király, É. (2024). A carbon farming projektek és a fatermékekben megvalósuló széntárolás számszerűsítése és tanúsítása a CRCF rendelet szerint. Erdészeti Lapok, 159(11), 472–475.
- Borovics, A., & Király, É. (2024). Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF rendelet szabályrendszere. Erdészeti Lapok, 159(10), 418–423.
- Borovics, A., & Király, É. (2024). Az erdő alapú szektor szerepe a kvótakereskedelemben I.: Az államok közötti kvótakereskedelem és a köteles piacok szabályozásának áttekintése. Erdészeti Lapok, 159(9), 370–375.
- Borovics, A., & Király, É. (2024). Európa faellátása zavaros időkben. Erdészeti Lapok, 159(5), 194–199.
- Király, É., & Borovics, A. (2024). Implications for greenhouse gas balance in converting ten hectares of rotation forest to continuous cover management. Hungarian Agricultural Research: Environmental Management Land Use Biodiversity, 34(3–4), 4–10.
- Király, É., Kis-Kovács, G., Börsök, Z., Kocsis, Z., Kottek, P., Mertl, T., & Borovics, A. (2024). A hazai faiparhoz kapcsolódó klímamitigációs intézkedések hatásbecslése. Erdészettudományi Közlemények, 14(1), 9. <http://doi.org/10.17164/EK.2024.05>
- Király, É., & Borovics, A. (2024). Preparatory study for carbon sequestration modelling of agroforestry in Hungary – The assessment of the average canopy closure of windbreaks. Hungarian Agricultural Research: Environmental Management Land Use Biodiversity, 2024(I), 4–8.
- Király, É., & Borovics, A. (2024). Preparatory study for carbon sequestration modelling of agroforestry systems in Hungary: The assessment of the yield class distribution of windbreaks. Acta Agraria Debreceniensis / Agrártudományi Közlemények, (1), 73–78. <http://doi.org/10.34101/actaagrar/1/13673>
- Király, É., Börsök, Z., & Borovics, A. (2024). Climate change mitigation aspects of increasing industrial wood assortments of hardwood species in Hungary. In 11th Hardwood Conference Proceedings: Sopron, Hungary, 30–31 May 2024 (pp. 71–77).
- Király, É., & Borovics, A. (2024). Az új mexikói kvótakereskedelmi rendszer és erdészeti vonatkozásai. In Fenntarthatósági átmenet: Kihívások és innovatív megoldások – Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából (pp. 61–75). <http://doi.org/10.35511/978-963-334-499-6-Kiraly-Borovics>
- Kocsis, Z., Németh, G., Börsök, Z., Polgár, A., Király, É., & Kóczán, Z. (2024). A faipart mint megújuló és potenciális alternatív energiaforrás. Erdészeti Lapok, 159(2), 69–71.

