

BOROVICS ATTILA

AZ ERDŐK SZÉNMEGKÖTÉSÉTŐL A KÖRKÖRÖS BIOGAZDASÁG FEJLESZTÉSÉIG

AZ ERDŐALAPÚ SEKTOR SZEREPE
A KLÍMAVÁLTOZÁS MÉRSÉKLÉSÉBEN

**Az erdők szénmegkötésétől
a körkörös biogazdaság fejlesztéséig**

**Az erdőalapú szektor szerepe
a klímaváltozás mérséklésében**



Szerkesztette: Borovics Attila

Az erdők szénmegkötésétől a körkörös biogazdaság fejlesztéséig

Az erdőalapú szektor szerepe a klímaváltozás
méréséklésében



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2026

Felelős kiadó:

Prof. Dr. Fábrián Attila
a Soproni Egyetem rektora

Szerkesztette:

Dr. Borovics Attila

Lektorálták:

Prof. Dr. Mátyás Csaba
Prof. Dr. Széles Zsuzsanna
Prof. Dr. Magoss Endre
Szepesi András

Címlapfotó:

© Borovics Attila

ISBN 978-963-334-572-6 (nyomtatott)

ISBN 978-963-334-573-3 (pdf)

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

ISBN 978-963-334-574-0 (epub)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-573-3>

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab-projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.



A könyv szerzői és lektorai	11
1. BEVEZETÉS	18
2. KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS KLÍMAMITIGÁCIÓ	25
2.1 A klímaváltozás problémája	26
2.2 A klímamitigáció fogalma	36
2.3 Eddigi politikai válaszok és mitigációs intézkedések	37
2.4 Globális klímamitigációs scenáriók az IPCC szerint	40
2.4.1 Mitigációs lehetőségek az energia rendszerekben	51
2.4.2 Mitigációs lehetőségek az iparban és a közlekedésben	52
2.4.3 Városokhoz, településekhez és az infrastruktúra elemeihez kapcsolódó mitigációs intézkedések	52
2.4.4 Mitigációs intézkedések a földi- és vízi rendszerekben, valamint az élelmiszer-ellátásban	53
2.4.5 Az egészségügyhöz és a táplálkozáshoz kapcsolódó mitigációs lehetőségek	54
2.4.6 Mitigáció a társadalom és a gazdaság szintjén	54
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	57
3. KLÍMAMITIGÁCIÓS STRATÉGIÁK A FAGAZDASÁGI SZÉKTORBAN	60
3.1 A négy erdőipari klímamitigációs útvonal	61
3.1.1 Széntárolás az ökoszisztémán belül	62
3.1.2 Széntárolás faalapú termékekben	62
3.1.3 Emissziók elkerülése termékhelyettesítés útján	63
3.1.4 Emissziók elkerülése energiahelyettesítés útján	63
3.2 Ellentmondásos jogi környezet	64
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	66
4. AZ ERDÉSZETI ÉS FAIPARI SZÉKTOR GLOBÁLIS KLÍMAMITIGÁCIÓS SZEREPE	71
4.1 A földhasználati és erdészeti szektor különleges szerepe a mitigáció terén	72
4.2 Erdőgazdálkodási gyakorlatok fejlesztése	74
4.3 A fatermékek klímavédelmi szerepe	76
4.4 Az agrárerdészeti rendszerek kiaknázatlan mitigációs potenciálja	76
4.5 Az IPCC által javasolt további lépések	78
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	78
5. EURÓPAI POLITIKAI KONTEXTUS	83
5.1 A Zöld megállapodás	84
5.2 Klímátörvény	86
5.3 Erdők szénmegkötése – Földhasználat, földhasználat-változás és erdőgazdálkodás (LULUCF)	87
5.4 Szén-dioxid-eltávolítás tanúsítása	89
5.5 Klímaadaptációs stratégia	90
5.6 Biodiverzitás stratégia	92

5.7 Új erdőstratégia 2030-ig	94
5.8 Globális erdőterület-csökkenés rendelet	97
5.9 Biomassza fenntarthatóság	98
5.10 Erdészeti szaporítóanyag forgalmazásának szabályozása	100
5.11 A természet helyreállításáról szóló rendelet	101
5.12 Erdészeti monitoring és stratégiai tervek	102
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	104
6. ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓ EURÓPÁBAN	109
6.1 Trendek az európai erdőalapú szektor szénmérlegének alakulásában	110
6.2 Erdőalapú klímamitigációs intézkedések Európában	113
6.3 A faipar kiemelt szerepe	116
6.4 Szinergiák és konfliktusok az intézkedéscsoportok között, ágazatközi kölcsönhatások	118
6.5 A klímaváltozás hatása a mitigációs potenciálra	123
6.6 Az alkalmazkodás elkerülhetetlen	126
6.7 A szénmegkötő gazdálkodás kiemelt szerepe a mitigációs célok elérésében	127
6.8 A jövő kutatási célterületei Európában	129
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	130
7. A HAZAI ERDÉSZETI ÉS FAIPARI SZEKTOR JELENLEGI SZÉNMRÉLEGE ÉS KLÍMAMITIGÁCIÓS SZEREPE	135
7.1 A hazai erdők átlagkorának alakulása	136
7.2 A hazai erdők üvegházhatásúgáz-leltára	138
7.3 A magyar erdészeti és faipari szektor mitigációs hatásának értékelése	140
7.4 A klímaváltozás magyar erdőkre gyakorolt hatásai és az adaptációs lehetőségek	145
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	150
8. AZ ERDŐIPARI SZÉN MODELL (FICM) LÉTREHOZÁSA	153
8.1 A magyar erdőkre paraméterezett erdőállomány prognózis modellek	154
8.2 Az Erdőipari Szén Modell (FICM)	154
8.2.1 Az erdő modul	156
8.2.2 A fatermék (HWP) modul	156
8.2.3 A hulladék modul	157
8.2.4 A termékhelyettesítési modul	157
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	158
9. AZ ERDŐKEZELÉSI FORGATÓKÖNYVEKET MEGALAPOZÓ HOZAMVIZSGÁLAT	161
9.1 A hozamvizsgálat módszertana	162
9.2 A túltartott állományok és a kezeletlen erdőterületek jellemzői	163
9.3 Az elérhető maximális hozamok előrejelzése 2100-ig	169
9.3.1 A fafajcsoportonkénti hozamok bemutatása	169
9.3.2 A korosztályszerkezet hatásai	178
9.3.3 Az elő- és véghasználati hozamok, illetve az iparifa kihozatal előrejelzésének eredményei	184

9.3.4 A hozamvizsgálat következtetései	186
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	188
10. MITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK EGYEDI HATÁSAINAK ÉRTÉKELÉSE A HAZAI ERDŐALAPÚ SZÉKTORBAN	193
10.1 A meglévő erdők és az ezekre alapuló faipar BAU szénmérlegének előrejelzése	194
10.2 Erdőtelepítés, illetve fajajcsere mitigációs hatásának előrejelzése	196
10.3 A faiparhoz kapcsolódó mitigációs intézkedések hatásbecslése	199
10.4 Agrárerdészeti megoldások mitigációs potenciáljának előrejelzése	202
10.5 A fakitermelés teljes elhagyásának hatása a mitigációs potenciálra	204
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	205
11. A HAZAI ERDÉSZETI ÉS FAIPARI SZÉKTOR SZÉNMRÉLEGÉNEK ELŐREJELZÉSE 2050-IG HÁROM SZCENÁRIÓBAN	208
11.1 A három erdőipari klímamitigációs scenárió felépítésének módszertana	210
11.2 A három vizsgált scenárió mitigációs potenciálja	214
11.3 Az erdőben és a technoszférában tárolt szén együttes szerepe a biogazdaság felé vezető úton	218
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	221
12. KLÍMAMITIGÁCIÓS STRATÉGIÁK EGY ERDŐGAZDASÁG SZINTJÉN – ESETTANULMÁNY	224
12.1 Az esettanulmány kontextusa	225
12.2 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat módszertana	228
12.2.1 A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők sajátosságai	228
12.2.2 Az adatforrás az Országos Erdőállomány Adattár	229
12.2.3 A használt modellek és a scenáriók paraméterezése	230
12.3 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat eredményei	233
12.4 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat következtetései	238
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	242
13. A HAZAI ERDŐALAPÚ SZÉKTOR JELENLEGI ÉS JÖVŐBELI SZEREPE A SZÉN-DIOXID-KVÓTAKERESKEDELEMBEN	247
13.1 Az államok közötti kvótakereskedelem és a megfelelési piacok szabályozásának áttekintése	248
13.1.1 A Párizsi Egyezmény kvótakereskedelmi rendszere	248
13.1.2 Az EU kvótakereskedelmi szabályozása	252
13.1.3 A LULUCF elszámolás speciális szabályai	256
13.2 Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF-rendelet szabályrendszere	258
13.2.1 Az önkéntes karbonpiacokról általában	258
13.2.2 A CRCF-rendelet megalkotása – a szabályozott önkéntes piac létrehozása az EU-ban	260
13.3 A Carbon Farming projektek és a fatermékekben megvalósuló széntárolás szám- szerűsítése és tanúsítása a CRCF-rendelet szerint	265

13.3.1 A szénmegkötések számszerűsítésének általános szabályai	265
13.3.2 A Carbon Farming tevékenységek tanúsításának szabályai	267
13.3.3 A termékekben megvalósuló széntárolás tanúsításának szabályai	268
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	271
14. ÖNKÉNTES KARBONPIACI PROJEKT TÍPUSOK AZ ERDÉSZETI SZEKTORBAN	274
14.1 Az erdőtelepítési projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	275
14.1.1 A CRCF-rendelet erdőtelepítésekre vonatkozó szabályozásának ismertetése.	275
14.1.2 Kvótakereskedelem esettanulmány: Erdőtelepítésből származó szén-dioxid kvótabevétel becslése az EU CRCF-rendeletének módszertana szerint	276
14.1.2.1 Az erdőtelepítés bemutatása.	276
14.1.2.2 A telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana	278
14.1.2.3 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása	279
14.1.2.4 Az erdőtelepítés szénmegkötése és a várható kvótabevételek 2055-ig	280
14.1.2.5 Következtetések: az erdőtelepítés ígértes és kifizetődő klímavédelmi beruházás	283
14.2 Az <i>Improved Forest Management</i> projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	284
14.2.1 A CRCF-rendelet szabályai és az <i>Improved Forest Management</i> projektek típusai	284
14.2.2 Kvótakereskedelem esettanulmány: <i>Improved Forest Management</i> projektből származó szén-dioxid kvótabevétel becslése az EU CRCF-rendeletének módszertana szerint.	286
14.2.2.1 A tervezett projekt helyszínének bemutatása	286
14.2.2.2 A tervezett projekt bemutatása.	292
14.2.2.3 A bázisvonal meghatározása	292
14.2.2.4 A fakitermelési, telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana.	294
14.2.2.5 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása	294
14.2.2.6 A várható szénmegkötés és kvótabevételek 2055-ig.	295
14.2.2.7 Az IFM-projektekkel kapcsolatos következtetések	299
14.3 Az agrárerdészeti projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	300
14.3.1 Agrárerdészeti megoldások az éghajlatváltozás mérséklésére és az alkalmazkodás elősegítésére a mezőgazdaságban.	300
14.3.2 A CRCF-rendelet fásításokra vonatkozó szabályozásának ismertetése	303
14.3.3 Kvótakereskedelem esettanulmány: Mezővédő fásításokból származó szén-dioxid kvótabevétel becslése az EU CRCF-rendeletének módszertana szerint	303
14.3.3.1 A tervezett fásítás bemutatása	304
14.3.3.2 A telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana	306
14.3.3.3 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása	308
14.3.3.4 A fásítás szénmegkötése és a várható kvótabevételek 2055-ig.	309
14.3.3.5 Következtetések: az agrárerdészet hatásos és kifizetődő klímavédelmi beruházás	312

14.4 A fa tartós beépítésére irányuló projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	313
14.4.1 A CRCF-rendelet szerinti tartós beépítési projektek általános jellemzői	313
14.4.2 Biogén vagy fosszilis alapú szerkezeti anyagok alkalmazása egy hatemeletes egyetemi épületben – karbonkredit számítás a CRCF-rendelet szabályai szerint	314
14.4.3 A szén-dioxid-egyenérték életciklus elemzés szemléletű számítása Környezetvédelmi terméknyilatkozatokhoz	321
14.4.4 Egy fából készült könnyűszerkezetes falszerkezet CO ₂ -egyenérték számítása	322
14.4.5 Következtetések: a tartós faépületek fenntartható és gazdaságos klímavédelmi beruházások	325
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	326
15. AZ ERDŐK KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSAINAK GAZDASÁGI ÉRTÉKELÉSE	331
15.1 A hazai erdei ökoszisztéma-szolgáltatások gazdasági értékelésének eddigi eredményei	333
15.2 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésének célja és elemei	335
15.3 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének módszertana	336
15.3.1 Teljes széntárolási érték	336
15.3.2 Szénmegkötési érték	337
15.3.3 Elkerült kibocsátás értéke	337
15.3.4 Piacosítható érték	337
15.4 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének eredményei	338
15.5 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének következtetései	340
15.6 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének összefoglalása	342
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	343
16. A HAZAI ERDŐKEZELÉS HÁROM REPREZENTATÍV SZCENÁRIÓJÁNAK KONCEPCIONÁLIS GAZDASÁGI HATÁSÉRTÉKELÉSE	346
16.1 Fahasználatok	347
16.2 Fafeldolgozás	349
16.3 Erdőfelújítások	350
16.4 Erdőtelepítések	354
16.5 Karbonbevételek	356
16.6 Összegzés	357
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	359
17. A FAALAPÚ SEKTOR SZEREPE A KÖRKÖRÖS BIOGAZDASÁG FEJLESZTÉSÉBEN	362
17.1 A körforgásos gazdaság fogalma	363
17.2 A biogazdaság fogalma	365



17.3 Építési fatermékek a körkörös biogazdaság fókuszpontjában	367
17.4 Az európai faipar helyzete és jövőképe	371
17.5 A fa alapanyag 7 legfontosabb előnye	375
❖ Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	377
18. UTÓSZÓ	380
Köszönetnyilvánítás	382
Szakkifejezések és rövidítések magyarázata	383
Irodalomjegyzék	394
Ábrajegyzék	409
Táblázatjegyzék	416



Fejezet	Szerzők
1. Bevezetés	Borovics Attila
2. Klímaváltozás és klímamitigáció	
2.1 A klímaváltozás problémája	Borovics Attila, Király Éva
2.2 A klímamitigáció fogalma	Borovics Attila, Király Éva
2.3 Eddigi politikai válaszok és mitigációs intézkedések	Borovics Attila, Király Éva
2.4 Globális klímamitigációs scenáriók az IPCC szerint	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
3. Klímamitigációs stratégiák a fagazdasági szektorban	
3.1 A négy erdőipari klímamitigációs útvonal	Borovics Attila
3.2 Ellentmondásos jogi környezet	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
4. Az erdészeti és faipari szektor globális klímamitigációs szerepe	
4.1 A földhasználati és erdészeti szektor különleges szerepe a mitigáció terén	Borovics Attila, Király Éva
4.2 Erdőgazdálkodási gyakorlatok fejlesztése	Borovics Attila, Király Éva
4.3 A fatermékek klímavédelmi szerepe	Borovics Attila, Király Éva
4.4 Az agrárerdészeti rendszerek kiaknázatlan mitigációs potenciálja	Borovics Attila, Király Éva, Keserű Zsolt
4.5 Az IPCC által javasolt további lépések	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
5. Európai politikai kontextus	
5.1 A Zöld megállapodás	Szepesi András
5.2 Klímatörvény	Szepesi András
5.3 Erdők szénmegkötése – Földhasználat, földhasználat-változás és erdőgazdálkodás (LULUCF)	Szepesi András
5.4 Szén-dioxid-eltávolítás tanúsítása	Szepesi András
5.5 Klímaadaptációs stratégia	Szepesi András
5.6 Biodiverzitás stratégia	Szepesi András
5.7 Új erdőstratégia 2030-ig	Szepesi András
5.8 Globális erdőterület-csökkenés rendelet	Szepesi András
5.9 Biomassza fenntarthatóság	Szepesi András
5.10 Erdészeti szaporítóanyag forgalmazásának szabályozása	Szepesi András



Fejezet	Szerzők
5.11 Természet helyreállítási rendelet	Szepesi András
5.12 Erdészeti monitoring és stratégiai tervek	Szepesi András
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Szepesi András
6. Erdőalapú klímamitigáció Európában	
6.1 Trendek az európai erdőalapú szektor szénmérlegének alakulásában	Borovics Attila, Király Éva
6.2 Erdőalapú klímamitigációs intézkedések Európában	Borovics Attila, Király Éva
6.3 A faipar kiemelt szerepe	Borovics Attila, Király Éva
6.4 Szinergiák és konfliktusok az intézkedéscsoportok között, ágazatközi kölcsönhatások	Borovics Attila, Király Éva
6.5 A klímaváltozás hatása a mitigációs potenciálra	Borovics Attila, Király Éva
6.6 Az alkalmazkodás elkerülhetetlen	Borovics Attila, Király Éva
6.7 A szénmegkötő gazdálkodás kiemelt szerepe a mitigációs célok elérésében	Borovics Attila, Király Éva
6.8 A jövő kutatási célterületei Európában	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
7. A hazai erdészeti és faipari szektor jelenlegi szénmérlege és klímamitigációs szerepe	
7.1 A hazai erdők átlagkorának alakulása	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
7.2 A hazai erdők üvegházhatásúgáz-leltára	Borovics Attila, Király Éva
7.3 A magyar erdészeti és faipari szektor mitigációs hatásának értékelése	Borovics Attila, Király Éva
7.4 A klímaváltozás magyar erdőkre gyakorolt hatásai és az adaptációs lehetőségek	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
8. Az Erdőipari Szén Modell (FICM) létrehozása	
8.1 A magyar erdőkre paraméterezett erdőállomány prognózis modellek	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
8.2 Az Erdőipari Szén Modell (FICM)	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
9. Az erdőkezelési forgatókönyveket megalapozó hozamvizsgálat	
9.1 A hozamvizsgálat módszertana	Borovics Attila, Király Éva, Mertl Tamás, Kottek Péter
9.2 A túltartott állományok és a kezeletlen erdőterületek jellemzői	Borovics Attila, Király Éva, Mertl Tamás, Kottek Péter

Fejezet	Szerzők
9.3 Az elérhető maximális hozamok előrejelzése 2100-ig	Borovics Attila, Király Éva, Mertl Tamás, Kottek Péter
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
10. Mitigációs intézkedések egyedi hatásainak értékelése a hazai erdőalapú szektorban	
10.1 A meglévő erdők és az ezekre alapuló fajpar BAU szénmérlegének előrejelzése	Borovics Attila, Király Éva
10.2 Erdőtelepítés, illetve fafajcsere mitigációs hatásának előrejelzése	Borovics Attila, Király Éva
10.3 A fajparhoz kapcsolódó mitigációs intézkedések hatásbecslése	Borovics Attila, Király Éva
10.4 Agrárerdészeti megoldások mitigációs potenciáljának előrejelzése	Borovics Attila, Király Éva, Szabó Orsolya, Keserű Zsolt
10.5 A fakitermelés teljes elhagyásának hatása a mitigációs potenciálra	Borovics Attila, Király Éva
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
11. A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlegének előrejelzése 2050-ig három scenárióban	
11.1 A három erdőipari klímamitigációs scenárió felépítésének módszertana	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
11.2 A három vizsgált scenárió mitigációs potenciálja	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
11.3 Az erdőkben és a technoszférában tárolt szén együttes szerepe a biogazdaság felé vezető úton	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
12. Klímamitigációs stratégiák egy erdőgazdaság szintjén – esettanulmány	
12.1 Az esettanulmány kontextusa	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
12.2 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat módszertana	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
12.3 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat eredményei	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
12.4 Az erdőgazdasági szintű vizsgálat következtetései	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
13. A hazai erdőalapú szektor jelenlegi és jövőbeli szerepe a szén-dioxid-kvótakereskedelemben	
13.1 Az államok közötti kvótakereskedelem és a megfelelési piacok szabályozásának áttekintése	Borovics Attila, Király Éva
13.2 Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF-rendelet szabályrendszere	Borovics Attila, Király Éva
13.3 A Carbon Farming projektek és a fatermékekben megvalósuló széntárolás számszerűsítése és tanúsítása a CRCF-rendelet szerint	Borovics Attila, Király Éva

Fejezet	Szerzők
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
14. Önkéntes karbonpiaci projektípusok az erdészeti szektorban	
14.1 Az erdőtelepítési projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	Borovics Attila, Király Éva, Benke Attila, Keserű Zsolt
14.2 Az <i>Improved Forest Management</i> projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	Borovics Ábel, Benke Attila, Borovics Attila, Király Éva, Schiberna Endre
14.3 Az agrárerdészeti projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	Borovics Attila, Ábri Tamás, Benke Attila, Király Éva, Kovács Zoltán, Schiberna Endre, Keserű Zsolt
14.4 A fa tartós beépítésére irányuló projektek a klímavédelemben és a kvótakereskedelemben	Borovics Attila, Csiha Csilla, Király Éva, Suri Vera, Magoss Endre
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
15. Az erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak gazdasági értékelése	
15.1 A hazai erdei ökoszisztéma-szolgáltatások gazdasági értékelésének eddigi eredményei	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
15.2 A fejezet célja	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
15.3 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének módszertana	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
15.4 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének eredményei	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
15.5 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének következtetései	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
15.6 Az erdőalapú klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének összefoglalása	Borovics Attila, Király Éva, Kottek Péter, Illés Gábor, Schiberna Endre
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
16. A hazai erdőkezelés három reprezentatív scenáriójának koncepcionális gazdasági hatásértékelése	
16.1 Fahasználatok	Schiberna Endre, Kovács Zoltán, Mertl Tamás, Hegedűs Attila
16.2 Fafeldolgozás	Schiberna Endre, Kovács Zoltán, Mertl Tamás, Hegedűs Attila
16.3 Erdőfelújítások	Hegedűs Attila, Kovács Zoltán, Mertl Tamás, Schiberna Endre
16.4 Erdőtelepítések	Kovács Zoltán, Hegedűs Attila, Mertl Tamás, Schiberna Endre
16.5 Karbonbevételek	Schiberna Endre, Király Éva, Kovács Zoltán, Mertl Tamás, Hegedűs Attila

Fejezet	Szerzők
16.6 Összegzés	Schiberna Endre, Király Éva, Kovács Zoltán, Mertl Tamás, Hegedűs Attila
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
17. Az erdőalapú szektor a biogazdaság fókuszpontjában	
17.1 A körforgásos gazdaság fogalma	Borovics Attila, Király Éva, Széles Zsuzsanna, Csiha Csilla, Schiberna Endre
17.2 A biogazdaság fogalma	Borovics Attila, Király Éva, Széles Zsuzsanna, Csiha Csilla, Schiberna Endre
17.3 Építési fatermékek a bioökonómia középpontjában	Borovics Attila, Király Éva, Széles Zsuzsanna, Schiberna Endre, Csiha Csilla
17.4 Az európai faipar helyzete és jövőképe	Borovics Attila, Király Éva, Széles Zsuzsanna, Csiha Csilla
17.5 A fa alapanyag 7 legfontosabb előnye	Borovics Attila, Király Éva, Széles Zsuzsanna, Csiha Csilla
Rövid összefoglaló – Mit jelent ez a gyakorlatban?	Borovics Attila, Király Éva
18. Utószó	Borovics Attila

A KÖNYV LEKTORAI

Prof. Dr. Mátyás Csaba akadémikus

Prof. Dr. Széles Zsuzsanna dékán, Soproni Egyetem Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar

Prof. Dr. Magoss Endre dékán, Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Szepesi András szakmai főtanácsadó





**AZ ÉRINTETLEN ESŐERDŐ, MINT LEHETSÉGES OPTIMÁLIS ÁLLAPOT
SEM ELÉG MA MÁR A SPONTÁN ALKALMAZKODÁSHOZ**

Az éghajlat eddig nem tapasztalt változása miatt az Amazonas-medence érintetlen esőerdeit ma már nem csak az illegális fakitermelés veszélyezteti. A legjobb szándékú védelem sem elég, ha közben megváltoztatjuk a felhők mozgását, a légi folyók folyásának irányát. A szárazodás az Amazonast sem kíméli, közel vagyunk ahhoz az átfordulási ponthoz, amely után már nincs visszaút és felnyíló szavannává válik az uralkodó tájkép. Ennek beláthatatlan következménye lehet az éghajlatra, az erdőkben eddig tárolt szén felszabadulása miatt.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

BEVEZETÉS

1.

A KLÍMAVÁLTOZÁS

negatív következményeit már jelenleg is világszerte tapasztaljuk, hatásainak enyhítése és az alkalmazkodás lesz az egyik legnagyobb kihívás, amellyel az emberiségnek az elkövetkező évtizedekben szembe kell néznie. A globális felszíni átlaghőmérséklet emelkedésének +2 °C alatt tartása szempontjából elengedhetetlen, hogy minden gazdasági szektorban az üvegházhatásúgáz-kibocsátás jelentős csökkentését hajtsuk végre. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) jelentései hangsúlyozzák, hogy a kibocsátások csökkentése mellett a szénelnyelő megoldásoknak is kikerülhetetlen szerepe lesz a nettó nulla kibocsátási szintű, dekarbonizált gazdasági rendszerekben.

Az erdők és az erdőalapú gazdaság különösen fontos szerepet játszanak ebben az összefüggésben, mind a fotoszintézis útján megvalósuló természetes szén-dioxid-nyelő képességük, mind pedig a társadalom számára nyújtott egyéb ökoszisztéma-szolgáltatásaik és a biodiverzitás megőrzésében betöltött kulcsfontosságú szerepük miatt.

Erdeink egyszerre élő és diverz ökoszisztémák, melyek a szén-dioxidot a levegőből kivonó szénpumpaként is funkcionálnak. Szénakkumulátorként képesek a megkötött szenet az élő biomasszában, a holt faanyagban, illetve a talajban tárolni. Ugyanakkor megújuló nyersanyagot biztosítanak, amely elősegíti a körkörös bioökonomia fejlődését és egy faalapú gazdaság kialakítását. A hosszú élettartamú fatermékekben, illetve épületek faszervezetében tárolt szén akár évszázadokon át megkötve maradhat. A fatermékek és a bioenergia minél nagyobb arányú felhasználása emellett az ipari és energetikai szektorokban kibocsátás-csökkentést eredményez azáltal, hogy szén-dioxid-intenzívebb termékek és fosszilis energiaforrások helyettesítését teszi lehetővé.

Az erdőalapú szektor akkor töltheti be leghatékonyabban klímaváltozás-mérséklő (azaz mitigációs) szerepét, hogyha alapos tudományos elemzés és szakpolitikai tervezés segítségével az adott országra vagy régióra optimalizált módon kezeljük erdeinket, figyelembe véve a különböző mitigációs lehetőségek kölcsönhatásait, valamint az egyéb ökoszisztéma-szolgáltatások biztosítását is.

A hazai erdészeti és faipari szektor klímamitigációs útvonalainak vizsgálatára jött létre az ErdőLab-projekt (Borovics 2022), mely a Soproni Egyetem összes kara és Erdészeti Tudományos Intézete együttműködésében valósult meg mintegy 150 kutató és egyéb szakember bevonásával. E könyvben adjuk közre a magyar fagazdasági szektor klímamitigációs útvonalaira vonatkozó átfogó elemzést, mely a projekt egyik legjelentősebb eredménye.

Elemzésünkben először általánosan bemutatjuk a klímaváltozás problémáját. Ez után fokozatosan szűkítve a fókuszot megvizsgáljuk az erdőalapú szektor globális szintű klímamitigációs szerepét, majd rátérünk az európai jellegzetességek bemutatására. Ez után vizsgáljuk meg a hazai fagazdaság jelenlegi klímamitigációs szerepét és jövőbeli lehetőségeit. Ennek keretében elemezzük a magyar erdők és fatermékek jelenlegi szénmérlegét, majd az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) adatainak értékelése segítségével megállapítjuk azt a hozam maximumot, amelyet erdeink fenntartható módon képesek biztosítani a fagazdaság számára. Ezt követően három reprezentatív erdőkezelési forgatókönyvet definiálunk, melyek az erdőkezelés lehetséges irányait és súlypontjait írják le. E forgatókönyvekben megvizsgáljuk a kiterjedt védelem és csökkentett fahasználat (extenzifikáció), az innovatív biogazdasági szemlélet, az adaptív erdőgazdálkodás és a növekvő fafelhasználás (intenzifikáció) hatásait, valamint elemzünk egy változatlan, azaz *Business as Usual* (BAU) forgatókönyvet is. Mindhárom forgatókönyv esetében előrejelezzük erdeink várható szénmérlegét a 2050-es céldátumig, és megvizsgáljuk, hogy mely kezelési változat a legkedvezőbb a klímaváltozás hatásainak mérséklése szempontjából.

Könyvünk második felében bemutatjuk a szén-dioxid-kvótakereskedelem nagy rendszereit, kitérünk az éppen most kialakuló európai szintű önkéntes szénpiac jellegzetességeire és megvizsgáljuk a hazai erdőalapú szektor szén-dioxid-kvótakereskedelemben betöltött jelenlegi és jövőbeli szerepét és lehetőségeit. A kvótakereskedelmi rendszerek összetett szabályrendszerének bemutatása mellett kitérünk az agrárerdészeti megoldások klímavédelmi szerepére és szén-dioxid árazási megoldásaira is.

Elemzésünk eredményei hozzájárulhatnak az erdőalapú ágazatot érintő szakpolitikai döntések előkészítéséhez, a leghatékosabb mitigációs és adaptációs intézkedések tudományosan megalapozott megtervezéséhez és kivitelezéséhez.




MÉRSÉKELT ÖVI ESŐERDŐ

A Vancouver-sziget sok száz éves erdeinek fennmaradását két tényező biztosítja: egyrészt a fenyők gyantaalapú védekezése a rovarokkal szemben; másrészt a kimagaslóan sok, akár 3000 mm feletti éves csapadékmennyiség, amely csökkenti a tűz kockázatát.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





**AZ ŐSHONOS BÜKK ÁLLOMÁNYOK SEM KERÜLHETIK EL
A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAIT, SEGÍTENI KELL AZ ALKALMAZKODÁSUKAT**

Az eddig nem tapasztalt, gyorsan változó környezeti feltételek között az adaptáció hatalmas kihívást jelent az erdők számára, és ez sok esetben meghaladja az erdei ökoszisztémák természetes alkalmazkodóképességét. Előrelátó, okos erdőkezeléssel, új fajokkal történő elegyítéssel, új szemléletű gyérítésekkel és a felújítás megsegítésével lehet ezt a folyamatot elősegíteni.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



A FAJOK VÁNDORLÁSÁNAK CSÚF ARCA

Ahol a kedvezőtlen körülmények között a genetikai változatosság drasztikusan csökken, ott tömeges pusztulási folyamat zajlik le. Itt van az alkalmazkodás korlátja, itt kell segíteni, új megoldásokat keresni.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS KLÍMAMITIGÁCIÓ

2.

NAPJAINKBAN

minden eddiginél gyorsabb klímaváltozást tapasztalunk. Az adaptáció hatalmas kihívást jelent, ami meghaladja az ökoszisztémák alkalmazkodóképességének léptékét, így emberi beavatkozás, segítség nélkül az alkalmazkodás kivitelezhetetlen. Könyvünk első fejezetében az IPCC hatodik értékelő jelentése (IPCC AR6SYR 2023) alapján mutatjuk be a klímaváltozás problémáját, okait, tendenciáját, a felmelegedés mértékét. Emellett megvizsgáljuk a hatodik értékelő jelentés által felvázolt globális klímamitigációs útvonalakat is, azaz a klímaváltozás mérséklésének lehetséges, az IPCC által valószínűsített forgatókönyveit. A klímaváltozás hazai vonatkozásait könyvünk 7. fejezete tárgyalja majd.

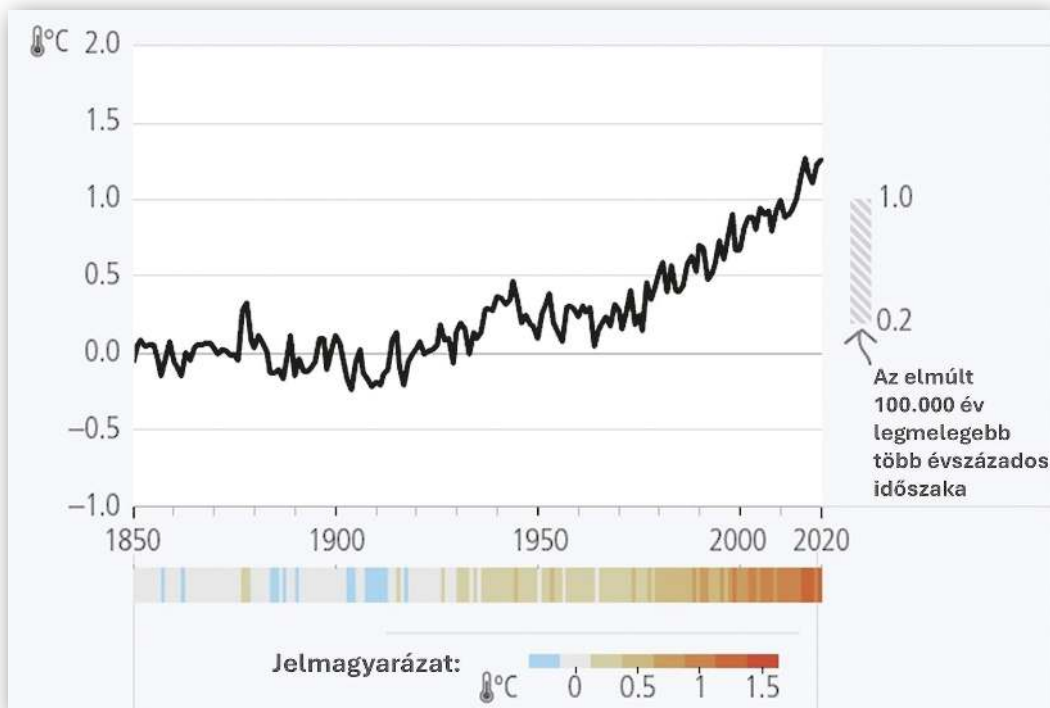
2.1 A KLÍMAVÁLTOZÁS PROBLÉMÁJA

Az 1988-ban létrejött Éghajlatváltozási Kormányközi Testület 1990-ben adta ki első értékelő jelentését (IPCC 1990), melyben az összes akkor elérhető tudományos ismeret feldolgozása és szintetizálása segítségével próbált választ adni arra a kérdésre, hogy valóban minden eddiginél gyorsabb léptékű változásoknak vagyunk-e tanúi, és a globális éghajlati rendszer felmelegedésének ténylegesen az emberi tevékenység-e az okozója. Az azóta eltelt három évtizedben a klímaváltozásra és az emberi tevékenység hatásmechanizmusaira vonatkozó tudományos ismeretek soha nem látott mértékű bővülését követhettük nyomon (1. ábra). Az első értékelő jelentés arra a következtetésre jutott, hogy az ember által okozott éghajlatváltozás hamarosan nyilvánvalóvá válik, de még nem tudta igazolni, hogy már folyamatban van. Ma már a bizonyítékok minden kétséget kizáróan alátámasztják, hogy az éghajlat valóban megváltozott az ipari forradalom előtti időkhöz képest, és a hatodik értékelő jelentés azt is egyértelműen kimondja, hogy az emberi tevékenységek a fő okozói ennek a változásnak (IPCC AR6WGI 2021).

Napjainkban már sokkal több adat áll rendelkezésre, és sokkal komplexebb modellek segítségével tudjuk vizsgálni, hogyan lép kölcsönhatásba a légkör az óceánnal, a jégtakaróval, a hóval, az ökoszisztémákkal és a Föld felszínével. A számítógépes klímaszimulációk is drámai fejlődésen mentek keresztül, sokkal több természetes folyamatot integrálnak és sokkal nagyobb térbeli felbontású előrejelzéseket képesek szolgáltatni. Emellett 1990 óta nagyszámú új adatgyűjtő műszert használnak a légkörben, a szárazföldön, a tengeren és az űrben is. Az éghajlati rendszerek folyamatainak megértése ezáltal sokat javult. 1990-ben nagyon keveset tudtunk arról, hogyan reagál a mélytenger az éghajlatváltozásra. Ma már a mélytengeri hőmérsékletek rekonstrukciói egészen 1871-ig nyúlnak vissza, amiből tudjuk, hogy az óceánok elnyelik az üvegházhatású gázok által csapdába ejtett többletenergia nagy részét, és ezáltal az óceánok mélyebb rétegei is folyamatosan melegszenek. 1990-ben viszonylag keveset tudtunk arról is, hogy hogyan és mikor reagál majd Grönland és az Antarktisz gigantikus jégtakarója a felmelegedésre. Ma már sokkal több adat és jobb modellek állnak rendelkezésre a jégtakaró viselkedéséről, amelyek a vártnál magasabb olvadási sebességet mutatnak, ami már erre az évszázadra a tengerszint jelentős emelkedését vetíti előre (IPCC AR6WGI 2021).

Az 1990-es évek legtöbb éghajlati modellje az atmoszférára koncentrált, és csak nagyon leegyszerűsített módon reprezentálta az óceánokat és a szárazföldi felszíneket. Ezzel szemben a mai földrendszer-szimulációk részletes modelleket tartalmaznak az óceánok, a jégtakaró, a hótakaró, valamint a növényzet változásairól is. A modellek tesztelésének legjobb lehetősége az 1850 óta eltelt időszak validáló szimulációja, hiszen ebből az időből már rendelkezünk adatokkal a Föld éghajlatának tapasztalt változásairól. Az ilyen tesztelések több fordulója is lejajlott 1990 óta, és a tesztelés protokollja is sokkal





2. ÁBRA

A globális felszíni hőmérséklet növekedése az 1850–1900-as szinthez képest.

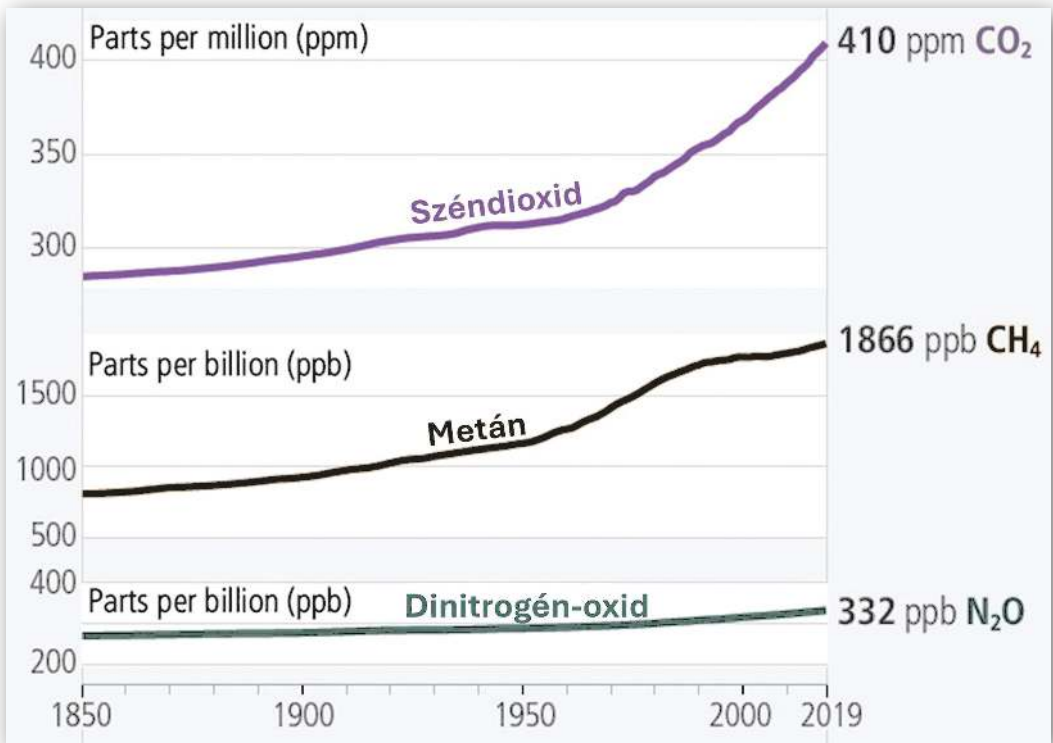
A jobb oldali függőleges sáv a becsült hőmérsékletet mutatja az elmúlt 100 000 év legmelegebb időszakában, amely körülbelül 6500 évvel ezelőtt, a jelenlegi interglaciális (holocén) időszakban volt. (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

szigorúbbá és kiterjedtebbé vált. A modellek csoportosan és nagy léptékben jól előre jelezték a megfigyelt változásokat ezekben a validáló tesztekben. Az elméleti fizikai számítások szerint az emberi hatás a légköri rendszerben specifikus változási mintázatokat generál: az éjszakák gyorsabban melegeknek, mint a nappalok, kevesebb hó távozik az úrbe, a troposzféra melegszik, míg a sztratoszféra lehül. Ezeket a mintázatokat mind a klímaszimulációk, mind pedig a mérési eredmények igazolják, ezzel alátámasztva a tudományos modellezés pontosságát (IPCC AR6WGI 2021).

Az IPCC hatodik értékelő jelentése szerint a globális felszíni hőmérséklet 1970 óta gyorsabban emelkedett, mint bármely más 50 éves periódusban az elmúlt 2000 évben. A globális felszíni hőmérséklet 1,1 °C-kal volt magasabb a 2011–2020 időszakban az 1850–1900 szinthez viszonyítva (2. ábra). A szárazföldön nagyobb mértékű (1,59 °C) hőmérséklet-emelkedést lehetett megfigyelni, mint az óceánok felett (0,88 °C).

A megfigyelt felmelegedést az üvegházhatású gázok (ÜHG) növekvő légköri koncentrációja okozza (3. ábra). A legjelentősebb üvegházhatású gáz a szén-dioxid (CO₂) és a metán (CH₄). E gázok felmelegítő hatásait az aeroszokok hűtő hatásai részben ellensúlyozzák.

A 2019-es évben a légköri CO₂ koncentráció elérte a 410 ppm-es szintet, a CH₄ koncentráció pedig az 1866 ppb szintet. A légkör dinitrogén-oxid (N₂O)-tartalma ekkor a 332 ppb-re volt tehető. A felmelegedést okozó jelentős ágensek még a troposzférikus ózon (O₃) és a halogénezett szénhidrogén gázok. A CH₄ és az N₂O koncentrációja napjainkra olyan szintre emelkedett, amelyre az elmúlt 800 ezer év során nem volt példa, és nagy a valószínűsége annak, hogy a jelenlegi CO₂ koncentráció magasabb, mint az elmúlt kétmillió év során bármikor. 1850 óta a CO₂ koncentrációjának 47%-os és a CH₄ koncentrációjának 156%-os növekedése messze meghaladja a glaciális és interglaciális időszakok között az elmúlt 800 ezer év során tapasztalt több évezredes időintervallumok alatt bekövetkező természetes változások bármelyikét. Az antropogén aeroszolok nettó hűtőhatása a 20. század végén érte el a csúcst, azóta viszont csökkenő tendenciát mutat (IPCC AR6SYR 2023).



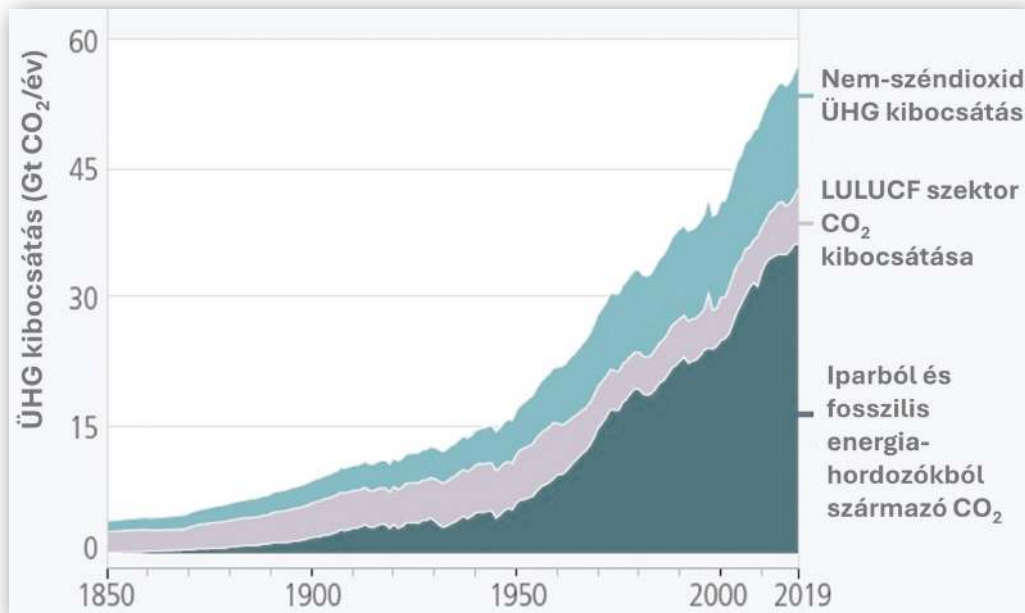
Az átlagos éves ÜHG-kibocsátás a 2010–2019 közötti időszakban magasabb volt, mint bármely korábbi évtizedben, de a növekedés üteme 2010 és 2019 között (évi 1,3%) alacsonyabb volt, mint 2000 és 2009 között (évi 2,1%). A múltbeli összesített nettó CO₂-kibocsátás 1850 és 2019 között 2400 ± 240

3. ÁBRA

Az üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának növekedése 1850 óta.

A skálák az egyes gázok globális felmelegedéshez történő hozzájárulásának arányában vannak beállítva. (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

GtCO₂ volt. Ennek több mint fele (58%) 1850 és 1989 között került az atmoszférába, míg körülbelül 42%-a pedig 1990 és 2019 között. A nettó ÜHG-kibocsátás 2010 óta globális szinten minden szektorban nőtt (4. ábra).



4. ÁBRA

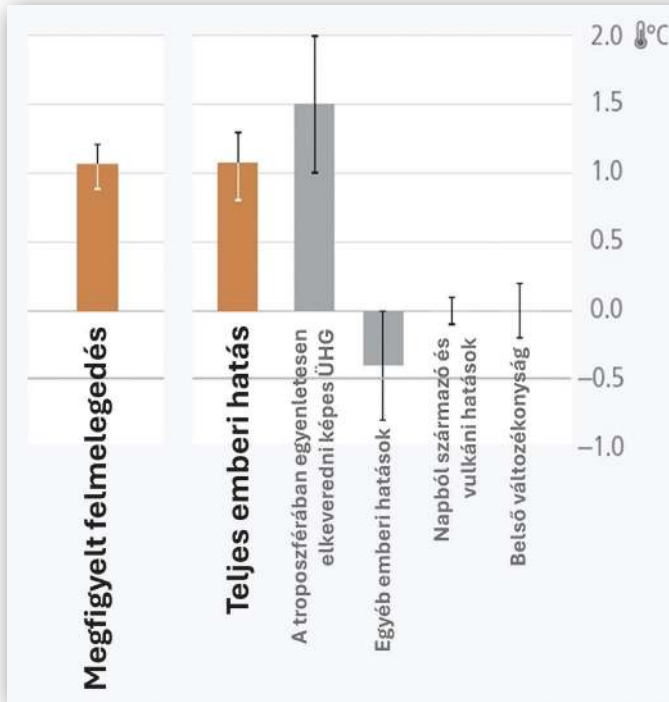
Az emberi tevékenységből származó üvegházhatásúgáz (ÜHG)-kibocsátás 1850 és 2019 között.

A globális nettó antropogén ÜHG-kibocsátás magában foglalja a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből és az ipari folyamatokból származó CO₂-t (sötétkék); a földhasználatból, a földhasználat megváltoztatásából és az erdőgazdálkodásból (LULUCF) származó nettó CO₂-kibocsátást (lila); a nem-szén-dioxid ÜHG-kibocsátást, melybe a CH₄, N₂O és a halogénezett szénhidrogén gázok (HFC-k, PFC-k, SF₆, NF₃) kibocsátása tartozik (világoskék). (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

2019-ben a nettó globális ÜHG-kibocsátás körülbelül 34%-a (20 Gt szén-dioxid-egyenérték, azaz GtCO₂eq) az energiaszektorból, 24%-a (14 GtCO₂eq) az iparból, 22%-a (13 GtCO₂eq) a földhasználati és erdészeti szektor mellett a mezőgazdasági termelés közvetlen kibocsátásait is tartalmazó AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Uses) szektorból, 15%-a (8,7 GtCO₂eq) pedig a közlekedésből származott, míg az épületek 6%-ért (3,3 GtCO₂eq) voltak felelősek. Az átlagos éves ÜHG-kibocsátás növekedése 2010 és 2019 között lelassult az előző évtizedhez képest az energiaellátásban (2,3%-ról 1,0%-ra) és az iparban (3,4%-ról 1,4%-ra), a közlekedés területén pedig nagyjából változatlan maradt, évi 2% körüli szinten. A teljes globális szintű nettó AFOLU kibocsátás körülbelül fele a földhasználati és erdészeti szektorból (azaz a LULUCF-szektorból) származott, melyért túlnyomórészt az erdőirtások voltak felelősek. Ennek ellenére a LULUCF-szektor összességében nettó szénelnyelőként viselkedett, azaz az

szektori szinten minden szektorban nőtt (4. ábra).

itt tapasztalható kibocsátások mértékét meghaladta a megvalósult szén-dioxid-megkötések mértéke, így a LULUCF-szektor $-6,6 (\pm 4,6)$ GtCO₂/év nettó szén-dioxid-nyelést produkált a 2010–2019 közötti időszakban (IPCC AR6SYR 2023).