- Borovics, A., & Király, É. (2023). The challenge of mobilizing the unused wood stock reserve to foster a sustainable and prosperous Hungarian forest industry. *Chemical Engineering Transactions*, 107, 637–642. <http://doi.org/10.3303/CET23107107>
- Borovics, A., Király, É., & Lomniczi, G. (2023). Városi zöld infrastruktúra fejlesztése az emberek és a környezet érdekében I. *Erdészeti Lapok*, 158(10), 394–397.
- Borovics, A., Kottek, P., & Király, É. (2023). Az erdészeti bioenergia hozzájárulása a karbonsemlegességhez. *Erdészeti Lapok*, 158(6), 223–226.
- Borovics, A., & Király, É. (2023). Klímamitigáció és alkalmazkodás a magyar erdőiparban. *Erdészeti Lapok*, 158(1), 5–9.
- Borovics, A., Király, É., & Lomniczi, G. (2023). Városi zöld infrastruktúra fejlesztése az emberek és a környezet érdekében II. *Erdészeti Lapok*, 158(11), 446–449.
- Király, É., Börcsök, Z., Kottek, P., Németh, G., Polgár, A., Papp, A., & Borovics, A. (2023). A new model for predicting carbon storage dynamics and emissions related to the waste management of wood products: Introduction of the HWP-RIAL model. *Acta Agraria Debreceniensis / Agrártudományi Közlemények*, 2023(1), 75–81. <http://doi.org/10.34101/actaagrar/1/12495>
- Kottek, P., Király, É., Mertl, T., & Borovics, A. (2023). The re-parametrization of the DAS model based on 2016–2021 data of the National Forestry Database: New results on cutting age distributions. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 19(2), 61–74. <http://doi.org/10.37045/aslh-2023-0005>
- Polgár, A., Szakálosné, M. K., Horváth, A. L., Kovács, Z., Vityi, A., Vágvölgyi, A., & Németh, G. (2023). Életciklus elemzés: A faalapú biomassa energetikai célú felhasználásának szénlábnyma és modellje, tűzifával való égetés CO₂-lábnymom elemzése. *Soproni Egyetem*.
- Borovics, A., & Király, É. (2022). Erdőalapú klímamitigáció és alkalmazkodás Európában I. *Erdészeti Lapok*, 157(11), 374–377.
- Borovics, A., & Király, É. (2022). Erdőalapú klímamitigáció és alkalmazkodás Európában II. *Erdészeti Lapok*, 157(12), 439–441.
- Borovics, A., & Király, É. (2022). Az erdőgazdálkodás szerepe a klímavédelemben az IPCC értékelő jelentése szerint. *Erdészeti Lapok*, 157(7–8), 265–268.
- Kocsis, Z., Németh, G., Börcsök, Z., Polgár, A., Király, É., Kóczán, Z., & Borovics, A. (2022). A faipari folyamatok szénlábnymom-elemzéséhez kapcsolódó logisztikai és energiafelhasználási konverziós faktorok megadása. *Erdészettudományi Közlemények*, 12(1), 57–73. <http://doi.org/10.17164/EK.2022.04>
- Kottek, P., & Király, É. (2019). A klíma változása kimutatható az Országos Erdőállomány Adattár klíma-kategóriáiban. *Erdészettudományi Közlemények*, 9(1), 7–18. <http://doi.org/10.17164/EK.2019.001>
- Bidló, A., Szűcs, P., Horváth, A., Király, É., Németh, E., & Somogyi, Z. (2014). Telepített kocsánytalan tölgy és akác fiatalosok hatása a talaj szénkészletére néhány dunántúli erdőtelepítés példáján. *Erdészettudományi Közlemények*, 4(2), 121–133.
- Király, É., & Kottek, P. (2014). A hazai faipari termékekben tárolt szén mennyiségének és készletváltozásának becslése a 2013 IPCC supplementary guidance módszertana alapján. *Erdészettudományi Közlemények*, 4(1), 95–110.

Egyéb válogatott közlemények

- Király, É., Tobisch, T., & Somogyi, Z. (2023). Harvested wood products. In Hungarian Meteorological Service, Unit of National Emissions Inventories (Ed.), National inventory report 1985–2021 for Hungary (pp. 385–386).
- Somogyi, Z., Tobisch, T., & Király, É. (2023). Land use, land-use change and forestry. In Hungarian Meteorological Service, Unit of National Emissions Inventories (Ed.), National inventory report 1985–2021 for Hungary (pp. 336–453).
- Király, É., & Kis-Kovács, G. (2022). Waste (CRF sector 5). In Hungarian Meteorological Service, Unit of National Emissions Inventories (Ed.), National inventory report 1985–2020 for Hungary (pp. 451–469).

Válogatott szóbeli előadások és poszter prezentációk

- Király, É., Börcsök, Z., & Borovics, A. (2024). Climate change mitigation aspects of increasing industrial wood assortments of hardwood species in Hungary [Konferencia előadás]. 11th Hardwood Conference, May 30–31, 2024, Sopron, Hungary.
- Király, É., & Borovics, A. (2023). Az új mexikói kvótakereskedelmi rendszer és erdészeti vonatkozásai [Konferencia előadás]. Fenntarthatósági átmenet: Kihívások és innovatív megoldások – Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából.
- Király, É., & Borovics, A. (2023). Az erdőgazdálkodási üzemmódok klímamitigációs szerepének értékelése [Konferencia előadás]. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap, November 9, 2023.
- Király, É., & Borovics, A. (2023). New HWP emission calculation tool – Hungary [Konferencia előadás]. JRC LULUCF Workshop, May 12, 2023, Ispra, Italy.
- Király, É. (2023). Városi erdők klímamitigációs szerepe [Konferencia előadás]. Országos Erdészeti Egyesület Visegrádi Helyi Csoport közgyűlése, February 22, 2023.
- Király, É. (2023). Új modell a fatermékek hulladékkezeléséhez kapcsolódó emissziók és a széntárolás előrejelzésére: A HWP-RIAL modell bemutatása [Konferencia előadás]. I. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, February 24–25, 2023.