Az IPCC hatodik értékelő jelentése kimondja, hogy bizonyított tény az, hogy a globális éghajlati rendszer felmelegedését emberi hatások eredményezik, és a légköri ÜHG-koncentráció megfigyelt növekedését 1850 óta egyértelműen az emberi tevékenységből származó többlet ÜHG-kibocsátás okozza (5. ábra és 6. ábra). Az éghajlatváltozás fő emberi eredetű okozói az üvegházhatású gázok, amelyeket a fosszilis tüzelőanyagok égetése, az erdőirtás és a mezőgazdaság bocsát ki, és amelyek melegítik a bolygót. Ezzel szemben az aeroszolok hűtő hatással rendelkeznek, így csökkentik az üvegházhatást. Ilyen aeroszol például a kén-dioxid, amely a szén égetése során kerül a légkörbe, és amely rövid távú hűtő hatással rendelkezik, ami részben ellensúlyozza az ember okozta felmelegedést. Emellett a vulkáni tevékenységből természetes úton a légkörbe kerülő aeroszolok is hűtő hatásúak (IPCC AR6SYR 2023).

5. ÁBRA

A megfigyelt felmelegedés az iparosodás előtti idők óta, és az emberi hatások komponensei.

A felmelegedést az emberi tevékenységből származó kibocsátások okozzák. Az üvegházhatású gázok melegítő hatását részben ellensúlyozza az aeroszolok hűtő hatása. (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

Változás indikátora	Megfigyelt változás bizonyosságának értékelése	Emberi hatás bizonyosságának értékelése
Atmoszféra és víz ciklus	Az átlagos felszíni léghőmérséklet globális szintű emelkedése az 1850-1900-as időszak óta	Emberi hatás nagy valószínűségű tartomány 0,9-1,2 °C
	A troposzféra melegedése 1979 óta	Fő hajtóerő
	Az alsó sztratoszféra lehűlése a 20. század közepe óta	Fő hajtóerő 1979 és 1995 között
	A csapadékesemények és a felső troposzféra nedvességtartalmának nagyrányú változásai 1979 óta	
	A Hadley-cella átlagos kiterjedésének növekedése az 1980-as évek óta	Déli féltéke
Óceán	Óceán hőmérsékletének növekedése az 1970-es évek óta	Fő hajtóerő
	Sótartalom változása a 20. század közepe óta	
	Globális átlagos tengerszint emelkedése 1970 óta	Fő hajtóerő
Krioszféra	Északi-sarkvidéki tengari jég olvadása 1979 óta	Fő hajtóerő
	Az északi féltéke tavaszi hóborítottságának csökkenése 1950 óta	
	Grönland jégtakarójának tömegvesztése 1990 óta	
	Antarktisi jégtakaró térfogatvesztése 1990 óta	Korlátozott bizonyosság & közepes egyértéktés
	Gleccserek visszahúzódása	Fő hajtóerő
Szén ciklus	Az atmoszférikus CO ₂ koncentráció változásának megnövekedett szezonális amplitúdója az 1960-as évek eleje óta	Fő hajtóerő
	Az óceánok felszíni vizeinek savasodása	Fő hajtóerő
Szárazföldi klíma	A földfelszíni légréteg átlagos hőmérsékletének melegedése (40%-kal magasabb, mint az átlagos globális hőmérséklet emelkedése)	Fő hajtóerő
Szintézis	A globális éghajlati rendszer melegedése az iparosodás előtti idők óta	

Jelmagyarázat:

Közepes megbízhatóság	Valószínű/magas megbízhatóság	Nagy valószínűségű	Extrémén nagy valószínűségű	Dyknoriatilag biztos	Tény
-----------------------	-------------------------------	--------------------	-----------------------------	----------------------	------

6. ÁBRA

Az éghajlat nagyleptékű átlagos mutatóiban megfigyelt változások értékelése az éghajlati rendszer összetevői szerint, valamint az emberi hatások vizsgálata a megfigyelt folyamatokban.

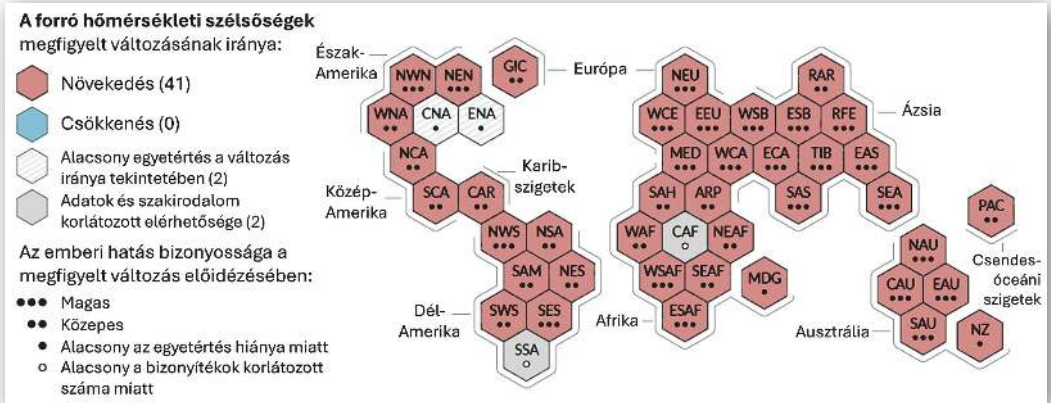
A színek jelzik a megfigyelt változás megbízhatóságát/valószínűségét, valamint az emberi hozzájárulást hajtóerőként vagy fő hajtóerőként (ez külön fel van a cellákban tüntetve). (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

Az IPCC megállapítja, hogy a légkör, az óceán és a szárazföld felmelegedése is emberi hatásra következett be. Az éghajlati rendszer egészét érintő közelmúltbeli változások léptéke és az éghajlati rendszer jelenlegi állapota sok ezer év óta példátlan. Az IPCC értékelése szerint nagyon valószínű, hogy az üvegházhatásúgáz-kibocsátása volt a troposzféra felmelegedésének fő mozgatórugója. Gyakorlatilag biztos tényként nevezi meg az IPCC azt is, hogy a globális óceán felső rétege (0–700 m) felmelegedett az 1970-es évek óta. Az óceán felmelegedése volt a legjelentősebb változás, mely az éghajlati rendszer felmelegedésének

91%-át tette ki. A talaj felmelegedése, a jégtakaró csökkenése és a légkör felmelegedése körülbelül 5%, 3% és 1% részarányban szerepelnek az éghajlati rendszer teljes felmelegedésében.

A globális átlagos tengerszint 0,2 méterrel nőtt 1901 és 2018 között. A tengerszint emelkedésének átlagos üteme 1,3 mm/év volt 1901 és 1971 között, ami 1,9 mm/évre nőtt 1971 és 2006 között, majd tovább fokozódott 3,7 mm/évre 2006 és 2018 között. Valószínűleg az emberi befolyás volt a fő hajtóereje a tengerszint növekedésének 1971 óta. Emellett az IPCC valószínűsíti, hogy az emberi hatások a fő mozgatórugói a gleccserek globális visszahúzódsának is az 1990-es évek óta, valamint a sarkvidéki tengeri jégtakaró csökkenésének is. Gyakorlatilag bizonyos az is, hogy az emberi eredetű CO₂-kibocsátás a fő oka az óceánok felszíni rétegében megfigyelhető savasodásnak (IPCC AR6SYR 2023).

Az ember által indukált éghajlatváltozás már jelenleg is számos időjárási és éghajlati szélsőséget eredményez a világ minden régiójában. Az IPCC ötödik értékelő jelentésének (IPCC 2014) kiadása óta megerősödtek az olyan szélsőségekben megfigyelt változások, mint a hóhullámok, a heves csapadékesemények, az aszályok és a trópusi ciklonok, és egyre nagyobb bizonyosságú, hogy ezek a kedvezőtlen változások is az emberi hatások eredményeképpen következtek be (7. ábra–9. ábra).



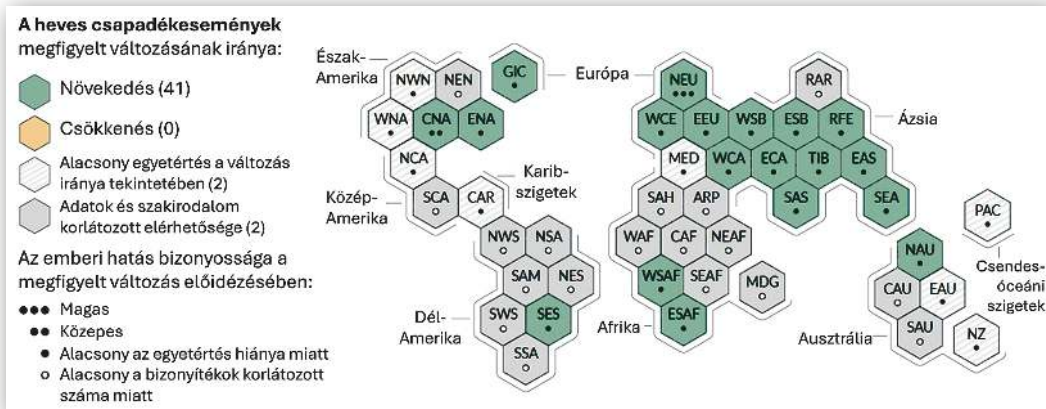
7. ÁBRA

A forró hőmérsékleti szélsőségekben megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában.

[Észak-Amerika: NWN (Észak-Nyugat Észak-Amerika), NEN (Észak-Kelet Észak-Amerika), WNA (Észak-Amerika nyugati része), CNA (Közép-Észak-Amerika), ENA (Észak-Amerika keleti része), Közép-Amerika: NCA (Észak-Közép-Amerika), SCA (Dél-Közép-Amerika), CAR (Karib-térség), Dél-Amerika: NWS (Észak-Nyugat Dél-Amerika), NSA (Észak-Dél-Amerika), NES (Északkelet-Dél-Amerika), SAM (Dél-Amerikai Monzun), SWS (Dél-Amerika délnyugati része), SES (Dél-Amerika délkeleti része), SSA (Dél-Amerika déli része), Európa: GIC (Grönland/Izland), NEU (Észak-Európa), WCE (Nyugat- és Közép-Európa), EEU (Kelet-Európa), MED (Mediterrán), Afrika: MED (Mediterrán), SAH (Szahara), WAF (Nyugat-Afrika), CAF (Közép-Afrika), NEAF (Északkelet-Afrika), SEAF (Délkelet-Afrika), WSAF (Nyugat-Dél-Afrika), ESAF (Kelet-Dél-Afrika), MDG (Madagaszkár), Ázsia: RAR (orosz Sarkvidék), WSB (Nyugat-Szibéria), ESB (Kelet-Szibéria), RFE (Oroszország Távols-Kelet), WCA (Nyugat-Közép-Ázsia), ECA (Kelet-Közép-Ázsia), TIB (Tibeti-fennsík), EAS (Kelet-Ázsia), ARP (Arab-félsziget), SAS (Dél-Ázsia), SEA (Délkelet-Ázsia), Ausztrálázsia: NAU (Észak-Ausztrália), CAU (Közép-Ausztrália), EAU (Kelet-Ausztrália), SAU (Dél-Ausztrália), NZ (Új-Zéland), Kis szigetek: CAR (Karib-térség), PAC (Csendes-óceáni kis szigetek)] (Forrás: IPCC AR6WGI 2021)

Gyakorlatilag biztos, hogy a forró hőmérsékleti szélsőségek az 1950-es évek óta gyakoribbá és intenzívebbé váltak a legtöbb szárazföldi régióban (7. ábra), míg a hideg szélsőségek ritkábbak és kevésbé súlyosak. A tengeri hóhullámok gyakorisága az 1980-as évek óta megközelítőleg megkétszereződött, és nagy valószínűséggel e hóhullámok legnagyobb része 2006 óta emberi befolyás hatására alakult ki (IPCC AR6WGI 2021).

A heves csapadékesemények gyakorisága és intenzitása az 1950-es évek óta nőtt a legtöbb szárazföldi területen, ahol a mérési adatok lehetővé teszik a trendelemzést (8. ábra).



8. ÁBRA

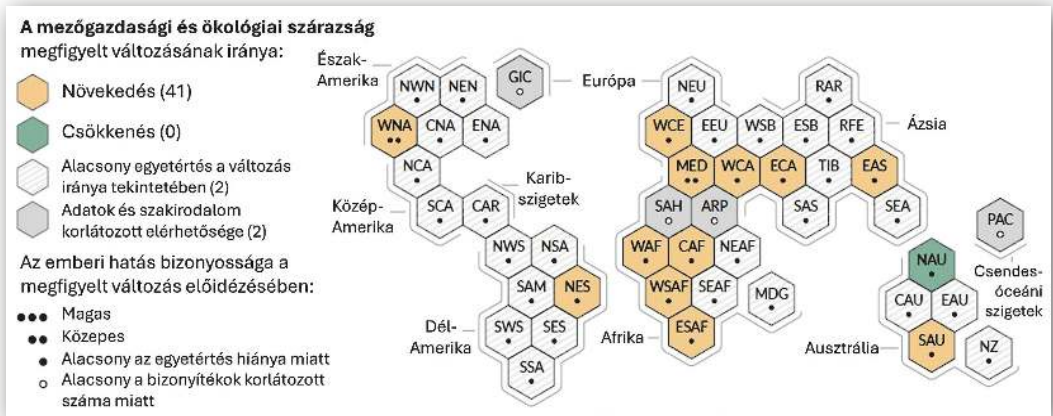
A heves csapadékeseményekben megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában. (Forrás: IPCC AR6WGI 2021)

Az ember okozta éghajlatváltozás egyes régiókban hozzájárult a mezőgazdasági és ökológiai aszályok előfordulásának növekedéséhez (9. ábra). Emellett valószínű, hogy az elmúlt négy évtizedben nőtt a jelentősebb (3–5. kategóriájú) trópusi ciklonok előfordulásának globális aránya is (IPCC AR6WGI 2021).

Összességében elmondható, hogy az éghajlatváltozás jelentős károkat és egyre irreverzibilisebb változásokat és veszteségeket okozott a szárazföldi, édesvízi és nyílt óceáni ökoszisztémákban, valamint a krioszférában (azaz a jégmezőkön, a kontinenseken található hótakaróban, a gleccserekben, a tengeri jégtakaróban és a kontinensek peremén kialakuló jégtakaróban). Összességében a hatodik értékelő jelentés megállapítja, hogy a klímaváltozás hatásainak mértéke és kiterjedése nagyobb, mint ahogyan azt a korábbi IPCC értékelő jelentések becsülték.

A globális értékelés során vizsgált fajok hozzávetőleg felének elterjedési területe a pólusok felé vagy nagyobb tengerszint feletti magasságok irányába tolódott el. A biológiai adaptáció, beleértve a földrajzi elhelyezkedés változásait és a fenológiai változásokat gyakran nem elegendőek az éghajlatváltozással való megbirkózáshoz. Ezt bizonyítja az, hogy több száz helyi kihalási esemény következett be forró hőmérsékleti szélsőségek hatására a szárazföldön és az óceánban lezajlott tömeges mortalitás eredményeképp. A hatások egyes ökoszisztémákra nézve közelítenek a visszafordíthatatlanhoz. Ilyenek például a gleccserek visszahúzódásából eredő hidrológiai változások, vagy egyes hegyvidéki és sarkvidéki ökoszisztémák változásai, amelyeket a permafroszt olvadása okoz. A lassan

fokozódó folyamatok, mint például az óceánok savasodása, a tengerszint emelkedése vagy a csapadékmennyiség regionális csökkenése szintén az ember okozta klímaváltozásnak tulajdoníthatóak, és hosszú távon jelentős hatást gyakorolhatnak minden ökoszisztémára. Az IPCC megállapítja, hogy a klímaváltozás hozzájárult az elsivatagosodáshoz és a talajpusztulás súlyosbodásához, különösen az alacsonyan fekvő tengerparti területeken, a folyódeltekben, az egybefüggő szárazföldi területeken és a permafroszt területeken. A part menti vizes élőhelyek közel 50%-a megsemmisült az elmúlt 100 évben a helyi emberi hatások, a tengerszint emelkedés, a felmelegedés és a szélsőséges éghajlati események együttes hatásai miatt.



Az IPCC figyelmeztet, hogy a klíma változása már napjainkban is világszerte jelentős negatív hatást gyakorolt a természeti- és az emberi rendszerekre, és a Föld lakosságának azon része vált legsebezhetőbbé, akik a legkevésbé járultak hozzá az éghajlatváltozáshoz.

Napjainkban megközelítőleg 3,3–3,6 milliárd ember él olyan környezetben, amely erősen ki van téve az éghajlatváltozás hatásainak. Az emberi környezet és az ökoszisztéma sebezhetősége kölcsönösen összefügg. A fejlődésben jelentősen lemaradt régiók és ezek lakossága sokkal nagyobb mértékben sebezhető és kitett az éghajlatváltozás negatív hatásainak. A klíma változása az extrém éghajlati események gyakoriságának és intenzitásának növekedése révén emberek millióit tette ki akut élelmiszerellátási válságnak, és a vízellátás biztonságát szintén aláasta. Mindez jelentős mértékben gátolta az ENSZ fenntartható fejlődési céljainak elérésére irányuló erőfeszítéseket. A legkedvezőtlenebb hatásokat Afrikában, Ázsiában, Közép- és Dél-Amerikában tapasztalhatjuk a legkevésbé fejlett országokban, valamint kis szigeteken és az Arktiszon. Sajnálatos módon a kedvezőtlen hatások legsúlyosabban az őslakosokat, kistermelőket és az alacsony jövedelmű háztartásokat érintik. 2010 és 2020 között az árvizekből, aszályokból és viharokból eredő emberi halálozás a nagyon kiszolgáltatott régiókban 15-szöröse volt az alacsony kiszolgáltatottságú régiókban tapasztaltnak (IPCC AR6SYR 2023).

9. ÁBRA

A mezőgazdasági és ökológiai szárazságesemények bekövetkezésében megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában. (Forrás: IPCC AR6WGI 2021)

A szélsőséges hőhullámok minden régióban az emberi halálozások és megbetegedések növekedését eredményezték. Az éghajlattal összefüggő, étel-miszerrel és vízzel kapcsolatos megbetegedések előfordulása és a vektorok által terjesztett betegségek incidenciája megnövekedett. A vizsgált régiókban bizonyos mentális egészségi problémák előfordulása is összefügg a hőmérséklet emelkedésével, a szélsőséges események által okozott traumákkal, valamint a megélhetés elvesztésével. Az éghajlati és időjárási szélsőségek migrációt és elvándorlást idéznek elő Afrikában, Ázsiában, Észak-Amerikában, valamint Közép- és Dél-Amerikában is (IPCC AR6SYR 2023).

A változások kedvezőtlen hatásai városi környezetben halmozottan jelentek meg. Az éghajlatváltozás káros hatásokat gyakorolt az emberi egészségre, a létbiztonságra, és károsította a kulcsfontosságú városi infrastruktúra elemeket is (IPCC AR6WGI 2021). A forró szélsőségek felerősödtek a városokban. A városi infrastruktúra számos esetben sérült a szélsőséges időjárási események hatására, beleértve a közlekedési-, vízellátási-, szanitációs- és energiarendszereket. Mindez gazdasági veszteségeket, szolgáltatási zavarokat és a jólétre gyakorolt negatív hatásokat eredményezett. Az észlelt káros hatások elsősorban a gazdaságilag és társadalmilag marginalizált városi lakosokat érintették (IPCC AR6SYR 2023).

2.2 A KLÍMAMITIGÁCIÓ FOGALMA

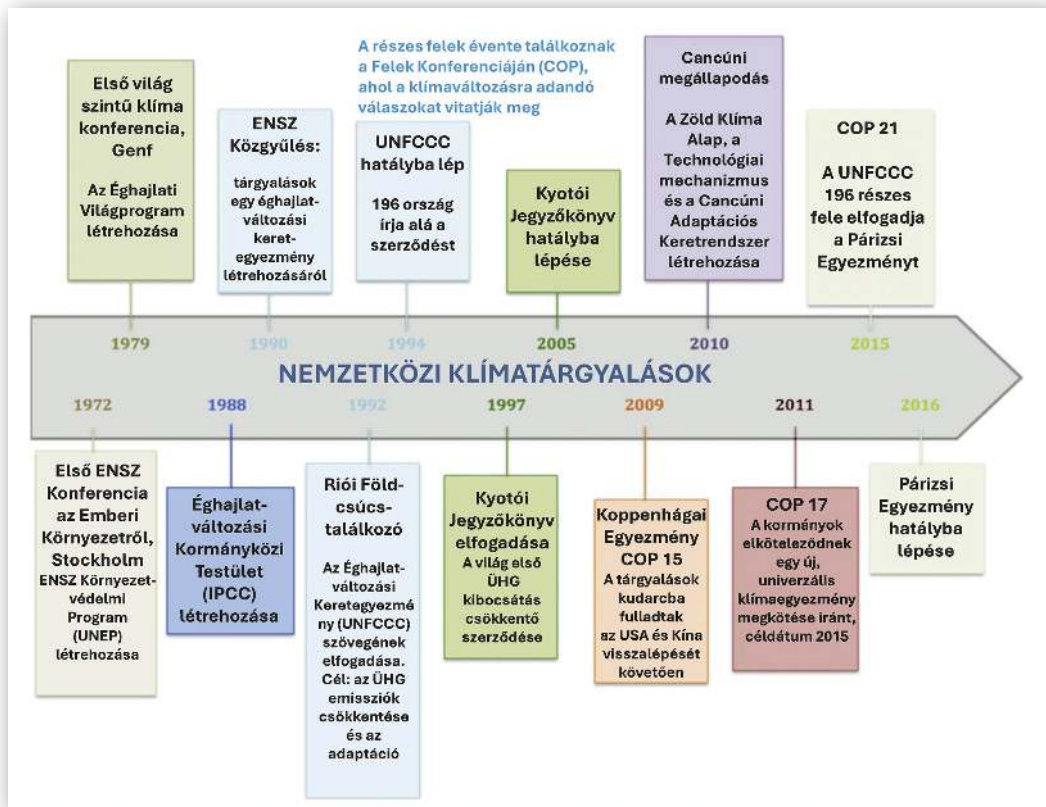
A klímamitigáció (vagyis az éghajlatváltozás mérséklése) olyan intézkedések és tevékenységek összességét jelenti, amelyek célja az éghajlatváltozás lassítása, megállítása, vagy akár visszafordítása, illetve a klímaváltozást kísérő káros következmények elkerülése. A mitigáció központi eleme az üvegházhatású gázok (ÜHG) – elsősorban a szén-dioxid (CO_2), metán (CH_4) és dinitrogén-oxid (N_2O) – légköri koncentrációjának csökkentése. Erre két út kínálkozik: az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentése, illetve a légkörben már jelen lévő üvegházhatású gázok megkötése és tárolása.

A klímamitigáció egyik legfontosabb eszköze az energiahatékonyság javítása, valamint a fosszilis energiahordozók – például szén, olaj és földgáz – felhasználásának visszaszorítása. Ezzel párhuzamosan előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, mint a nap-, szél-, víz- és geotermikus energia és a bioenergia, amelyek nem vagy csak elenyésző mértékben járulnak hozzá az üvegházhatásúgáz-kibocsátáshoz. Fontos szerepet játszik a természetes szénelnyelők – például erdők, gyepek, vizes élőhelyek – megőrzése és bővítése is, mivel ezek képesek hosszú távon megkötni a szén-dioxidot.

A klímamitigáció globális és helyi szinten egyaránt fontos: nemcsak a kormányok és nagyvállalatok felelőssége, hanem az egyének és közösségek is hozzájárulhatnak például energiatakarékossgal, zöld közlekedés választásával, vagy a fogyasztási szokások tudatos átalakításával. Összességében a klímamitigáció célja egy fenntarthatóbb, élhetőbb jövő biztosítása a Föld minden élőlényé számára.

2.3 EDDIGI POLITIKAI VÁLASZOK ÉS MITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK

A klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak csökkentése érdekében számos erőfeszítés történt az 1970-es évek óta. A nemzetközi klímadiplomácia fontosabb mérföldköveit az 10. ábra szemlélteti.



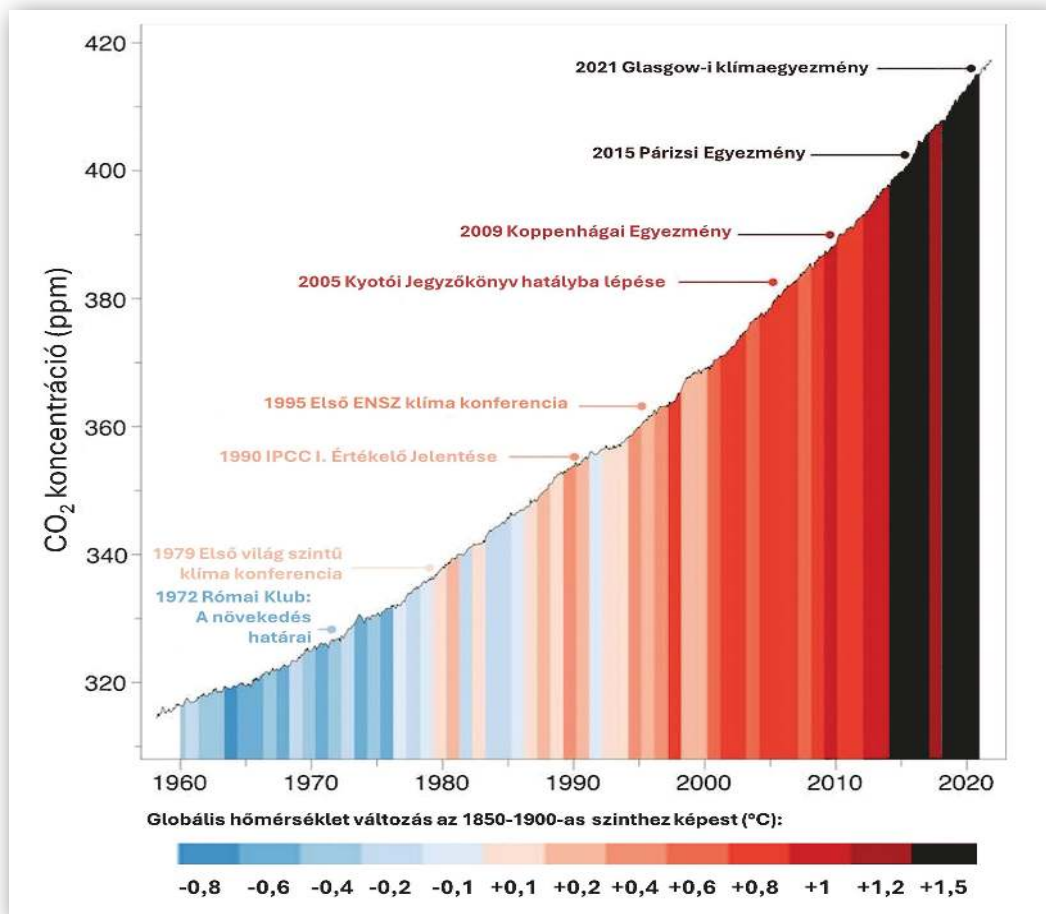
10. ÁBRA

A nemzetközi klímadiplomácia fontosabb mérföldkövei. (Forrás: ClimBLOG 2024)

Az Éghajlatváltozási Keretegyezmény, majd annak Kiotói Jegyzőkönyve hatálya alatt a fejlett országok jelentős kibocsátás-csökkentési vállalásokat tettek. A Párizsi Egyezményben pedig már a fejlődő országok is tettek kibocsátás-csökkentési vállalásokat. Ennek ellenére a légköri szén-dioxid koncentráció és a globális felmelegedés szintje is folyamatosan emelkedik (11. ábra).

Mindaz gyors és hatékony mitigációs intézkedéseket tesz szükségessé, és egy újfajta megközelítés kialakítását sürgeti.

A Párizsi Egyezmény célja a globális hőmérséklet-emelkedést +1,5 °C, de maximum +2 °C alatt tartani az iparosodás előtti (1850–1900-as) szinthez képest.



11. ÁBRA

Az atmoszférikus szén-dioxid koncentráció, a globális hőmérséklet változása és a klímaváltozás elleni küzdelem fontos mérföldkövei.

(Forrás: Climateinsiders 2024)

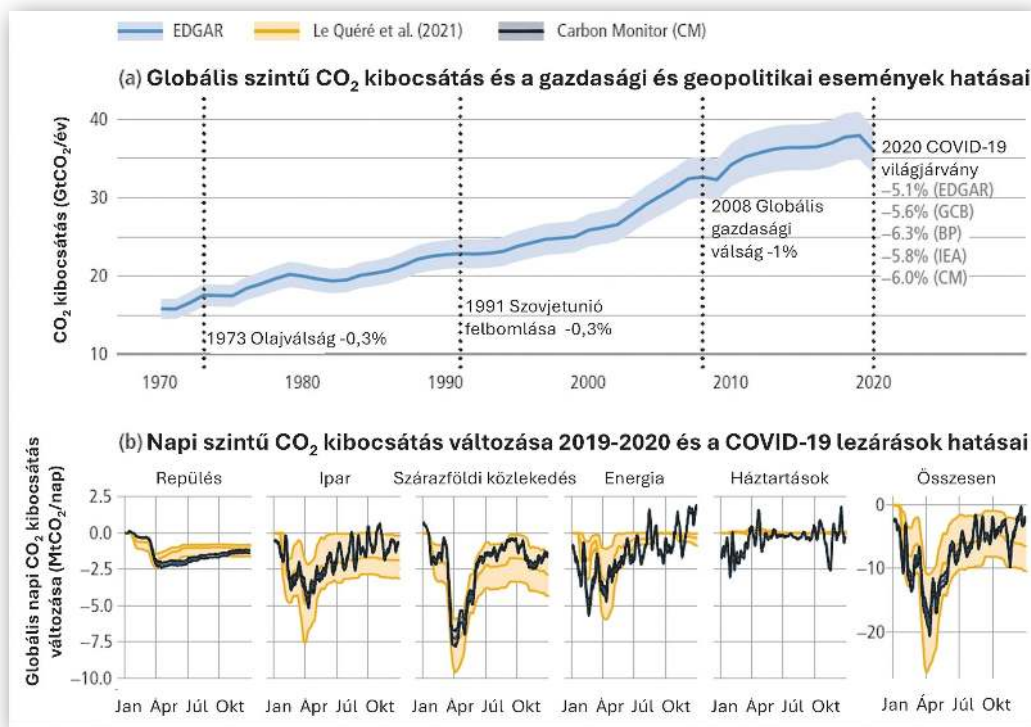
Az Európai Unió kötelező érvényű célként tűzte ki, hogy gazdasága és társadalma 2050-re klímasemleges legyen, ami azt jelenti, hogy ekkorra az EU-országok együttesen nulla nettó üvegházhatásúgáz (ÜHG)-kibocsátást érjenek el. A klímasemlegesség felé tett lépésként az EU vállalta, hogy 2030-ig legalább 55%-kal csökkenti a kibocsátást, és az úgynevezett „Irány az

55%!” (azaz Fit for 55) csomag keretében felülvizsgálja az éghajlattal, energiával és közlekedéssel kapcsolatos jogszabályait, hogy összhangba hozza azokat a 2030-as és 2050-es céljaival.

A nettó nulla kibocsátású gazdasági rendszer elérése jelentős átalakulásokat kíván minden szektorban. Az emissziók ilyen nagy arányú csökkentése, és a körkörös biogazdaság kialakítása számos, egymással szorosan összefonódó, előre mozdító és gátló hatás függvénye.

Az elmúlt évtizedben mind a szakpolitikai környezetben, mind pedig a technológiai megoldások szintjén figyelemreméltó fejlődést tapasztalhattunk. Mindez új és nagyszabású lehetőségeket nyitott meg az átfogó dekarbonizáció és az alternatív fejlesztési útvonalak számára, amelyek egyben hozzájárulnak az ENSZ fenntartható fejlődési céljainak megvalósításához is. Az átmenet sebességét, irányát és mélységét a környezeti, technológiai, gazdasági, társadalmi, kulturális és intézményi szinteken megvalósuló intézkedések határozzák majd meg.

A COVID-19 járvány a második világháború óta a legmélyebb globális gazdasági visszaesést és szén-dioxid-kibocsátás csökkenését idézte elő (12. ábra). Miközben a legtöbb ország gazdasága felélénkült 2020 után, és a kibocsátás szintje is ismét megemelkedett, a járvány néhány hatása sokkal tovább is fennmaradhat. 2020 tavaszán a globális kibocsátási trendekben jelentős törés volt megfigyelhető a járványra válaszul bevezetett lezárási intézkedések miatt.



12. ÁBRA

A globális szén-dioxid-kibocsátás 1970 és 2020 között és a COVID-19 hatása.

Az (a) panel a fosszilis tüzelőanyagokból és az iparból származó szén-dioxid-kibocsátást mutatja be az elmúlt öt évtizedben. Megjelennek a jelentősebb gazdasági és geopolitikai eseményeket követő kibocsátás-visszaesések, valamint a 2020-as kibocsátások öt különböző adatforrás által becsült csökkenése 2019-hez képest. A (b) panel 2020-as napi szén-dioxid-kibocsátás változását mutatja be 2019-hez viszonyítva, így szemléltetve a COVID-19 lezárások hatásait. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

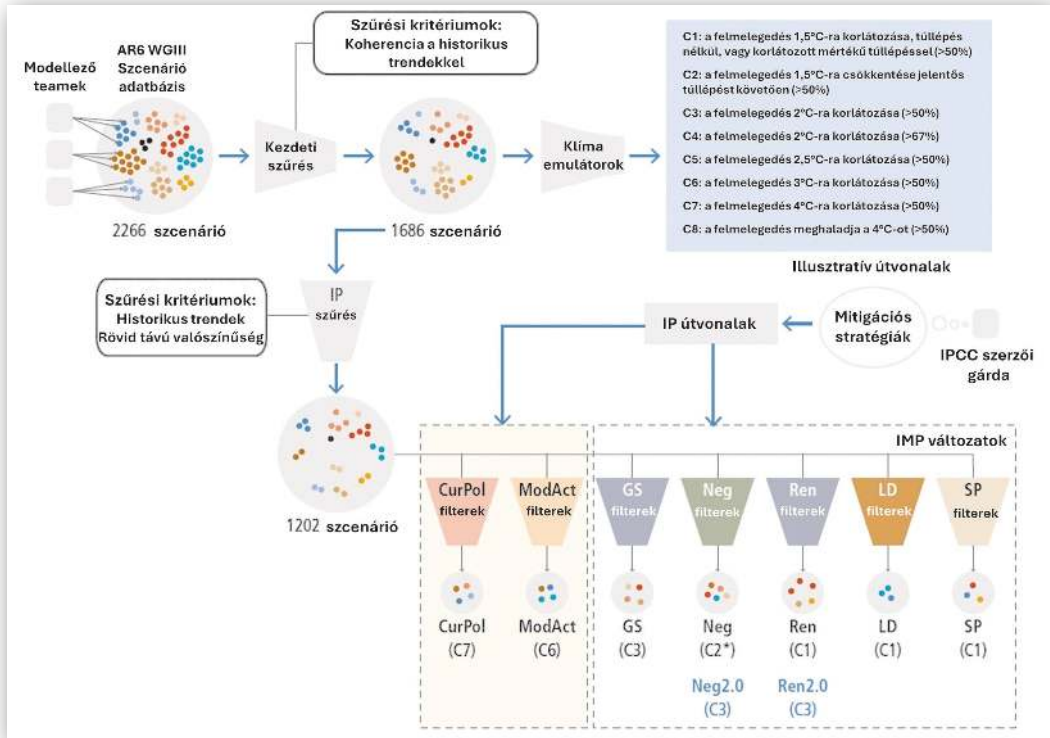
Összességében a globális CO₂-kibocsátások 2020-ban 5,8%-kal (5,1–6,3%) csökkentek, vagyis összesen körülbelül 2,2 (1,9–2,4) GtCO₂-vel. Ez relatív és abszolút értelemben is meghaladja bármely korábbi globális kibocsátáscsökkenési esemény mértékét az 1970 óta tartó időszakban. A számos országban bevezetett lezárások felgyorsítottak bizonyos trendeket, például a városi kerékpározás elterjedését. Az energiafelhasználás nagy mértékű csökkenése relatív eltolódást eredményezett az alacsony szén-dioxid-kibocsátású befektetések irányába, különösen a jövőbeli beruházási döntések esetében a magánszektorban. Néhány ország és régió előnyben részesítette a zöld ösztönző intézkedéseket, mivel az új zöld fejlesztésekbe történő befektetés növelheti a közkiadások makrogazdasági hatékonyságát („multiplikátorok”), valamint bevonhatja és élénkítheti a magánbefektetéseket, miközben segíti a mitigációs célkitűzések megvalósulását is. Mindez példát szolgáltat arra, hogy a jelentős gazdasági válságok lehetőségeket teremthetnek új finanszírozási formák kialakítására és a mitigációs törekvések elősegítésére, valamint az alacsonyabb kibocsátású és reziliens fejlődési útvonalakra történő átállásra (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4 GLOBÁLIS KLÍMAMITIGÁCIÓS SZCENÁRIÓK AZ IPCC SZERINT

Az IPCC hatodik értékelő jelentése (IPCC AR6WGIII 2022) globális szinten vizsgálja a lehetséges klímamitigációs útvonalakat és scenáriókat, valamint az ezekhez társítható jövőbeli globális felmelegedési szinteket.

Ennek az értékelésnek a megkönnyítése érdekében nagyszámú, a nemzetközi szakirodalomban publikált jövőre vonatkozó kibocsátási forgatókönyvet (projekciót) gyűjtöttek össze és tettek elérhetővé egy interaktív AR6 WGIII forgatókönyv adatbázisban (13. ábra).

Az adatbázisban összesen 2266 globális szintű scenárió szerepel, melyeket többszöri szűrési és kiválasztási folyamaton keresztül szelektáltak és csoportosítottak. Kezdeti lépésként a scenáriókat a historikus trendekkel való koherencia alapján szűrték. Az eredeti 2266 globális kiterjedésű forgatókönyvből 1686 ment át a szűrési folyamaton, és ezek kerültek további értékelésre. A szűrt forgatókönyvek több mint 50 különböző modellcsaládból származnak, illetve több mint 100-ból, ha minden család összes változatát külön vesszük figyelembe. A forgatókönyvek több mint 15 különböző nagy modell-összehasonlító projektből származnak, illetve körülbelül egyötödük egyedi tanulmányokból ered. Minden forgatókönyvet, amely elegendő adatot tartalmazott, egy-egy hőmérséklet-besorolással láttak el klímamodell-emulátorok segítségével. Három emulátort használtak az értékelésben: a FAIR (Smith et al. 2018), a CICERO-SCM (Skeie et al. 2021), és a MAGICC (Meinshausen et al. 2020) emulátorokat.

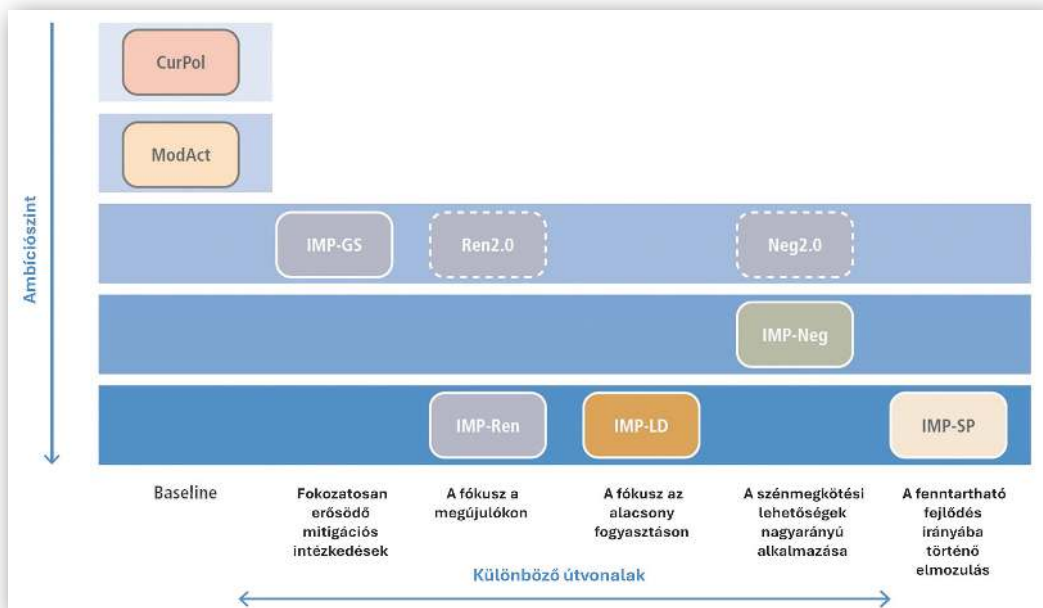


13. ÁBRA

Az AR6 scenárió adatbázis létrehozásának és az illusztratív útvonalak (Illustrative Pathways, IP) és illusztratív mitigációs útvonalak (Illustrative Mitigation Pathways, IMP) kiválasztásának folyamata.

Az AR6 scenárió adatbázisában szereplő forgatókönyveket szűrték a történelmi statisztikákkal való összhang szerint, majd klímamodell-emulátorok segítségével hőmérsékleti besorolást adtak hozzájuk. Az illusztratív mitigációs útvonalak a teljes scenárió-készletéből kerültek kiválasztásra az értékelés során azonosított legfontosabb klímamitigációs stratégiákhoz kialakított történetvezetés alapján. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

A kiválasztott forgatókönyveket (IP) hét csoportra osztották (14. ábra): két magas kibocsátást szemléltető referencia-útvonalra (baseline) és öt szemléltető mitigációs útvonalra (IMP), melyekhez részletes narratívákat is társítottak (IPCC AR6WGIII 2022).



14. ÁBRA

Az IPCC AR6 WGIII-ban szereplő szemléltető útvonalak (Illustrative Pathways, IP és IMP, Illustrative Mitigation Pathways) áttekintése.

Az IP-k a jelenlegi politikák eredményeit (CurPol) és a mérsékelt cselekvést (ModAct) illusztráló forgatókönyvek. A szemléltető mitigációs útvonalak (IMP) az alábbi forgatókönyveket vizsgálják: a jelenlegi mitigációs politikák fokozatos megerősítése (IMP-GS), a nettó negatív kibocsátási technológiák egyre kiterjedtebb alkalmazása (IMP-Neg), a megújuló energiaforrások térnyerése (IMP-Ren), az alacsony kereslet (IMP-LD) és a fenntartható fejlődési célok elérése irányába változó társadalmi-gazdasági környezet (IMP-SP). A Ren2.0 és a Neg2.0 forgatókönyvek az IMP-k alternatív forgatókönyvei. Ezek az útvonalak a megújuló energiaforrásokon és a szénmegkötési technológiák kiterjedt felhasználásán alapulnak, de hasonló hőmérsékleti szintet eredményeznek, és összehasonlításra használhatóak. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

A két referencia-útvonal (IP) a jelenlegi politikák és a már érvényben lévő intézkedések következményeit vizsgálja: ezek a jelenlegi politikák (CurPol) és mérsékelt intézkedések (ModAct) szenáriói. A CurPol útvonal a 2020-ban végrehajtott klímapolitikák folytatásának és fokozatos megerősítésének következményeit tárja fel. A forgatókönyv számos olyan, a szakirodalomban fellelhető scenárió kimenetelét összesíti és szintetizálja, amelyek a végrehajtott politikák 2020 végéig megfigyelt trendjét extrapolálják. A ModAct útvonal a 2020-ban megfogalmazott nemzeti kibocsátás-csökkentési kötelezettségvállalások (azaz Nemzeti szinten Meghatározott Hozzájárulások, NDC-k) végrehajtásának és az ezt követően

várhatóan megvalósuló további mitigációs intézkedések hatásait vizsgálja. A két referencia-útvonal +2 °C-ot meghaladó globális átlaghőmérséklet-emelkedéshez vezet (IPCC AR6WGIII 2022).

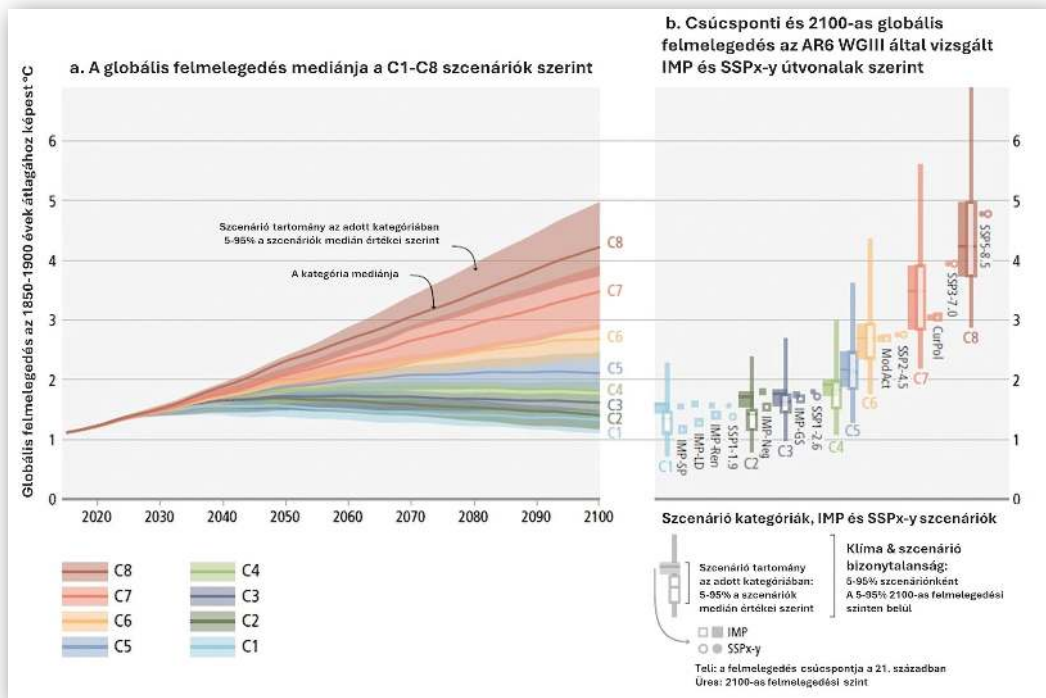
A szemléltető mitigációs útvonalak (IMP) csoportjába az olyan scenáriókat sorolták, amelyek összhangban vannak a Párizsi Egyezmény hosszú távú hőmérsékleti céljainak elérésével. Itt öt különböző scenárió-csoport került lehatárolásra, amelyekhez más-más narratívát társítottak. Az IMP-k eltérő fókusszal és mitigációs útvonalakkal rendelkeznek. Az IMP-Ren (azaz renewables) esetében a megújuló energiaforrások tényerése a leghangsúlyosabb a mitigációs intézkedések közül. Az IMP-Neg útvonal esetében a szén-dioxid-eltávolítás kerül fókuszba, amely nettó negatív globális üvegházhatású-gázkibocsátást eredményez.

Az IMP-LD (low demand) forgatókönyv az erőforrás-hatékonyságot helyezi előtérbe és a fogyasztási minták megváltoztatását, ami alacsony erőforrás-igényt eredményez, miközben biztosítja a magas szintű szolgáltatásokat. Az IMP-GS (gradual strengthening) forgatókönyv a mitigációs intézkedések lassabb bevezetésének következményeit mutatja be, melyet a kibocsátás-csökkentő intézkedések fokozatos megerősödése követ. Az IMP-SP (shifting pathways) útvonal azt illusztrálja, hogyan mozdíthatja elő a klímamitigációs törekvéseket a globális gazdasági és társadalmi rendszerek fenntartható fejlődés felé történő elmozdulása, beleértve az egyenlőtlenségek csökkentését. Az IMP-k közül az IMP-GS +2 °C-ra korlátozza a felmelegedést, az IMP-Neg pedig eleinte szintén +2 °C-ra korlátozza a felmelegedést, majd pedig az évszázad végére majdnem +1,5 °C-ra csökkenti. Az IMP-Ren, az IMP-LD és az IMP-SP forgatókönyvek az előrejelzések szerint a felmelegedést +1,5 °C-ra korlátozhatják. Az egyes útvonalakhoz társított globális felmelegedési szinteket a 15. ábra szemlélteti, míg a 16. ábra bemutatja a különböző szemléltető útvonalak esetében a hőmérséklet 2100-ig prognosztizált alakulását (IPCC AR6WGIII 2022).

WGIII scenárió	Scenárió leírása	WGI & WGII kibocsátási forgatókönyvek (SSPx-y)	RCPy kategória, illetve IP és IMP besorolás
C1	A felmelegedés 1,5°C-ra korlátozása túllépés nélkül, vagy korlátozott mértékű túllépéssel (>50%)	Nagyon alacsony (SSP1-1.9)	IMP-SP, IMP-LD, IMP-Ren
C2	A felmelegedés 1,5°C-ra csökkentése jelentős túllépést követően (>50%)		IMP-Neg
C3	A felmelegedés 2°C-ra korlátozása (>50%)	Alacsony (SSP1-2.6)	RCP2.6 és IMP-GS
C4	A felmelegedés 2°C-ra korlátozása (>67%)		
C5	A felmelegedés 2,5°C-ra korlátozása (>50%)		
C6	A felmelegedés 3°C-ra korlátozása (>50%)	Közepes (SSP2-4.5)	RCP 4.5 és ModAct
C7	A felmelegedés 4°C-ra korlátozása (>50%)	Magas (SSP3-7.0)	CurPol
C8	A felmelegedés meghaladja a 4°C-ot (>50%)	Nagyon magas (SSP5-8.5)	RCP 8.5

15. ÁBRA

Az IPCC hatodik értékelő jelentésében figyelembe vett forgatókönyvek leírása és kapcsolata. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

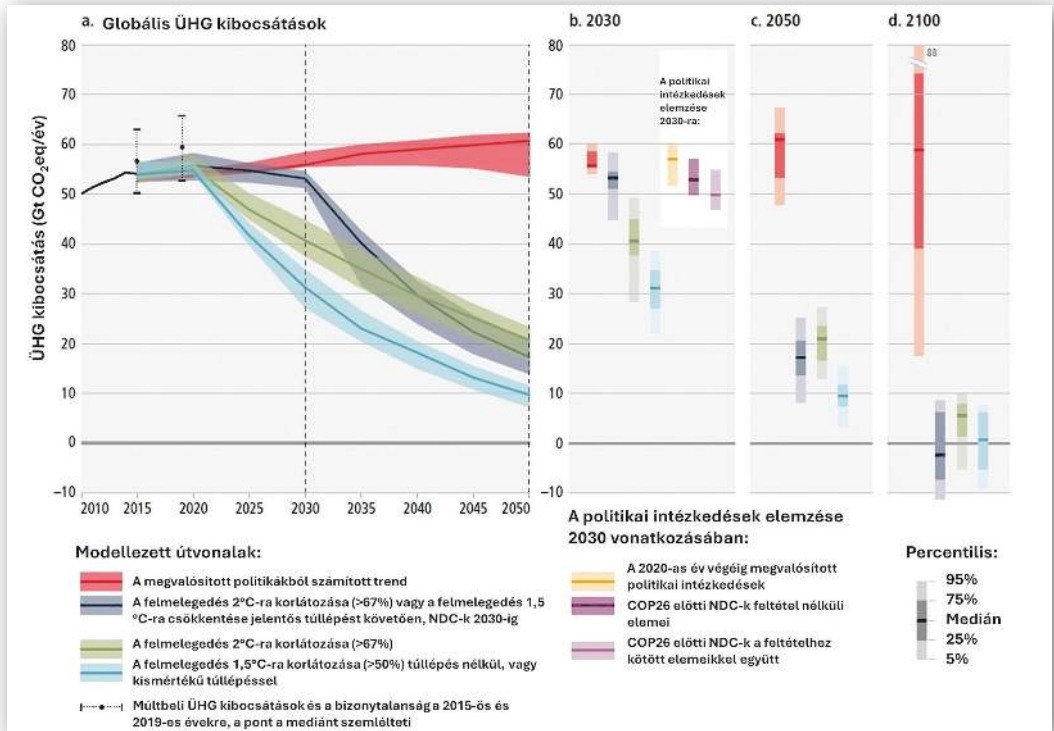


16. ÁBRA

A C1–C8 scenáriók, valamint az AR6 WGI által figyelembe vett öt szemléltető forgatókönyv esetében (IMP és SSPx-y) előrejelzett átlagos globális felmelegedés.

Az a) panel mutatja az előrejelzett medián felmelegedés 5–95%-os valószínűségű tartományát a modellezett útvonalakon, a kategória mediánjaival (vonal) együtt. A b) panelen a C1–C8 kategóriák és az IMP-k csúcspontja és 2100-ra emulált hőmérséklete, valamint az öt szemléltető forgatókönyv (SSPx-y) látható. A dobozok az 5–95%-os valószínűségű tartományt jelölik az egyes forgatókönyv kategóriákon belül. A forgatókönyvek közötti kombinált 5–95%-os tartomány és az egyes C1–C8 forgatókönyvekhez tartozó bizonytalansági intervallum is megjelenik a 2100-ra előrejelzett globális felmelegedés esetében (vékony függőleges vonalak). (Forrás: IPCC AR6WGI 2022)

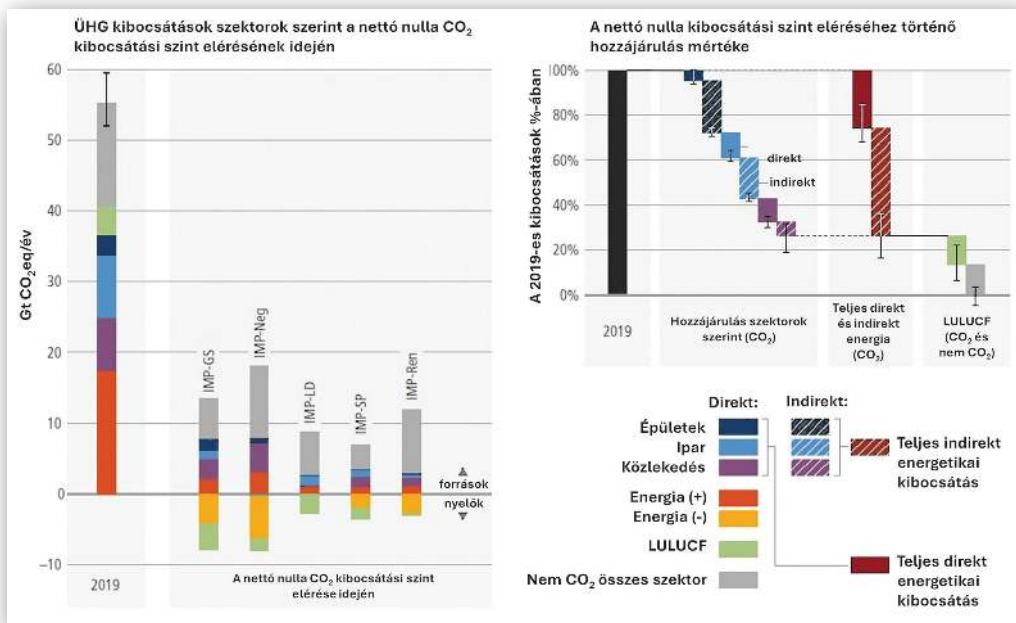
A 17. ábra a modellezett mitigációs útvonalakra jellemző globális ÜHG-kibocsátási szinteket szemlélteti. A megvalósított politikákból számított trend (CurPol) magasan meghaladja a globális felmelegedés +2 °C-ra történő korlátozásához szükséges szintet.



17. ÁBRA

A modellezett útvonalak globális ÜHG-kibocsátása.

A sávok az a) panelen és a kapcsolódó oszlopok a b), c), d) paneleken a kibocsátások valószínűsíthető tartományát szemléltetik. A b) panel a 2030-ra vonatkozó rövid távú szakpolitikai intézkedések várható kibocsátási hatásait mutatja be. A COP26 előtt bejelentett nemzeti szintű intézkedésekhez (NCD) rendelhető globális ÜHG-kibocsátási szint valószínűsíti, hogy a felmelegedés meg fogja haladni az +1,5 °C-ot, és 2030 után egyre nehezebb lesz a felmelegedés +2 °C alatt tartása. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)



18. ÁBRA

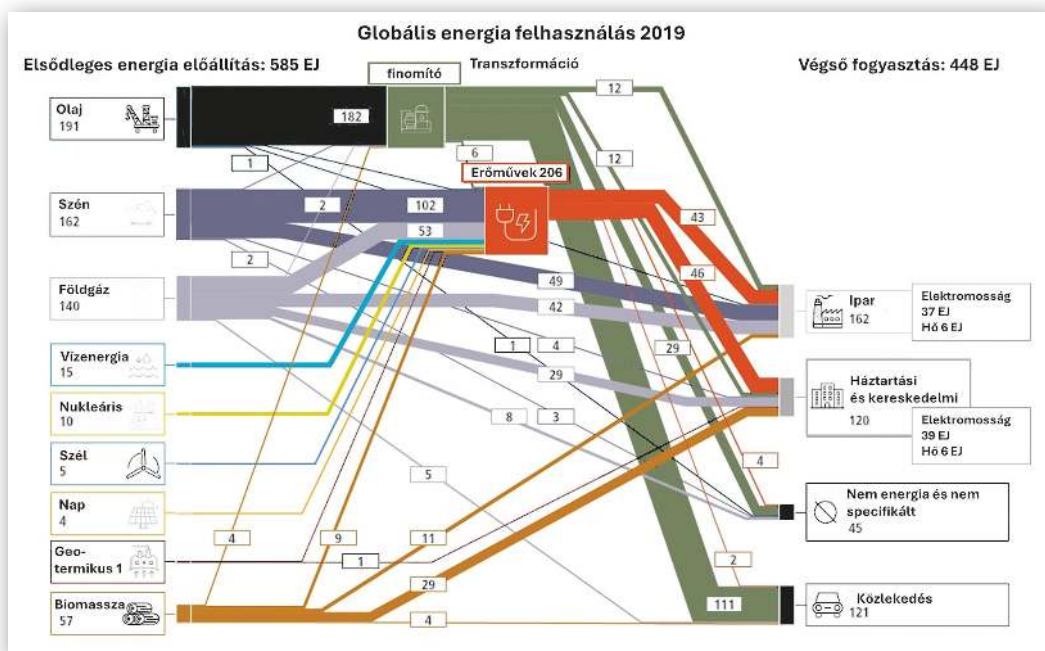
Emissziók és szénmegkötések a nettó nulla kibocsátási szint elérésének idején.

A bal oldali panel a szén-dioxid- és a nem szén-dioxid-kibocsátási források és nyelők ágazati eloszlását mutatja abban az időpontban, amikor az IMP-k elérik a nettó nulla kibocsátási szintet. Összehasonlításul a 2019-es historikus ÜHG-kibocsátási profilt is bemutatja az ábra. Az Energia (-) sárgával jelzett sávok magukban foglalják a BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) és a DACCS (Direct Air Capture with Carbon Storage) technológiákat. A DACCS az öt IMP közül csak kettőben szerepel, ahol kevesebb, mint 1%-kal (IMP-REN), illetve 64%-kal (IMP-GS) járul hozzá az energiaellátás nettó negatív kibocsátásához. A jobb oldali panel a 2019-es alapértékhez viszonyítva mutatja be a különböző ágazatok és források hozzájárulását a nettó nulla ÜHG-kibocsátás eléréséhez. Az oszlopok a medián kibocsátás-csökkentést jelölik minden olyan útvonal esetében, amely eléri a nulla nettó ÜHG-kibocsátást az 5–95%-os valószínűségi tartomány feltüntetésével. A szolgáltató szektorok (közlekedés, épületek, ipar) hozzájárulása direkt (keresleti oldali), valamint indirekt (kinálati oldali) szén-dioxid-kibocsátáscsökkentésre oszlik. A direkt kibocsátások az adott keresleti szektor üzemanyag-felhasználásából származnak. Az indirekt kibocsátások az ipari folyamatok, valamint az energiaátalakítás, -átvitel és -elosztás során keletkező upstream kibocsátások. Emellett megjelennek a LULUCF-szektor hozzájárulásai és a nem szén-dioxid-kibocsátási forrásokhoz kapcsolódó emisszió-csökkentések is (zöld és szürke sávok). (Forrás: IPCC AR6 WGIII 2022)

A 18. ábra a nettó nulla szén-dioxid-kibocsátási szint elérésére jellemző emissziós profilt szemlélteti az öt szemléltető mitigációs útvonal, azaz IMP szcenárióban a 2019-es historikus kibocsátási szinthez képest. A különböző szcenáriókban különbözik a kibocsátás-csökkentés mértéke az egyes szektorokban, ahogy a negatív emissziók, azaz a szénmegkötő tevékenységek szerepe is eltér. A földhasználati és erdőgazdálkodási (LULUCF) szektor szénmegkötésének szerepe az IMP-GS szcenárió-

ban a legjelentősebb, az energiatermeléshez kapcsolódó szénmegkötési technológiák szerepe pedig az IMP-Neg forgatókönyv esetében a leghangsúlyosabb. Idetartoznak az ún. BECCS technológiák is (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage*), melyek a bioenergia-előállításához kapcsoltan tesznek lehetővé szén-dioxid-megkötést és tárolást.

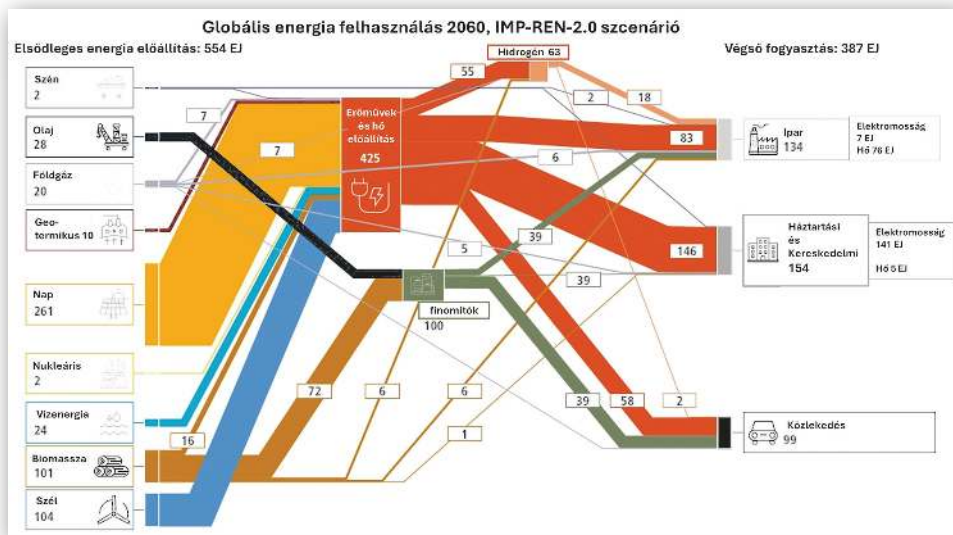
Az energiarendszer jelenlegi struktúráját a 19. ábra mutatja be, míg a 20. ábra és a 21. ábra két IMP scenárió, az IMP-Ren és az IMP-Neg esetében mutatja be az energiarendszer várható szerkezetét a nettó nulla szén-dioxid-kibocsátási szint elérésének időpontjában. Ez az időpont az IPCC előrejelzése szerint az IMP-Ren scenárió esetében 2060-ra, míg az IMP-Neg scenárió esetében 2070-re tehető. Az előrejelzések szerint mind az IMP-Ren, mind pedig az IMP-Neg forgatókönyv esetében a nettó nulla emissziós szinten a biomassa, mint energiaforrás szerepe sokkal jelentősebb lesz a jelenleginél. Ez azt jelenti, hogy az erdők nemcsak széntárolóként, hanem bioenergia-forrásként is jelentősen hozzá tudnak járulni a mitigációs célok, és a nettó nulla emissziós szint megvalósításához.



19. ÁBRA

Energiáramok a 2019-es globális energiarendszerben.

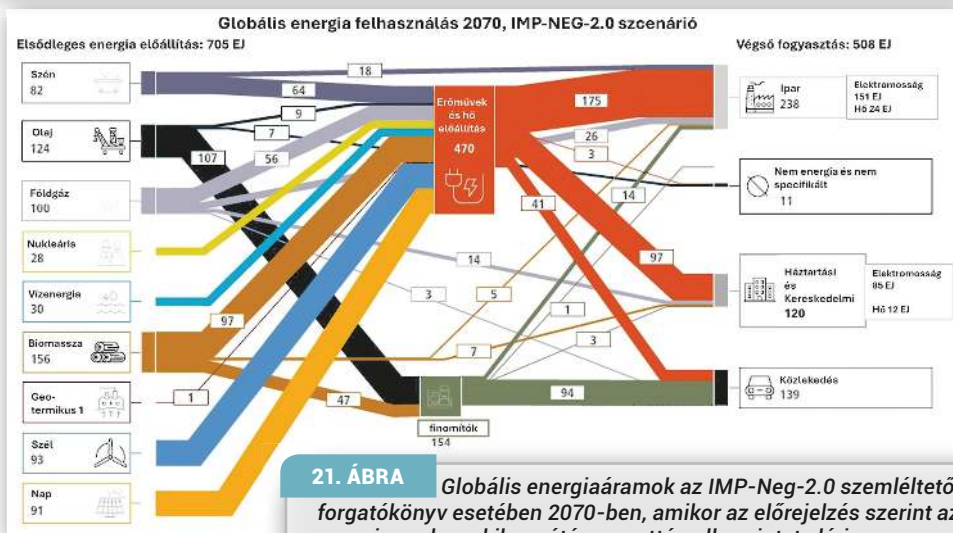
Az 1 EJ alatti áramok nincsenek ábrázolva. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)



20. ÁBRA

Globális energiaáramok az IMP-Ren-2.0 szemléltető forgatókönyv esetében 2060-ban, amikor az előrejelzés szerint az energiarendszer kibocsátása a nettó nulla szintet éri.

Az 1 EJ alatti áramok nincsenek ábrázolva. (Forrás: az IMP-Ren-2.0 adatai: Luderer et al. 2022. és IPCC AR6WGIII 2022)



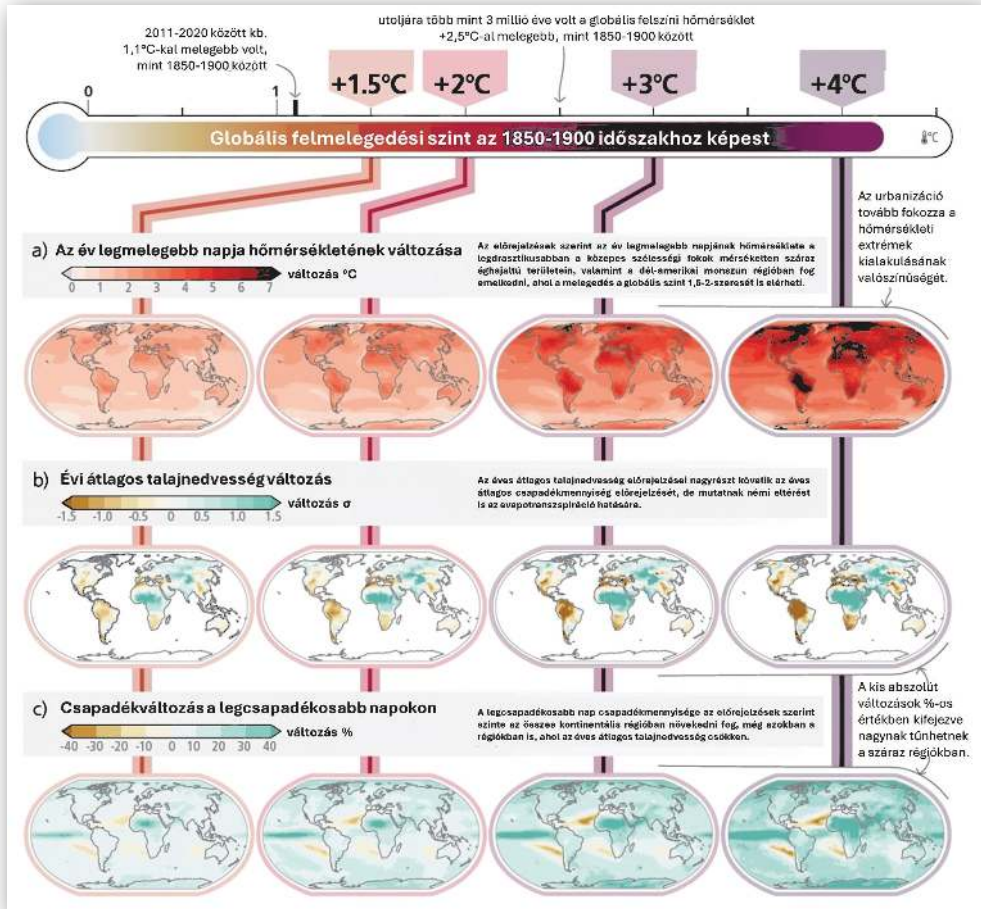
21. ÁBRA

Globális energiaáramok az IMP-Neg-2.0 szemléltető forgatókönyv esetében 2070-ben, amikor az előrejelzés szerint az energiarendszer kibocsátása a nettó nulla szintet éri.

Az 1 EJ alatti áramok nincsenek ábrázolva.

(Forrás: IMP-Neg-2.0: Riahi, K. et al. 2021. és IPCC AR6WGIII 2022)

A különböző modellezett scenárió-csoportokhoz társított eltérő felmelegedési szintek éghajlati jellemzőit és az időjárási extrémítások alakulását szemlélteti a 22. ábra. A globális felmelegedés további növekedésével a szélsőséges időjárási események egyre gyakoribbá válnak.



22. ÁBRA

Az év legmelegebb napja hőmérsékletének, az évi átlagos talajnedvességnek, valamint a legcsapadékosabb nap csapadékváltozásának előrejelzett alakulása +1,5 °C, +2 °C, +3 °C és +4 °C globális felmelegedési szintek mellett az 1850–1900-as évek átlagához viszonyítva.

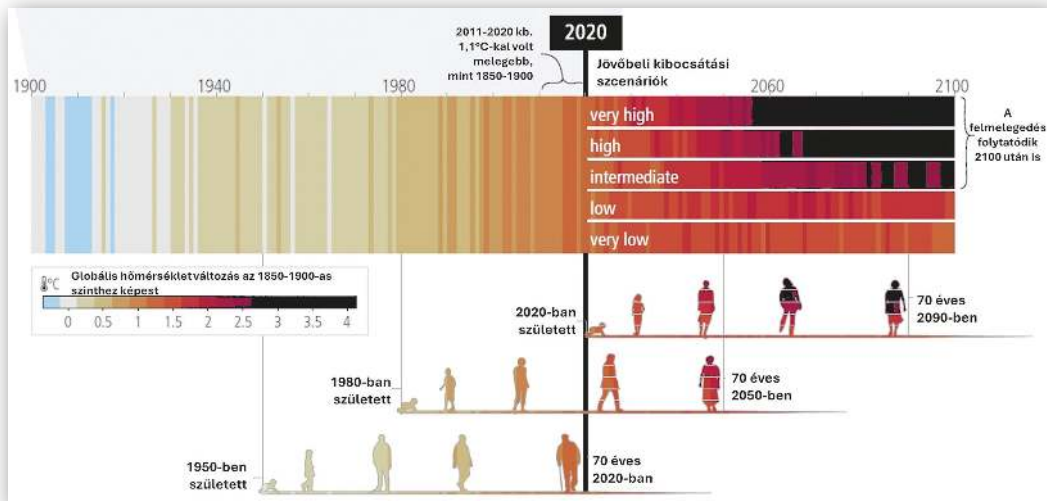
A panelek a CMIP6 multi-modell medián változásait mutatják. A b) és c) paneleken a száraz régiókban tapasztalható relatív változások nagy pozitív értékei esetenként kis abszolút változásoknak felelhetnek meg. A b) panelen a mértékegység a talajnedvesség évenkénti változékonyságának szórása (σ) 1850–1900 között. A szórás széles körben használt mérőszám az aszály súlyosságának jellemzésére. A talaj átlagos nedvességtartalmanak egy szórásnyi előrejelzett csökkenése megfelel az 1850–1900 közötti időszakban körülbelül hatévente előforduló aszályokra jellemző talajnedvesség-viszonyoknak. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

A folyamatos globális felmelegedés várhatóan fokozza majd a globális vízkörforgás változékonyságát, a globális monszuncsapadék mennyiségét, valamint a nagyon extrém csapadékkal jellemezhető, illetve a nagyon száraz időjárási események és időszakok előfordulását. Azokban a forgatókönyvekben, ahol a CO₂-kibocsátás növekszik, a természetes szárazföldi és óceáni szénelnyelők várhatóan egyre kisebb arányban veszik fel ezeket a kibocsátásokat. Emellett várható szinte az összes krioszférikus elem (hó- és jégtakaró) kiterjedésének és térfogatának további csökkenése, a globális átlagos tengerszint további emelkedése, illetve az óceánok savasodásának növekedése, és oxigénszintjük csökkenése (IPCC AR6WGIII 2022).

A felmelegedési szint emelkedésével minden régió várhatóan egyre több egyidejű, halmozott változást tapasztal majd a klimatikus hatásokban. Az extrém hőhullámok és aszályok együttes előfordulásának gyakorisága növekedni fog. A folyamatos tengerszint-emelkedés miatt a jelenleg százévente egyszer előforduló szélsőséges tengerszint-események 2100-ra várhatóan legalább évente fordulnak majd elő az összes árapály-mérő állomás több mint felének esetében. Emellett a várható regionális változások közé tartozik a trópusi ciklonok és viharok intenzitásának növekedése, valamint a szárazság és a tűzveszély növekedése. A természetes változékonyság továbbra is modulálja majd az ember által okozott éghajlatváltozást, hol mérsékelve, hol erősítve a bekövetkező változásokat, azonban ennek a modulációnak a hatása a felmelegedés évszázados szintű trendjére igen csekély lesz. Ennek ellenére a modulációt fontos figyelembe venni az alkalmazkodás tervezése során, különösen regionális szinten és rövid távon (IPCC AR6WGIII 2022).

A 23. ábra azt szemlélteti, hogy az egyes kibocsátási forgatókönyvek megvalósulása esetében a jelen és a jövő nemzedékei mennyivel forróbb világot tapasztalhatnak majd meg.

A klímaváltozás mérséklésére számos lehetőség kínálkozik a különböző nagy földi rendszerek szintjén. A kibocsátás-csökkentési és szénmegkötési megoldások lehetséges tárházát az alábbiakban ismertetjük külön-külön vizsgálva meg az egyes szektorokhoz tartozó alrendszereket.



23. ÁBRA

A globális felszíni hőmérséklet változása három reprezentatív generáció élettartama alatt.

A globális felszíni hőmérséklet megfigyelt (1900–2020) és előrejelzett (2021–2100) alakulása (az 1850–1900-as időszakhoz viszonyítva). A vízszintes sávok azt illusztrálják, hogy az éghajlat miként változott már, és miként fog változni három reprezentatív generáció (az 1950-ben, 1980-ban és 2020-ban születettek) élettartama során. A globális felszíni hőmérséklet változásának jövöbeli (2021-2100) előrejelzései nagyon alacsony (SSP1-1,9), alacsony (SSP1-2,6), közepes (SSP2-4,5), magas (SSP3-7,0) és nagyon magas (SSP5- 8.5) ÜHG-kibocsátási forgatókönyvek figyelembevételével készültek. Az éves globális felszíni hőmérséklet változásait „éghajlati sávokként” mutatja be az ábra, a jövöbeli előrejelzések pedig az emberi eredetű hosszú távú trendeket és a természetes változékonyság általi folyamatos modulációt mutatják. A moduláció modellezése során a múltbeli természetes változékonyság megfigyelt szintjét vették alapul. (Forrás: IPCC AR6SYR 2023)

2.4.1 MITIGÁCIÓS LEHETŐSÉGEK AZ ENERGIA RENDSZEREKBE

A nettó nulla CO₂-kibocsátású energiarendszerek elérésének feltétele a fosszilis tüzelőanyagok használatának jelentős visszaszorítása, valamint szén-dioxid leválasztási és -tárolási technológiák alkalmazása a fennmaradó fosszilis tüzelőrendszerekben. A bioenergia szerepe a jövö energiarendszereiben sokkal jelentősebbé válik a kibocsátások csökkentése érdekében. Emellett a nettó nulla kibocsátási szint elérését szolgálhatja a széles körű villamosítás is, amennyiben olyan villamosenergia rendszereket alakítunk ki, amelyek nettó nulla CO₂-kibocsátással jellemezhetőek. Fontos lesz az alternatív energiahordozók alkalmazása olyan területeken, ahol a villamosítás nem kivitelezhető. A kibocsátások csökkentését segítheti még az energiahatékonyság növelése, illetve a nagyobb fokú integráció az energiarendszeren belül.

A 20 USD/tonna CO₂ értéknel alacsonyabb költségekkel járó mitigációs intézkedések jelentős része a nap- és szélenergia kiterjedtebb használatából, az energiahatékonyság javításából és a metánkibocsátás csökkentéséből származhat majd.

Az energiatermelés diverzifikálása (pl. szélerőművek, naperőművek, kisméretű vízerőművek révén) és a keresletoldali menedzsment (pl. energiátárolás és energiahatékonyság javítása) növelhetik az energiarendszer megbízhatóságát, és csökkenthetik az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak való kiszolgáltatottságot. Az éghajlati viszonyokra reagáló energiamarketing, az energiaellátást szolgáló műtárgyak tervezési szabványainak frissítése a jelenlegi és várható klímának megfelelően, az intelligens hálózati technológiák, a robusztus átviteli rendszerek és a kínálati hiányokkal szembeni rugalmasabb válaszkészség középtávon és hosszú távon is hozzájárulhatnak a kedvező mitigációs eredményekhez (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4.2 MITIGÁCIÓS LEHETŐSÉGEK AZ IPARBAN ÉS A KÖZLEKEDÉSBEN

Az ipari szektor ÜHG-kibocsátásainak csökkentése a teljes értéklánc koordinált cselekvését igényli. Fontos mitigációs lehetőségeket nyújt a keresletmenedzsment, az energia- és anyaghatékonyság fokozása, a körforgásos anyagáramok kialakítása. Emellett fontos szerep jut a kibocsátás-csökkentő technológiáknak, illetve az átalakuló termelési folyamatoknak is. A közlekedés terén a fenntartható bioüzemanyagok, az alacsony kibocsátású hidrogén és származékai (beleértve az ammóniát és a szintetikus üzemanyagokat) támogathatják a CO₂-kibocsátás csökkentését a hajózásban, a légi közlekedésben és a nehéz tehergépkocsi közlekedésben. Mindehhez azonban szükséges a gyártási folyamatok korszerűsítése, és a gyártáshoz kapcsolódó költségek csökkentése is.

A fenntartható bioüzemanyagok jelentős mitigációs előnyöket kínálhatnak a szárazföldi közlekedésben is, mind rövid, mind középtávon. Emellett az alacsony ÜHG-kibocsátású elektromos járművek is nagy mitigációs potenciállal rendelkeznek a szárazföldi közlekedésben. Az akkumulátortechnológia fejlesztése megkönnyítheti a nehéz tehergépkocsik villamosítását, és kiegészítheti a hagyományos elektromos vasúti rendszereket is. Az akkumulátorgyártás környezeti lábnyoma és a kritikus ásványi anyagok iránti növekvő kereslet kezelhető anyag- és kínálat-diverzifikációs stratégiákkal, az energia- és anyaghatékonyság javításával, valamint körforgásos anyagáramokkal (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4.3 VÁROSOKHOZ, TELEPÜLÉSEKHEZ ÉS AZ INFRASTRUKTÚRA ELEMEIHEZ KAPCSOLÓDÓ MITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK

A városi rendszerek kritikus szerepet töltenek be az átfogó kibocsátás-csökkentés és a klímarezisztens fejlesztési utak tekintetében. A városok esetében mind a mitigáció, mind pedig az alkalmazkodás szempontjából kulcsfontosságú az éghajlatváltozás hatásainak és kockázatainak figyelembevétele a települési infrastruktúrák tervezésében és kialakításában. A földhasználat tervszerű alakítása lehetővé teszi újfajta kompakt városszerkezetek kialakítását a munkahelyek és lakóhelyek közelítésével. Emellett fontos a tömegközlekedés és az aktív mobilitás (pl. gyaloglás és kerékpározás) támogatása. Nagymértékű kibocsátás-csökkentésre ad módot az épületek energiahatékony tervezése, építése, felújítása és használata. Emellett kiemelt szerepet kap az anyagfelhasználás átstrukturálása, az ún. anyaghelyettesítés. Ez általánosságban azt jelenti, hogy nagyobb szénlábnyommal jellemezhető anyagokat kisebb kibocsátás útján előállítható anyagokkal helyettesítünk az épületekben és a városi infrastruktúra elemeiben. Talán a legkézenfekvőbb példa erre

a faépítéssel, mint a magasabb kibocsátású cement, acél és egyéb építőanyagok helyettesítésére kínálkozó klímamitigációs lehetőség.

Azok a városfejlesztési utak, amelyek a legelőnyösebbek a mitigáció, az alkalmazkodás, az emberi egészség és jólét, az ökoszisztéma-szolgáltatások, valamint az alacsony jövedelmű közösségek sebezhetőségének csökkentése tekintetében – inkluzív és hosszú távú tervezéssel érhetőek el. Az ilyen szemléletű várostervezés integrált megközelítést alkalmaz a technikai, a természetes (zöld infrastruktúra, városi erdők) és a társadalmi infrastruktúra elemeinek tekintetében. A zöld és a kék infrastruktúra (azaz a zöldfelületek és vízfelületek) támogatják a szén-dioxid felvételét és tárolását, és önmagukban vagy szürke infrastruktúrával kombinálva csökkenthetik az energiafogyasztást és a szélsőséges események, például hóhullámok, áradások, intenzív csapadékesemények és aszályok kockázatát. Emellett előnyök az egészség, a jólét és megélhetés szempontjából is (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4.4 MITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK A FÖLDI ÉS VÍZI RENDSZEREKBE, VALAMINT AZ ÉLELMISZERELLÁTÁSBAN

A mezőgazdasági, erdészeti és egyéb földhasználati szektorban (AFOLU-szektor) számos rövid távon és széles körben alkalmazható mitigációs lehetőség kínálkozik a legtöbb régióban. Az erdők és más ökoszisztémák megőrzése, javított kezelése és helyreállítása kínálja a legnagyobb gazdaságosan megvalósítható mitigációs potenciált. Mindezek közül kiemelkedő a trópusi erdőirtás megfékezésének mitigációs hatása. A természetes ökoszisztémák helyreállítása, az újraerdősítés és az erdőtelepítés azonban ellentéteket eredményezhet a különböző földhasználati célok és igények ütközése miatt. Az ellentétek minimalizálása integrált szemléletet igényel, amely minden fontos célkitűzést együttesen vesz figyelembe, beleértve az élelmiszer-biztonságot is.

A keresletoldali intézkedések, mint például a fenntartható, egészséges étrendre való áttérés és az élelmiszer-vesztés és hulladék csökkentése, illetve a fenntartható mezőgazdasági intenzifikáció segíthetnek visszaszorítani a természetes ökoszisztémák károsodását. Emellett hozzájárulnak a metán- és dinitrogén-oxid-kibocsátások csökkentéséhez is, illetve földterületeket szabadíthatnak fel az újraerdősítés, valamint az ökoszisztéma helyreállítás céljaira.

A fenntartható forrásból származó mezőgazdasági és erdészeti termékek, beleértve a hosszú élettartamú faanyagot, felhasználhatók a más ágazatokban használatos, magasabb ÜHG-intenzitású termékek helyettesítésére. Ezáltal az AFOLU-szektor értékes és nélkülözhetetlen alapanyagforrást jelent a klímasemleges körkörös biogazdaság számára.

A mezőgazdaságban a hatékony alkalmazkodási lehetőségek közé tartozik a fajtaválaszték javítása, az agrárerdészet, a közösségi alapú alkalmazkodás, a gazdaság- és tájdiverzifikáció, valamint a városi mezőgazdaság. Ezek az AFOLU-szektorhoz kötődő mitigációs lehetőségek a biológiai és társadalmi-gazdasági tényezők integrációját igénylik.

A földi, édesvízi, partmenti és óceáni ökoszisztémák megőrzése, védelme és helyreállítása, valamint a célzott, az adaptációt elősegítő kezelés csökkenti a biodiverzitás és az ökoszisztéma-szolgáltatások éghajlatváltozással szembeni sebezhetőségét, mérsékli a part menti eróziót és az áradásokat, illetve növelheti a szén-dioxid felvételt és tárolást, ezáltal csökkentve a globális felmelegedést. A túlhalászott vagy kimerült vizek helyreállítása csökkenti az éghajlatváltozás vizekre gyakorolt negatív hatásait, és támogatja az élelmiszer-biztonságot, a biodiverzitást, az emberi egészséget és jólétet. A földi rendszerek helyreállítása hozzájárul az éghajlatváltozás mérsékléséhez

és az alkalmazkodáshoz, szinergiákat hozva létre az ökoszisztéma-szolgáltatásokkal. Ez elősegíti az intézkedések gazdasági megtérülését, valamint a szegénység csökkentését is eredményezheti. Néhány lehetőség, mint például a magas széntartalmú ökoszisztémák megőrzése (pl. lápok, vizes területek, legelők, mangrove erdők), azonnali előnyökkel járnak, míg mások, például a magas széntárolási képességű ökoszisztémák helyreállítása évtizedeket vehetnek igénybe a mérhető eredmények eléréséig (IPCC AR6WGIII 2022). Az őslakosokkal és a helyi közösségekkel történő együttműködés, valamint az őslakosok jogainak elismerése alapvető fontosságú az erdők és más ökoszisztémák adaptációjának elősegítése érdekében, valamint a hozzájuk kapcsolódó mitigációs potenciál mind teljesebb kiaknázása szempontjából is (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4.5 AZ EGÉSZSÉGÜGYHÖZ ÉS A TÁPLÁLKOZÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ MITIGÁCIÓS LEHETŐSÉGEK

Az integrált mitigációs és alkalmazkodási stratégiák az emberi egészség hasznára válnak. Az ilyen szemléletű intézkedések az egészségvédelmet a társadalombiztosítás mellett beépítik az élelmiszerellátással, infrastruktúrával, valamint a vizekkel kapcsolatos szabályozásokba és politikákba is.

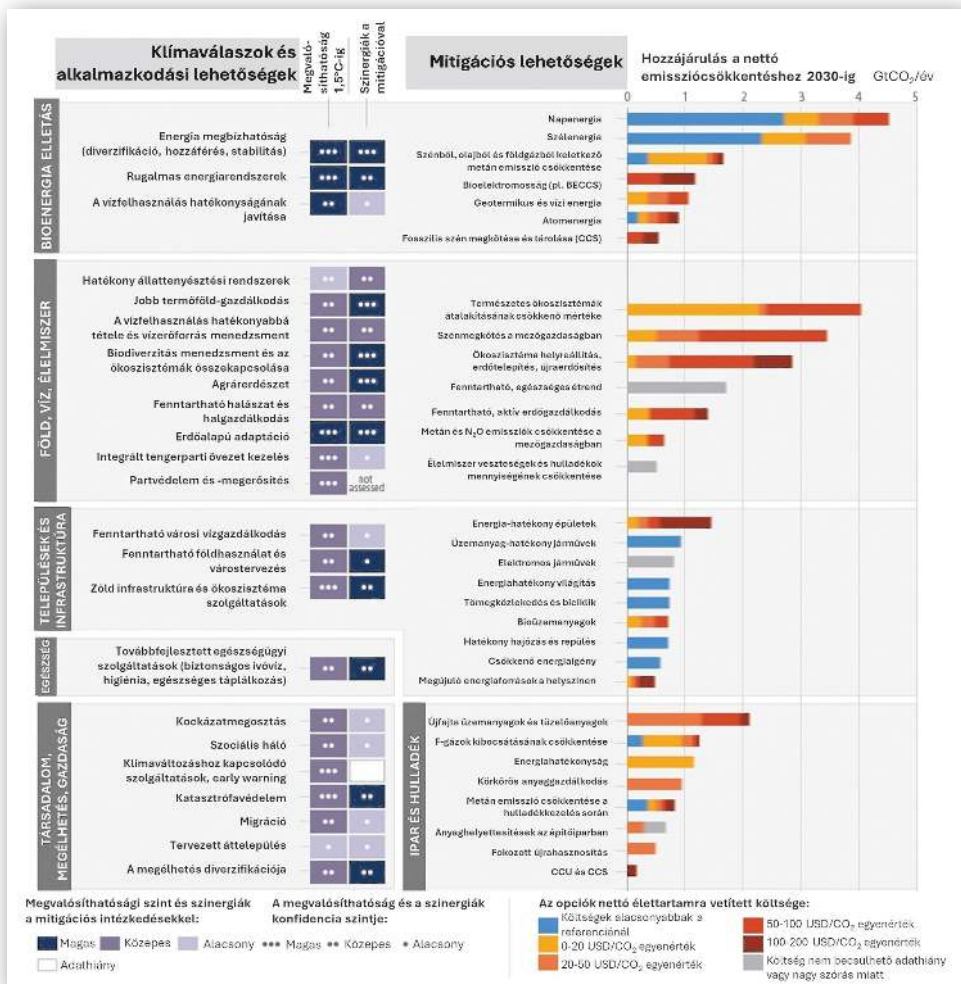
A hatékony alkalmazkodási stratégiák együttesen szolgálják az emberi egészség és jólét védelmét. Ilyenek lehetnek a klímaérzékeny kórokozókval kapcsolatos közegészségügyi programok, az egészségügyi rendszerek ellenállóképességének növelése, az ökoszisztéma egészségének javítása, az ivóvízhez való hozzáférés elősegítése, a víz- és szanitációs rendszerek áradásokkal szembeni kitettségének csökkentése, a felügyeleti és katasztrófiákat előre jelző rendszerek fejlesztése, illetve a vakcinafejlesztés. Emellett azok az alkalmazkodási stratégiák, amelyek csökkentik az élelmiszer-vesztést és a pazarlást, vagy támogatják a kiegyensúlyozott, fenntartható egészséges étrendet, hozzájárulnak az egészség, a biodiverzitás megőrzéséhez és a klímitigációhoz is (IPCC AR6WGIII 2022).

2.4.6 MITIGÁCIÓ A TÁRSADALOM ÉS A GAZDASÁG SZINTJÉN

A társadalom kiszolgáltatottságát csökkenthetik azok a rendszerek, amelyek egyesítik az időjárás- és egészségbiztosítást, a társadalombiztosítást, valamint az adaptív szociális hálókat. Ezek kiegészülhetnek eseti finanszírozással, tartalékalapokkal és hatékony vészhelyzeti tervekkel kombinált korai figyelmeztető rendszerekkel.

Az oktatás fejlesztése, a kapacitásépítés és az éghajlati ismeretek megosztása segítheti a kockázatok felismerését, ösztönözheti a viselkedésbeli változásokat, és növelheti az alkalmazkodóképességet (IPCC AR6WGIII 2022).

A 24. ábra bemutatja a legfontosabb klímitigációs és adaptációs intézkedéseket az egyes nagy földi rendszerekben, illetve szemlélteti a mitigációs potenciál nagyságát az egyes rendszerek és intézkedéscsoportok szerinti bontásban.



24. ÁBRA

A mitigációs és alkalmazkodási lehetőségek a különböző nagy földi rendszerek szintjén.

A bal oldalon láthatóak az éghajlat változására adott válaszok és az alkalmazkodási lehetőségek, amelyek megvalósulásának/megvalósíthatóságának lehetőségét globális szinten, rövid távon, +1,5 °C-os globális felmelegedési szint feltételezése mellett értékelték. Mivel szakirodalom +1,5 °C-os felmelegedési szint felett korlátozottan elérhető, a magasabb felmelegedési szintek esetében az intézkedések megvalósíthatóságát jelenleg nem lehet megbízhatóan értékelni.

A „klímaválasz” kifejezést az alkalmazkodás mellett azért használjuk, mivel bizonyos válaszokat, mint például a migrációt és a tervezett áttelepítést nem feltétlenül tekinthetjük alkalmazkodási folyamatnak.

**24. ÁBRA
FOLYTATÁSA**

Az erdőalapú alkalmazkodás magában foglalja a fenntartható erdőgazdálkodást, az erdő megőrzését és helyreállítását, az erdőtelepítést és az újraerdősítést. Az ábra jobb oldali része áttekintést nyújt a mitigációs lehetőségekről, valamint azok becsült költségeiről és emisziócsökkentési potenciáljáról a 2030-ig terjedő időszakban. A költségek az elkerült ÜHG-kibocsátás nettó élettartamra vetített, diszkontált pénzületi költségei, referencia-technológiához viszonyítva. A relatív potenciálok és költségek helyenként, kontextusonként és időben, valamint 2030-hoz képest hosszabb távon változhatnak. A mitigációs potenciál mértéke (vízszintes tengely) a nettó ÜHG-kibocsátás csökkenése, azaz a kibocsátás-csökkentő és a szénmegkötést növelő hatások összegzett értéke. A mitigációs potenciál ábrázolása költségkategóriákra lebontva történt (színes sávokkal ábrázolva) egy kibocsátási alapszinthez képest, amelyet az AR6 forgatókönyvek adatbázisából származó jelenlegi politikákat tartalmazó referencia-forgatókönyvekből állapítottak meg. A mitigációs potenciál nagyságát az egyes opciók esetében külön-külön értékeli, és ezek nem összeadhatók. A fokozatos színátmenetek a költségkategóriákra való felosztás bizonytalanságát jelzik, melynek oka a számításbizonytalansága és az erős kontextusfüggőség. A teljes mitigációs potenciál bizonytalanságának értéke jellemzően 25-50%. (Forrás: IPCC AR6WGIII 2022)

A 20 USD/tonna CO₂ értéknél alacsonyabb költségekkel járó mitigációs intézkedések jelentős része a nap- és szélenergia kiterjedtebb használatából, az energiahatékonyság javításaiból és a metán-kibocsátás csökkentéséből származhat majd.

Az energiatermelés diverzifikálása (pl. szélerőművek, naperőművek, kisméretű vízerőművek révén) és a keresletoldali menedzsment (pl. energiatarolás és energiahatékonyság javítása) növelhetik az energiarendszer megbízhatóságát, és csökkenthetik az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak való kiszolgáltatottságot. Az éghajlati viszonyokra reagáló energiamarketing, az energiaellátást szolgáló műtárgyak tervezési szabványainak frissítése a jelenlegi és várható klímának megfelelően, az intelligens hálózati technológiák, a robusztus átviteli rendszerek és a kínálati hiányokkal szembeni rugalmasabb válaszkészség középtávon és hosszú távon is hozzájárulhatnak a kedvező mitigációs eredményekhez (IPCC AR6WGIII 2022).

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

2. fejezet: Klímaváltozás és klímamitigáció

A klímaváltozás már nem egy távoli jövőbeli lehetőség, hanem jelen idejű válság, amelynek hatásait mind világszinten és Magyarországon egyaránt tapasztaljuk. A globális hőmérséklet 1,1 °C-kal emelkedett az ipari forradalom óta, és ennek következményei – mint a hőhullámok, aszályok, árvizek vagy az ökoszisztémák degradációja – mindennapivá váltak. A tudományos magyarázat egyértelmű: az emberi tevékenység, a fosszilis energiahasználat és a nagyüzemi mezőgazdaság a fő hajtóerő. Ezért a megoldás kulcsa is az ember kezében van.

A klímamitigáció célja, hogy mérsékeljük vagy megelőzzük ezeket a hatásokat – például azáltal, hogy csökkentjük az üvegházhatású gázok kibocsátását, vagy fokozzuk azok természetes megkötését. Az erdők, vizes élőhelyek és agrárerdészeti rendszerek természetes szénelnyelőként kiemelt szerephez jutnak. A mitigáció tehát nemcsak energetikai vagy technológiai kérdés, hanem földhasználati, tájhasználati és gazdaságszerkezeti átalakulás is. Az olyan megoldások, mint a faalapú termékek használata, a bioenergetikai megoldások fejlesztése, a fenntartható erdőgazdálkodás vagy a karbonpiaci mechanizmusok, konkrét eszközöket adnak a döntéshozók és gazdálkodók kezébe.

A fejezet rámutat, hogy a politikai válaszok eddig nem voltak elégségesek. A nemzetközi megállapodások – mint a Párizsi Egyezmény – fontos lépések, de végrehajtásuk következetességet, pénzügyi forrásokat és társadalmi támogatást igényel. A COVID-19 világjárvány idején megfigyelt kibocsátáscsökkenés azt is bizonyítja: globális viselkedésváltozással jelentős hatás érhető el – de nemcsak krízisek árán, hanem tervezett, zöld átállással. A jövő kulcsa tehát a strukturált átmenet egy klímasemleges gazdaság felé, amelyben a természetes szénelnyelők – különösen az erdők – és a körkörös biogazdaság egyensúlyban működnek. Mindez elengedhetetlen ahhoz, hogy elkerüljük a +1,5 °C-os globális hőmérséklet-emelkedési küszöbérték meghaladását, és fenntartható pályára állítsuk a gazdaságot és a természetes rendszereket.





A TÖLGY RÖNKÖKBE ZÁRT SZÉN TARTÓSAN KIKERÜL A LÉGKÖRI FOLYAMATOKBÓL ÉRTÉKES ÉS TARTÓS FATERMÉKEK RÉVÉN

A hosszú élettartamú fatermékek lehetővé teszik a faalapú széntárolást az ökoszisztémán kívül is. Épületszerkezeti elemként a fa akár évszázadokon át beépítve maradhat, ezáltal karbon akkumulátorként és egyben magas minőségű megújuló nyersanyagként is funkcionál. Ilyen módon a fatermékekben történő széntárolás hosszabb időtartamú, tartósabb és hatékonyabb is lehet, mint az ökoszisztémán belüli széntárolás és a meglévő erdei szénkészletek in situ megőrzése.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

**KLÍMAMITIGÁCIÓS
STRATÉGIÁK
A FAGAZDASÁGI
SZEKTORBAN**

3.

AZ ERDÉSZETI

és faipari szektor kiemelt szerepet tölt be a nettó nulla kibocsátási szint eléréséhez vezető úton, hiszen jelenleg ez az egyetlen szektor, ahol kiterjedt ökoszisztéma-alapú megoldások nyílnak az elkerülhetetlen kibocsátások szénmegkötéssel történő ellensúlyozására.

Az erdőalapú klímamitigáció a Párizsi Egyezmény és az EU klímátörvényének kulcseleme (Friedlingstein et al. 2019, Grassi et al. 2017, EU/2021/1119). A nettó nulla kibocsátási cél elérése csak akkor lesz megvalósítható, ha az elkerülhetetlen kibocsátások ökoszisztéma-alapú, illetve műszaki megoldások segítségével ellensúlyozzák (Fankhauser et al. 2022, Levin et al. 2020, Rogelj et al. 2021). Az erdők megkötik a szén-dioxidot (CO₂) a légkörből, és tárolják a szenet a biomasszában, a holt szerves anyagokban és a talajban. A hosszú élettartamú fatermékek (HWP) pedig erdőn kívüli széntárolást tesznek lehetővé, emellett faalapú termékek használatával a termék- és energiahelyettesítő hatásuk révén jelentős fosszilis CO₂-kibocsátásokat kerülhetünk el az energetikai és ipari szektorokban (Köhl és Martes 2023, Korosuo et al. 2023). A fosszilis energia bioenergiával való helyettesítése fontos lépés az EU által megcélzott körkörös biogazdaság felé (Korosuo et al. 2023, Borovics et al. 2023). A szénmegkötés, széntárolás és a szubsztitúciós hatások együttesen teremtik meg az erdőalapú ágazat klímamitigációs lehetőségeit. Az erdei termékekre és szolgáltatásokra épülő szektorokat, azaz az erdőszeti és faipari ágazatot összefoglalóan gyakran erdőiparnak nevezik a nemzetközi szakirodalomban (Lipiäinen et al. 2022, Hurmekoski et al. 2022, Borovics és Király 2023a,b). Könyvünkben az „erdőipar” fogalmat az erdőszet és a faipar elválaszthatatlan és egymásra épülő természetének hangsúlyozására használjuk. Ezzel a kifejezéssel azonban nem az erdei ökoszisztéma industrializációját célozzuk, hiszen elismerjük és hangsúlyozzuk, hogy az erdő sokkal több, mint egy szennyelő, szénraktár vagy ipari nyersanyagforrás – valójában a biodiverzitás hordozója, a legösszetettebb szárazföldi ökoszisztéma, mely számos létfontosságú funkcióval bír, amelyek messze túlmutatnak az éghajlatváltozás mérséklésének egyoldalú szempontján.

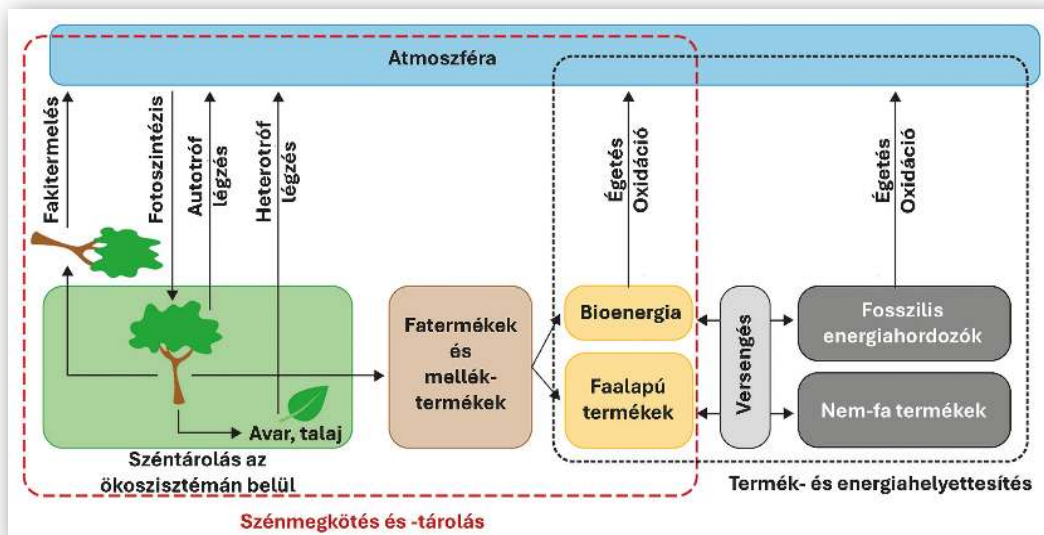
3.1 A NÉGY ERDŐIPARI KLÍMAMITIGÁCIÓS ÚTVONAL

Az erdőalapú szektor négy különböző módon járulhat hozzá az éghajlatváltozás mérsékléséhez az alábbi négy lehetséges CO₂-kibocsátás korlátozó eszköz segítségével:

1. széntárolás az ökoszisztémán belül;
2. széntárolás faalapú termékekben;
3. emberi tevékenységekből származó CO₂-kibocsátás csökkentése azáltal, hogy a faalapú termékekkel helyettesítenek magasabb kibocsátású technológiával előállított termékeket;
4. energiatermelésből származó CO₂-kibocsátás csökkentése a fosszilis tüzelőanyagok fával való helyettesítésével.

E négy mitigációs út látszólag egymással ellentétes lehetőségeket kínál a szénmegkötés maximalizálására, illetve az emissziók elkerülésének megvalósítására. A négy eltérő mitigációs útvonal összefüggéseit és kölcsönhatásait a 25. ábra szemlélteti.

A négy mitigációs stratégia optimális kombinációja, és így a legkedvezőbb egyensúly megtalálása teszi lehetővé a mitigációs hatások maximalizálását. Az alábbiakban bemutatjuk az egyes mitigációs utak jellemzőit.



25. ÁBRA

Az erdőalapú klímamitigációs utak áttekintő ábrája.

(Forrás: Nabuurs et al. 2015)

3.1.1 SZÉNTÁROLÁS AZ ÖKOSZISZTÉMÁN BELÜL

Az erdők a fotoszintézis révén megkötik a légköri szén-dioxidot a biomasszában, így szénelnyelőként és széntárolóként, azaz tulajdonképpen szén-akkumulátorként működnek. A megkötött szén nagy része a dendromasszában raktározódik. Emellett egy része az avarba és holt faanyagba jut, majd innen a talaj szerves szénrétegébe kerül, ahol hosszú távon tárolódhat. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az erdőben maradó holtfa és az avarba, talajba került szerves hulladék lassan oxidálódik és szén-dioxidot termel, így a széntárolást csökkenti. Az érintetlen erdőben a fotoszintézissel megkötött szén és a respiráció, valamint a lebomlási folyamatok révén felszabaduló szén egyensúlyba kerül, így nettó szénmérlegük nulla körüli. Az olyan erdőgazdálkodási eszközök, mint az erdők védelme, az erdősisítés, az újraerdősisítés és a csökkentett fakitermelés bizonyos ideig növelhetik a nettó szénmegkötést az erdőben, illetve fokozhatják az ökoszisztémán belüli széntárolást az egyensúlyi állapot eléréséig (Nabuurs et al. 2015).

3.1.2 SZÉNTÁROLÁS FAALAPÚ TERMÉKEKBEN

Erdeinket úgy is elképzelhetjük, mint egyfajta szénpumpát, amely a légköri szén-dioxidot a fotoszintézis segítségével a fák élő biomasszájába áramoltatja, majd a tartamos erdőgazdálkodási tevékenységek eredményeképpen, azaz emberi segítséggel a biomasszában kötött szén hosszú élettartamú fatermékekbe áramlik tovább, és hosszú távon a technoszférában raktározódik.

A hosszú élettartamú fatermékek lehetővé teszik a faalapú széntárolást az ökoszisztémán kívül is. Épületszerkezeti elemként a fa akár évszázadokon át beépítve maradhat, ezáltal karbon-akkumulátorként és egyben magas minőségű megújuló nyersanyagként is funkcionál (Borovics et al. 2024). Ilyen módon a fatermékekben történő széntárolás hosszabb időtartamú, tartósabb és hatékonyabb is lehet, mint az ökoszisztémán belüli széntárolás és a meglévő erdei szénkészletek *in situ* megőrzése.

3.1.3 EMISSZIÓK ELKERÜLÉSE TERMÉKHELYETTESÍTÉS ÚTJÁN

A szénmegkötés és -tárolás mellett a helyettesítési hatások alkotják az erdőalapú klímamitigáció másik fontos alappillérét. A fatermékek előállítása általában jóval alacsonyabb fajlagos kibocsátással jár, mint a nem faalapú alternatíváiké (Leskinen et al. 2018). A faanyag 580 kWh/t előállítási igényével szemben a téglá előállítása 2320, a cement 2900, a műanyag 3480, az üveg 8120, az acél 13 920 és az alumínium 73 080 kWh/t energiaigényű (Kovács 2000). A fosszilisenergia-intenzív termékek fával történő helyettesítése útján elkerült ÜHG-kibocsátások jelentik a fatermékek termékhelyettesítési hatásait. A fa felhasználása az épületek tartószerkezeti elemei mellett eredményesen megvalósítható szigetelőanyagként, magas minőségű bútorokban, csomagolóanyagokban, textíliákban és kémiai anyagokban is.

Az Európai Erdészeti Intézet 51 tanulmányból álló metaanalízisében 433 termékhelyettesítési tényezőt elemez. Eredményeik szerint a tanulmányok túlnyomó többsége azt támasztja alá, hogy a fa és a faalapú termékek használata alacsonyabb fosszilis és folyamat alapú kibocsátással jár, mint a nem faalapú termékek előállítása és felhasználása (Leskinen et al. 2018). Elemzésük alapján 1,2-es átlagos és általános termékhelyettesítési tényezőt határoznak meg, ami azt jelenti, hogy a jelenlegi technológiai fejlettség mellett a nem fatermékeket helyettesítő fatermékekben tárolt minden kilogramm szén-dioxidra átlagosan körülbelül 1,2 kg elkerült szén-dioxid-kibocsátás jut.

3.1.4 EMISSZIÓK ELKERÜLÉSE ENERGIAHELYETTESÍTÉS ÚTJÁN

A faalapú tüzelőanyagok és a bioenergia (például pirolízis olaj és második generációs biodízel) helyettesíthetik a fosszilis tüzelőanyagokat, amivel fosszilis ÜHG-kibocsátásokat tesznek elkerülhetővé az ún. energiahelyettesítési hatásuk révén.

A termékhelyettesítés általában nagyobb emisszióelkerülést eredményez, mint az energiahelyettesítés (Geng et al. 2017). Knauf és tsai. (2015, 2016), Härtl és tsai. (2017) és Schweinle és tsai. (2018) 0,67-es energiahelyettesítési tényezőt állapítanak meg. A fenti energiahelyettesítési tényező azt jelenti, hogy a faalapú energiahordozókban tárolt egy tonna szén-dioxidra átlagosan 0,67 tonna elkerült fosszilis szén-dioxid-kibocsátás jut.

Myllyviita és tsai. (2021) szerint a nemzetközi szakirodalom energiahelyettesítési tényezőinek többsége 0,8-nál alacsonyabb, ami azt jelzi, hogy a faalapú tüzelőanyagok a fánál alacsonyabb CO₂-kibocsátási szintű fosszilis energiatermelést helyettesítenek.

Mindez rávilágít arra, hogy milyen fontos a fatermékek kaszkád rendszerű felhasználása: a magas minőségű termékek előállítására is alkalmas faanyagot elsősorban hosszú élettartamú termékek gyártására ajánlott használni. A faalapú hulladékok, melléktermékek ugyanakkor fontos energiahordozóként jelennek meg a körkörös biogazdasági rendszerben.

**26. ÁBRA**

A fa tartós beépítése az egyik legjobb mitigációs eszköz. (Fotó: Borovics Attila)

3.2 ELLENTMONDÁSOS JOGI KÖRNYEZET

Fontos megjegyezni, hogy bár mind a négy fent részletezett erdőalapú klímamitigációs útvonal potenciálisan hozzájárul az éghajlatváltozás mérsékléséhez, eltérő következményekkel járnak az erdőgazdálkodás és a fakitermelés szempontjából. Míg az ökoszisztéma széntárolását rövid távon az alacsonyabb intenzitású fakitermelés maximalizálja, addig a fakitermelésben történő szénakkumulációt, illetve a helyettesítési hatásokat a fakitermelés intenzitásának növelésével lehet fokozni. Regionális és országos szinten általában a négy klímamitigációs intézkedés megfelelő kombinációja adja a legoptimálisabb megoldást (Nabuurs et al., 2015, Egger et al. 2024).

Az 1. táblázat összefoglalja az erdészeti és faipari szektort érintő ágazatpolitikai stratégiák és jogi eszközök bonyolult rendszerét a globális szinttől az EU-szinten át egészen a nemzeti szabályozási környezetig. A táblázat kiemeli az egyes szakpolitikák egymással gyakran ellentétes prioritásait, melyek nehezítik a stratégiai tervezést. Ugyanis míg egyes szabályzók és jogi eszközök a fahasználat csökkentését irányozzák elő a biodiverzitás védelmében, illetve az erdei széntárolás fokozásának érdekében, addig mások a bioökonómia jegyében ösztönzik a fa, mint megújuló, környezetbarát nyersanyag mind szélesebb körű felhasználását. Ez a vertikális és horizontális politikai inkoherencia negatívan befolyásolhatja a faellátást és a bioenergetikát; feloldása körültekintő és harmonizált szakpolitikai tervezést igényel, amelyről hazai viszonyok között Mátyás (2025) közölt elemzést *Erdőgazdálkodás a természet-helyreállítás és a szénsemlegesség követelményei között* címmel.

Az európai jogi környezet részletesebb ismertetésével könyvünk 5. fejezetében foglalkozunk majd.

1. TÁBLÁZAT

Az erdészeti és faipari szektort érintő többszintű politikai- és jogi keretrendszer

(Forrás: Egger et al. 2024)

Európa erdeit érintő többszintű és szektorokon átívelő politikai és jogi keretrendszer					
	Növekvő fahasználat			Csökkenő fahasználat	
Prioritási szint	Bioenergia és szénmegkötés (fatermék) alapú erdőgazdálkodás	Fatermés-maximalizáló erdőgazdálkodás	Többcélú erdőgazdálkodás	Erdői szénraktározásra irányuló erdőgazdálkodás	Erdői biodiverzitás megőrzés
Globális	Bioenergia és szénmegkötés (fatermék) alapú erdőgazdálkodás	Trópusi Faanyagok Nemzetközi Szervezete (ITTO), Erdőgazdálkodással kapcsolatos jogérvényesítés, irányítás és kereskedelem (FLEGT)	ENSZ Erdő Fóruma (UNFF) / Erdőkre vonatkozó nemzetközi megállapodás (IAF) FSC – Forest Stewardship Council (Erdőgondnoksági Tanács), PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification (Erdőtanúsítási rendszerek jóváhagyásának programja)	ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC), erdőirtásból és erdőpusztulásból származó kibocsátások csökkentése (REDD+)	Biológiai Sokféleség Egyezmény (CBD)
Pán-európai szint			Forest Europe fenn tartható erdőgazdálkodás kritérium- és indikátorrendszer		

Európa erdeit érintő többszintű és szektorokon átívelő politikai és jogi keretrendszer					
Növekvő fahasználat			Csökkenő fahasználat		
Prioritási szint	Bioenergia és szénmegkötés (fatermek) alapú erdőgazdálkodás	Fatermes-maximalizáló erdőgazdálkodás	Többcélú erdőgazdálkodás	Erdei szénraktározásra irányuló erdőgazdálkodás	Erdei biodiverzitás megőrzés
Európai Unió	Megújuló energia direktíva, bioökonomia stratégia, LULUCF-rendelet	Bioökonomia stratégia, Európai Unió erdőirtás megfékezését célzó rendelete (EUDR), Faanyag-kereskedelmi láncot szabályozó rendelet (EUTR), EU akcióterv az erdőgazdálkodással kapcsolatos jogérvényesítés, irányítás és kereskedelem (FLEGT) ügyében	Közös Agrárpolitika (CAP), Vidékfejlesztési rendelet, (EU erdőstratégia)	Zöld megállapodás, LULUCF-rendelet, Irány az 55% (Fit for 55) csomag, (Bioökonomiai stratégia)	Zöld megállapodás, EU erdőstratégia, biodiverzitás stratégia, természet helyreállítási törvény, élőhely és madár-védelmi direktívák, Európai Unió erdőirtás megfékezését célzó rendelete (EUDR)
Nemzeti szint	Erdészeti politika és törvénykezés Észak-, Közép- és Kelet-Európában	Erdészeti politika és törvénykezés Észak- és Kelet-Európában	Erdészeti politika és törvénykezés Közép- és Kelet-Európában	Erdészeti politika és törvénykezés Nyugat-Európában	Erdészeti politika és törvénykezés Nyugat- és Dél-Európában

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

3. fejezet: Klímamitigációs stratégiák a fagazdasági szektorban

A fagazdasági szektor négy alapvető módon tud hozzájárulni a klímavédelemhez:

- (1) az erdei ökoszisztémában tárolt szén révén,
- (2) a hosszú élettartamú fatermekben tárolt szén segítségével,
- (3) karbonintenzív anyagok helyettesítésével (pl. beton vagy acél kiváltása fával), valamint
- (4) a faalapú bioenergia alkalmazásával, amely csökkentheti a fosszilis energiahordozók használatát.

Bár ezek az útvonalak mind jelentős mitigációs potenciált hordoznak, megvalósításukat akadályozza a jelenlegi szabályozási környezet. Az erdők védelme, az ökoszisztéma-szolgáltatások megőrzése és a klímacélok elérése között feszülő ellentmondások komplex, gyakran ellentétes irányú szakpolitikai elvárásokat eredményeznek. További nehezítő tényezőt jelent bizonyos iparágak – például a fosszilis alapú energiaipar, a cement- vagy a műanyagipar – érdekérvényesítő tevékenysége, valamint a Magyarországon érvényben lévő, a legtöbb EU-tagállamnál szigorúbb tűzvédelmi előírások.

Ezért különösen fontos az integrált, összehangolt klímastratégiák kidolgozása, amelyek egyszerre veszik figyelembe az erdők ökológiai-, gazdasági- és klímavédelmi szerepét. Hiszen ezek a stratégiák nem egymás alternatívái, hanem egymással szinergiában működő tényezők annak érdekében, hogy a teljes erdészeti és faipari értéklánc a lehető legnagyobb szénmegkötési és -megtartási potenciállal járjon hozzá a klímacélokhoz.



A FA TARTÓS BEÉPÍTÉSE AZ EGYIK LEGHATÉKONYABB KLÍMAVÉDELMI ESZKÖZ

*Hosszú élettartamú fatermékekben tárolt szén segítségével és karbon- és energiaintenzív anyagok helyettesítésével (pl. beton vagy acél kiváltása fával) a faanyag szélesebb körű használata kiemelkedő mértékben szolgálja a klíma-
védelmi céljainkat.*

Fotó és szöveg: Borovics Attila





**LEHETSÉGES HOSSZÚ TÁVON FENNTARTHATÓ MEZŐGAZDASÁGI
GYAKORLATOT KIALAKÍTANI, AMELYBEN A KLÍMAVÉDELEMNEK IS
KULCSSZEREPE VAN**

Sem fenntartható mezőgazdaság, sem egészséges élelmiszer nincs egészséges talaj nélkül. A fákat újra vissza kell vinnünk a szántókra ahhoz, hogy azok jótékony hatásait kifejtve hosszú távon biztosítsák a talaj szervesanyag-tartalmát, de egyúttal megvédjék a talajt a lemosódástól, szabályozzák a vízháztartást, kedvezőbb mikroklímát alakítsanak ki, és életfeltételt biztosítsanak egy sor élőlénynek.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



ERDŐK ÉGETÉSES IRTÁSA

Az erdők fenntartható hasznosításával kapcsolatos ismeretek és feltételek hiánya okozza még ma is az égetéssel történő erdőirtás jelentős részét, miközben ennek visszaszorításában van az egyik legnagyobb mitigációs potenciál.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

4.

**AZ ERDÉSZETI
ÉS FAIPARI SZEKTOR
GLOBÁLIS
KLÍMAMITIGÁCIÓS
SZEREPE**

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSI

Kormányközi Testület (IPCC) harmadik munkacsoportjának feladata a klímaváltozás mérséklésének lehetőségeit, azaz a mitigációs potenciált vizsgálni. A munkacsoport időről-időre áttekinti a szakirodalom új vívmányait, a megbízható és releváns eredmények feldolgozásával értékelő jelentést ad ki. A hatodik értékelő jelentés mitigációs kötetének (IPCC AR6WGIII 2022) hetedik fejezete (Nabuurs et al. 2022) az erdészeti, földhasználati és mezőgazdasági (AFOLU) szektor klímaváltozást mérséklő szerepével foglalkozik. A jelentés összegzi és számszerűsíti a szektorban tapasztalt múltbéli ÜHG-kibocsátások mértékét és trendjét, a mitigációra irányuló intézkedések fajtáit és lehetséges hatásait. Emellett áttekinti a szektorból származó kibocsátások és szén-dioxid-megkötések jövőre vonatkozó modellezésének lehetőségeit.

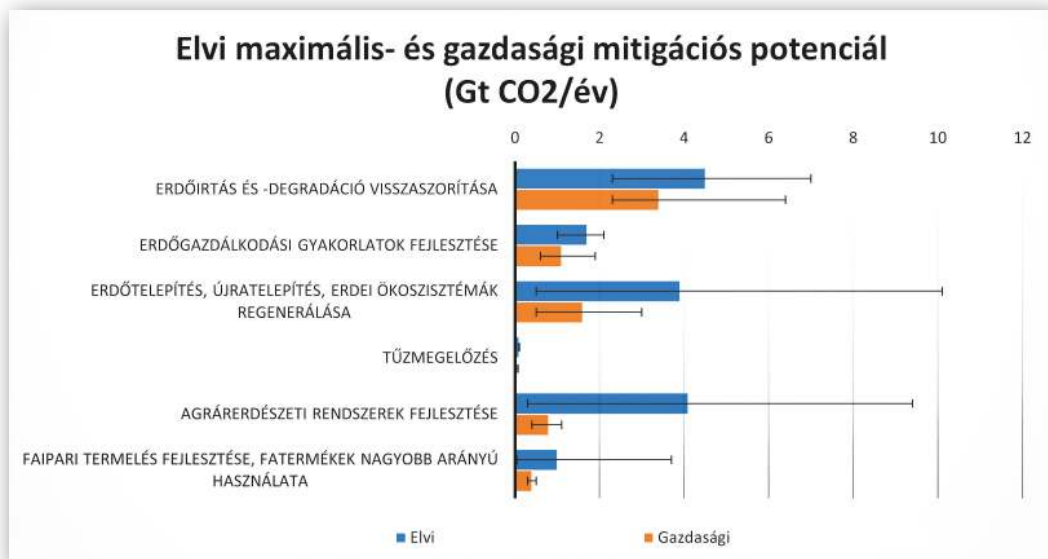
4.1 A FÖLDHASZNÁLATI ÉS ERDÉSZETI SZÉKTOR KÜLÖNLEGES SZEREPE A MITIGÁCIÓ TERÉN

A jelentés kiemeli az erdészeti és földhasználati szektor különleges szerepét, ami megkülönbözteti azt az összes többi szektortól. Az energetikai, ipari és hulladékgazdálkodási szektorokban a mitigáció egyetlen módja az emissziók csökkentése. Ezzel szemben a komplex folyamatokra és élő rendszerekre épülő földhasználati szektor négy különböző módon is hozzájárul a kibocsátáscsökkentési célok eléréséhez. A jelentésben feldolgozott előrejelzések szerint megfelelő intézkedések és szabályozás esetén a földhasználati szektor már 2030–2035 között szén-dioxid-semlegessé válhat, és a 2025 utáni kibocsátáscsökkentés kulcsfontosságú ágazata lehet.

A mitigációs intézkedések akkor a leghatásosabbak, ha a döntéshozóknak pontos képük van a várható hatásuk mértékéről, előnyeikről és esetleges kockázataikról. A jelentés globális szinten tartalmaz becsléseket az egyes intézkedések elvi maximális, és gazdasági (értsd: gazdasági szempontból is kedvező) mitigációs potenciáljára. Az elvi maximális mitigációs potenciál az a szén-dioxid-mennyiség, amelynek évenkénti kibocsátása az adott intézkedés alkalmazása esetén maximálisan megtakarítható 2050-ig. Az elvi maximális potenciál megállapításakor gazdaságossági szempontokat nem vizsgálnak. Ezzel szemben a gazdasági mitigációs potenciál a 100 USD/tCO₂ költségen vagy annál olcsóbban megvalósítható emissziómérséklést jelent. Ezt a költséget tekintik annak az árnak, amelyet a társadalom hajlandó megfizetni a mitigációért, és segédváltozóként használják fel a reálisan megvalósítható kibocsátáscsökkentési potenciál arányának becsléséhez.

A 27. ábra és a 2. táblázat mutatja be az erdőgazdálkodással összefüggő intézkedések kibocsátáscsökkentési potenciálját, kedvező hatásait és esetleges kockázatait.

A fenntartható, korszerű és klímaadaptív erdőgazdálkodás a kibocsátást csökkentő és szén-dioxidmegkötő hatások mellett további pozitív hatásokat fejt ki a biodiverzitás védelmében, a talajvédelemben, az elsivatagosodás elleni küzdelemben, illetve kedvezően hathat a talaj vízháztartására, a levegőminőségre és a mikroklímára is. Így ökoszisztéma-szolgáltatásokat, megújuló erőforrásokat, jövedelmet és megélhetést biztosít emberek milliói számára. A nem körültekintően végrehajtott globális intézkedések ezzel szemben kockázatot jelenthetnek főleg az élelmiszerellátás biztonsága, a megélhetés és a biodiverzitás szempontjából, például úgy, hogy olyan területeket vonnának erdőgazdálkodás alá, amelyek nélkülözhetetlenül szükségesek lennének az élelmiszerek megtermeléséhez. Ebből az is következik, hogy korlátlan erdőtelepítés nem jelenthet megoldást a globális klímavédelmi célok megvalósítására.

**27. ÁBRA****Az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó egyes mitigációs intézkedések mitigációs potenciál értékei.**

Az ábra elkülönítve szemlélteti a maximális elvi globális kibocsátás-csökkentési potenciál és a gazdasági (100 USD/tCO₂ költségen megvalósítható) kibocsátáscsökkentési potenciál értékeit, valamint bemutatja az értékek bizonytalansági intervallumait is. (Forrás: IPCC 2022)

A meglévő erdők fakészletének növelését célzó erdőgazdálkodási stratégiáknak emellett lehetnek olyan nem kívánt hatásai, mint az állomány szintű szerkezeti komplexitás csökkenése, a gyors növekedésű homogén állományok előtérbe kerülése, ami a természetes bolygatással és a károsítókkal szembeni ellenállóképesség csökkenését vonhatja maga után.

2. TÁBLÁZAT

Az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó mitigációs intézkedések maximális elvi globális mitigációs potenciálja, gazdasági mitigációs potenciálja, előnyei, valamint kockázatai.

A táblázat utolsó sora a teljes földhasználati szektor mitigációs potenciálját adja meg, beleértve nemcsak az erdőterületeket, hanem a mezőgazdasági területeket, gyepeket, vizes élőhelyeket stb. is. (Forrás: IPCC 2022)

Intézkedés	Mitigációs potenciál		Hatások	
	Elvi maximum	Gazdasági	Előnyök	Kockázatok
	Gt CO ₂ /év			
Erdőirtás és -degradáció visszaszorítása	4,5	3,4	biodiverzitás, víz, talaj, levegő-minőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	megélhetés, élelmiszer-biztonság
Erdőgazdálkodási gyakorlatok fejlesztése	1,7	1,1	biodiverzitás, víz-, talaj- és levegő-minőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	biodiverzitás, megélhetés, élelmiszer-biztonság
Erdőtelepítés, újratelepítés, erdei ökoszisztémák regenerálása	3,9	1,6	biodiverzitás, víz-, talaj- és levegő-minőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	biodiverzitás, víz, ellenálló képesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság
Tűz megelőzés	0,1	0,05	biodiverzitás, talaj, levegőminőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	biodiverzitás
Agrárerdészeti rendszerek fejlesztése	4,1	0,8	biodiverzitás, víz-, talaj- és levegő-minőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	biodiverzitás, megélhetés, élelmiszer-biztonság
Faipari termelés fejlesztése, fatermékek nagyobb arányú használata	1	0,4	biodiverzitás, víz-, talaj- és levegő-minőség, ellenállóképesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság	biodiverzitás, víz, ellenálló képesség, megélhetés, élelmiszer-biztonság
Teljes földhasználati szektor mitigációs potenciálja	28,4	13,6		

4.2 ERDŐGAZDÁLKODÁSI GYAKORLATOK FEJLESZTÉSE

Az európai erdőket az elmúlt öt évtizedben jó állapotúnak és gyarapodónak tekintették. A közel-múltban azonban ezek a nézetek is megváltoztak. A klímaváltozás nagy nyomást gyakorol a monokultúrákra, mint pl. a lucfenyővel betelepített területekre Közép-Európában, ahol a becslések szerint a mortalitás eléri a 200 millió m³-t évente. A mediterrán térség erdeit fokozottan sújtja a klímaváltozás, a szárazodás és az erdőtüzek. A Balti-térségben a kitermelési ráták közelítik a fenntartható kitermelési lehetőségek maximumát. Ezek a kihívások klímatudatosabb erdőgazdálkodási gyakorlatok bevezetését teszik szükségessé, amelyek egyszerre járulnak hozzá a mitigációs erőfeszítésekhez, és egyúttal növelik az erdők alkalmazkodóképességét a változó körülmények között. A jelentés azonban hangsúlyozza, hogy nagy erdőterületek fakitermelésből való teljes kivonása más területeken nagyobb fakitermelési nyomást indukálhat, és ilyen módon közvetett többletkibocsátásokat eredményezhet (28. ábra, 29. ábra).



28. ÁBRA

A tiltás nem megoldás.

A trópusi fenntartható erdőgazdálkodást lehetővé tévő, alacsony intenzitású, szállaló jellegű módszer jellemzője az 50–60 éves visszatérési idő melletti néhány fa kitermelése hektáronként (Somogyi és Borovics, 2021). Alkalmazásának jelenlegi legnagyobb akadálya a szaktudás hiánya. Ugyanakkor például az amazóniai régióknak szinte az egyetlen olyan kitermelési lehetősége, amely a fenntarthatóságot is figyelembe veszi. (Francia-Guyana, Saint-Georges, fotó: Borovics Attila)



29. ÁBRA

Az erdőgazdálkodás hiányában az égetéssel erdőirtás rossz gyakorlata fog tovább érvényesülni, amely néhány éves területhasználat és a talajok kimerülése után, végeérhetetlen folyamatként falja fel az erdők jelentős részét. (Brazília, Tomé-Acu, fotó: Borovics Attila)

Az ellenállóképesség növelésének egyik fontos eszköze a szaporítóanyag-gazdálkodás, az erdészeti szaporítóanyag-források tudatos és tervezett használata, hiszen a gyors alkalmazkodást sok esetben éppen a jól megválasztott növényanyag szavatolja. Ez, illetve a klímaváltozás szempontjait figyelembe vévő, a jövő termőhelyeire tervezett fafajválasztás lehetővé teszi, hogy a gyorsan változó környezeti körülményekhez minél jobban alkalmazkodó állományokat hozzunk létre. A faipari terméklánc fejlesztése, magas minőségű iparifa-választékok termelése, valamint a vágástéri hulladék égetésének mellőzése szintén hozzájárulhat a kibocsátások csökkentéséhez.

4.3 A FATERMÉKEK KLÍMAVÉDELMI SZEREPE

Az IPCC jelenése hangsúlyozza, hogy az erdők mellett a fatermékeknek is fontos szerep jut a klímavédelemben, hisz a faanyag tömegének közel felét a légkörből kivont szén alkotja. A fatermékek fokozottabb felhasználásának előnyei és kockázatai szorosan kapcsolódnak az erdőgazdálkodás fenntarthatóságához. A fatermékek iránti kereslet, és a fatermékek fogyasztása évente 1%-kal növekszik, összhangban a népesség és a jövedelmek növekedésével, amely globális szinten növekvő fakitermelést eredményez. Ez a tendencia a következő évtizedekben is folytatódni fog. A világ számos országában szabályozást vezettek be az erdészeti termékek nemzetközi kereskedelmére vonatkozóan, hogy csökkentsék az illegális fakitermelést, aminek jelentős pozitív hatásai vannak.

A jelentés megállapítja, hogy termékszínterben komoly bizonyítékok állnak rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a fenntarthatóan kezelt erdőkből származó fatermékek gyártásuk, felhasználásuk és ártalmatlanításuk során kevesebb ÜHG-kibocsátást okoznak, mint a kibocsátás-intenzív és nem megújuló anyagokból készült termékek.

A fatermékek széntárolása növelhető a használatban lévő termékek mennyiségének növelésével, azaz minél több új, hosszú élettartamú termék gyártásával, továbbá az újrahajósítás elősegítésével. Ez a fenntartható erdőgazdálkodás szempontjainak figyelembevételével addicionális fakitermelést tehet szükségessé, illetve a tűzifa–iparifa arányt az ipari választékok irányába tolhatja el. A fatermékek fokozott használata elősegítheti a fenntartható erdőgazdálkodási gyakorlatok kialakulását olyan országokban, ahol ez pillanatnyilag még nem jellemző. Ugyanakkor a növekvő fakitermelés azal a kockázattal is járhat, hogy csökkenti az erdei ökoszisztéma *in situ* széntárolását, ezért különösen fontos a mitigációs útvonalak közötti legmegfelelőbb egyensúly megtalálása és a jó gazdálkodói gyakorlatok minél szélesebb körű elterjesztése. A fatermékek fokozott használata szintén előtérbe helyezi az alulhasznosított fafajok ipari hasznosítását is.

4.4 AZ AGRÁRERDÉSZETI RENDSZEREK KIAKNÁZATLAN MITIGÁCIÓS POTENCIÁLJA

Az agrárerdészeti rendszerek évezredek múltjára tekintenek vissza, bár az intenzív mezőgazdasági termelés előtérbe kerülésével csökkent a jelentőségük. Az agrárerdészet tulajdonképpen többfunkciós mezőgazdálkodás, olyan földhasználati rendszerek és technológiák gyűjtőneve, ahol fás szárú évelő növényeket (fákat, cserjéket, pálmákat, de hasonló szerepet tölthet be a bambusz is) különböző térbeli vagy időbeni mintázatban együtt alkalmaznak szántóföldi kultúrákkal, illetve legelőgazdálkodással,

Borovics A., Király É., Keserű Zs.

valamint állattartással. Az agrárerdészeti rendszerek többlet szén-dioxidot kötnek meg a fás szárú növények hosszú távú hatása révén, valamint segítik a talajok széntartalmának visszapótlását is, emellett számos járulékos előnyt kínálnak. Például növelik a talaj termőképességét, csökkentik a termelési kockázatot és az talajeróziót, jobb vízminőséget és kedvezőbb mikroklímát biztosítanak, csökkentve a környezeti hőmérsékletet, a légköri aszály mértékét és a természetett mezőgazdasági növényekre jutó hőstresszt (Borovics et al. 2017, 30. ábra).



Pozitív hatásai ellenére az agrárerdészeti rendszerek kutatása kevésbé előrehaladott az erdőgazdálkodás vizsgálatánál. Hatásait jelenleg nem veszik figyelembe az integrált értékelő modellezés során, melynek segítségével a kibocsátás-csökkentési forgatókönyvek és útvonalak meghatározása történik. A terület további kutatása kiemelten fontos, hogy a mitigációs potenciál modellezése és elszámolása ne ütközzön módszertani korlátokba, és kellő mennyiségű, illetve minőségű adat álljon rendelkezésre.

30. ÁBRA

A trópusokon a mezőgazdaság szinte egyetlen hosszú távon is fenntartható formája az agrárerdészet, amely a napi megélhetés biztosításán túl jelentős szénelnyelőként – ezáltal új lehetséges többletjövedelem-forrásként – járulhat hozzá a térség megújulásához. (Brazília, Tomé-Acu, fotó: Borovics Attila)

4.5 AZ IPCC ÁLTAL JAVASOLT TOVÁBBI LÉPÉSEK

A földhasználati és erdészeti szektor jelentős rövid távú mitigációs potenciált kínál viszonylag alacsony költségek mellett, azonban a kibocsátás-csökkentő intézkedéseken túl kulcsfontosságú jobban megérteni, hogy a jövőbeli éghajlatváltozás hogyan fogja befolyásolni a mitigációs lehetőségeket. Az éghajlatváltozással szembeni ellenállóképesség növelése, az adaptáció legalább olyan fontos, mint a kibocsátások csökkentése.

A jelentés szerint világszerte mintegy egymillió hektárt tesznek ki a csökkent természetességű vagy leromlott erdők. Ez a terület ideális lenne egy olyan fenntartható szektor fejlesztésére, amely egyszerre növeli a biodiverzitást, biztosítja a faellátást, és elősegíti a klímaváltozás mérséklését. Ennek elérése további erőfeszítést igényel: fontos a kutatás, a szaktudás fejlesztése és az alkalmazkodást segítő új szaporítóanyag-források feltárása. Olyan elszámolási rendszerek és szakpolitikai megoldások kidolgozására van szükség, amelyek lehetővé teszik az erdők, az agrárerdészeti rendszerek és a mezőgazdasági talajok szénmegkötésének elszámolását más szektorokban keletkezett kibocsátások ellentételezéseként (önkéntes vagy jogszabályi alapon), ezzel új forrást biztosítva a földhasználati és erdészeti szektorban megvalósuló klímavédelmi beruházások finanszírozására. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy az erdőgazdálkodási gyakorlatok megváltoztatása nemcsak megfelelő gazdasági ösztönzőket igényel, hanem korszerű tudást, az intézményrendszer és a szabályozórendszer fejlesztését, valamint szakképzett munkaerőt is.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

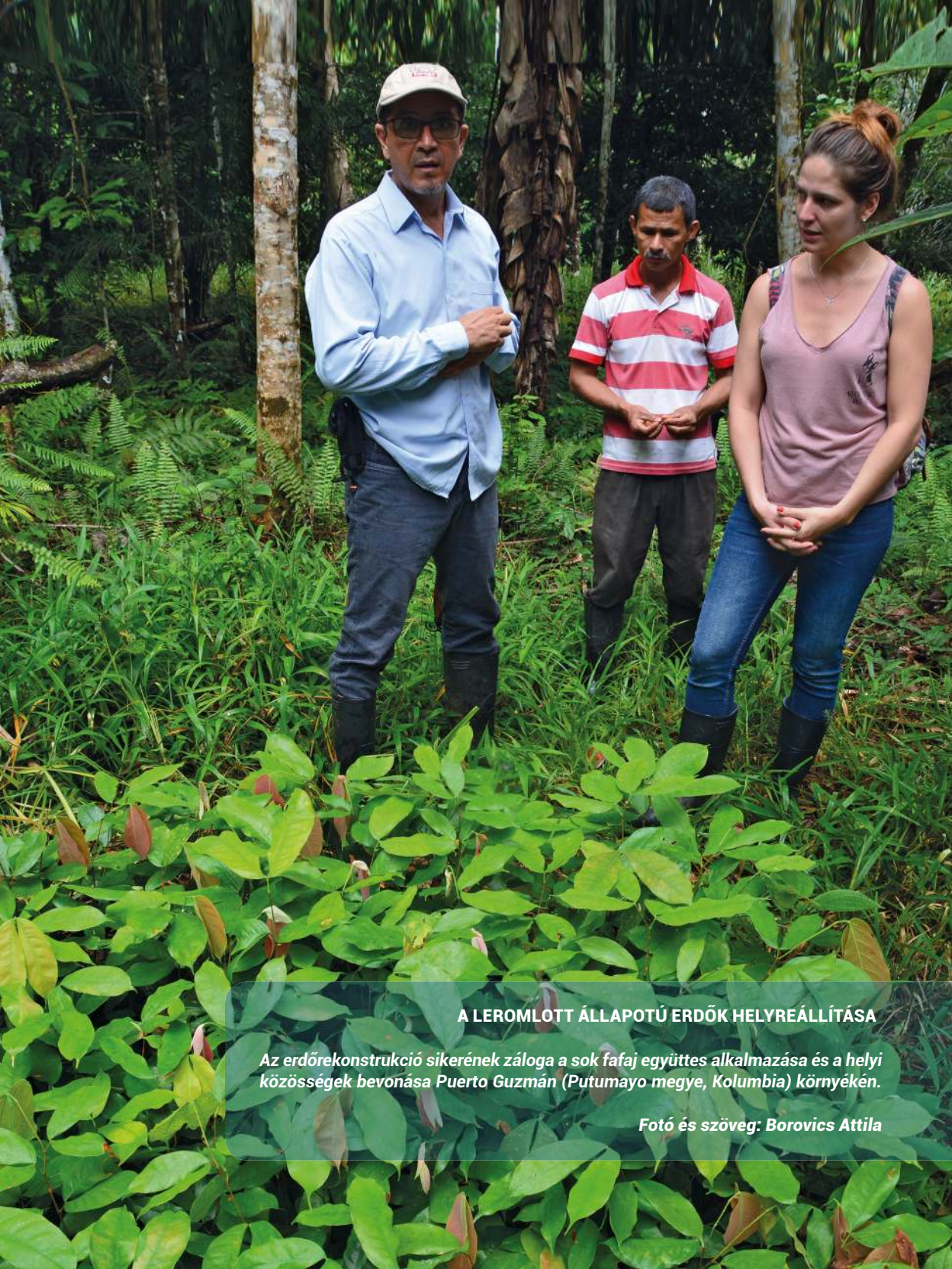
4. fejezet: Az erdészeti és faipari szektor globális klímamitigációs szerepe

Az IPCC globális értékelése szerint a földhasználati és erdészeti szektor rövid távon is jelentős és költséghatékony klímamitigációs lehetőséget kínál, de ezek pozitív hatása csak akkor lehet tartós, ha a mitigációs intézkedésekkel párhuzamosan a jövő éghajlatához való alkalmazkodás is megtörténik. A leromlott állapotú erdők helyreállítása kulcsfontosságú, mert egyszerre szolgálhatja a szénmegkötést, a biodiverzitás növelését és a faellátást.

Az erdőalapú rendszerek nemcsak szénmegkötőként, hanem hosszú távú széntárolóként is működnek. Fenntarthatóbb, klímabarát erdőgazdálkodási gyakorlatok révén növelhető az erdők ellenállóképessége, produktivitása és szénmegkötő képessége. Emellett a faalapú termékek hosszú élettartamú széntárolóként, valamint a kibocsátásintenzív anyagok helyettesítőiként is hozzájárulhatnak a klímacélokhoz.

Az agrárerdészeti rendszerek, amelyek a mezőgazdasági területek és erdei ökoszisztémák integrációját jelentik, ma még kihasználatlan potenciált képviselnek a kibocsátás-csökkentés és az ökoszisztéma-szolgáltatások bővítése terén.

Az IPCC szerint az erdőalapú klímamitigáció hatékony megvalósításához a tudásbázis fejlesztése, új szaporítóanyag-források bevonása, valamint hatékony ösztönző- és elszámolási rendszerek létrehozása szükséges. Az erdészeti szektor tehát csak akkor tud növekvő hatékonysággal hozzájárulni a klímavédelemhez, ha az intézményi, szabályozási és tudományos háttér is lépést tart a növekvő elvárásokkal.



A LEROMLOTT ÁLLAPOTÚ ERDŐK HELYREÁLLÍTÁSA

Az erdőrekonstrukció sikerének záloga a sok fajjal együttes alkalmazása és a helyi közösségek bevonása Puerto Guzmán (Putumayo megye, Kolumbia) környékén.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





AZ ERDŐK TARTÓS SZÉNMEGKÖTÉSE ÉRDEKÉBEN AKTÍVAN KELL SEGÍTENI AZ ERDŐK ALKALMAZKODÁSÁT

Mivel az erdők szénmegkötése a biológiai rendszereken alapuló szénmegkötési lehetőségek közt jelenleg is a legnagyobb, az erdészeti ágazat szerepe erősödni, lehetőségei bővülni fognak a klímacél eléréséhez vezető úton, amihez aktívan kell segíteni az erdők alkalmazkodását, új erdőket kell telepíteni, és erősíteni kell az agrárerdészeti kezdeményezéseket.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



A SZAPORÍTÓANYAGNAK KULCSSZEREPE VAN

Az erdők alkalmazkodását segítő erdőkezelésben, új erdők telepítésében és agrárerdészeti kezdeményezések megvalósításában magas színvonalú szaporítóanyag-gazdálkodás szükséges, hogy megfelelő minőségű és kellő mennyiségű csemete folyamatosan rendelkezésre álljon.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

5.

**EURÓPAI POLITIKAI
KONTEXTUS**

**AZ URSULA
VON DER LEYEN**

vezette Európai Bizottság (Bizottság) 2019. decemberi hivatalba lépésekor átfogó keretbe foglalta az őt megelőző, Jean-Claude Juncker által vezetett Bizottság időszakában már előkészített, az EU klímasemlegességéhez vezető növekedési stratégiáját, amely az Európai Zöld megállapodásban (Zöld megállapodás) testesült meg. A grandiózus, az Unió fejlődési irányait meghatározóan megszabó keretstratégia a klímasemleges, erőforrás-hatékony „zöld” gazdaság megvalósítását tűzi ki célul, mely – többek közt – magában foglalja a klímasemlegesség elérését 2050-ig, a biodiverzitás megőrzését, gazdagítását, az energiatakarékos, körforgásos gazdaság erősítését, az energiafüggség csökkentését, a forráshatékony építést és épületfelújítást, a környezetszennyezés csökkentését, a biztonságos és egészséges ételmiszer-ellátást.

A Zöld megállapodás azt az átalakulást indította el, melynek keretében az EU egy korszerű, fenntartható és versenyképes gazdasággal rendelkező társadalommá válhat. Ennek érdekében minden releváns szakpolitikai területnek hozzá kell járulnia a kitűzött célok eléréséhez. Az EU jól olajozott gépezete nemcsak felvázolta az elképzeléseket, melyeket számos háttér tanulmánnyal igyekezett megalapozni, de a megvalósításban sem késlekedik. Az elmúlt időszakban korábban soha nem látott mennyiségben és tempóban születtek az ágazati és keretstratégiák, jogszabályok, melyek egyik központi eleme a klímaváltozás ütemének mérséklése és a változó klímához történő alkalmazkodás.

Nehezen vitatható, hogy a Zöld megállapodás keretében elindult és jelenleg is lendületesen zajló, az erdőgazdálkodást közvetlenül vagy közvetetten érintő uniós szakpolitikai reformok, a klímavédelem, a biodiverzitás védelme, az energiapolitika, a körforgásos biogazdaság vagy a fenntartható finanszírozás keretében készült és készülő stratégiák, jogszabályok számos új elvárást, követelményt támasztanak az erdőgazdálkodással szemben, és jelentős hatást gyakorolnak az erdészeti ágazatra.

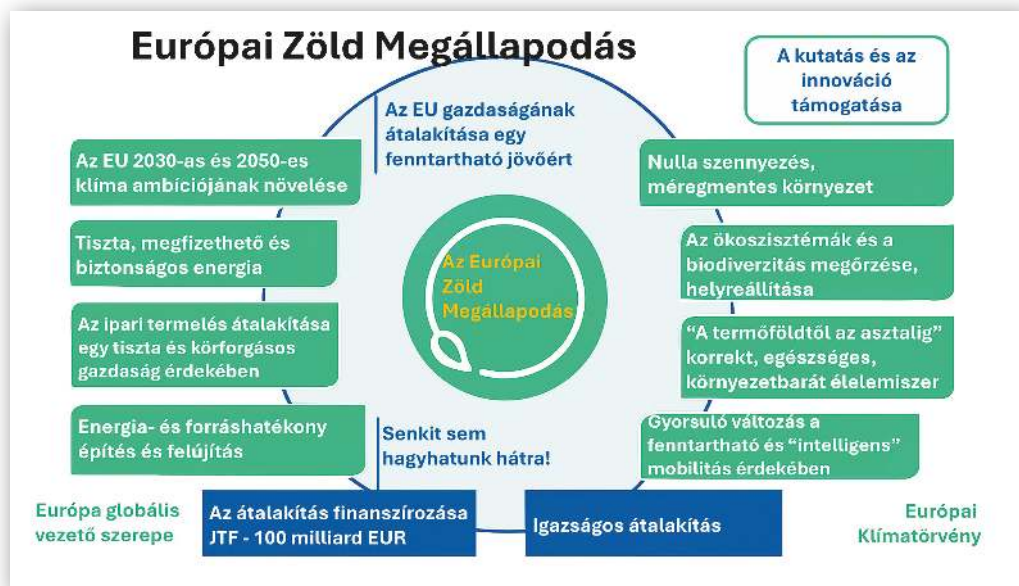
A fejezet keretei közt aligha vállalkozhatunk a releváns EU stratégiák, jogszabályok teljes körének áttekintésére, ezért a téma szempontjából legfontosabbnak ítélt szabályozási területeket mutatjuk be. A könyv további fejezeteiben részletesen ismertetésre kerülő EU keretekre – mint például a körforgásos biogazdaság vagy a fenntartható gazdálkodás keretrendszere –, itt külön nem térünk ki.

5.1 A ZÖLD MEGÁLLAPODÁS

A Bizottság 2019. december 11-én kiadott közleménye, az Európai Zöld megállapodás az Európai Unió elsősorban a klímaváltozás és a környezeti állapot romlása kapcsán kidolgozott hosszú távú stratégiája. Az EU globális kihívások iránti érzékenysége mellett a Zöld megállapodás egy olyan fejlesztési (növekedési) stratégia, mely célkitűzései alapján átvezeti az Uniót egy virágzó, igazságos, modern, erőforrás-hatékony és versenyképes társadalomba, ahol 2050-re megszűnik az üvegházhatású gázok nettó kibocsátása (klímasemlegesség), és a gazdasági növekedést nem korlátozza az erőforrások felhasználása. Hangsúlyos eleme a természeti erőforrások védelme, megőrzése, fejlesztése és az állampolgárok egészségének megőrzése, megóvásuk a káros környezeti hatásoktól. Mindezt a fenntarthatósági szempontok messzemenő és egyre körültekintőbb figyelembe vételével kívánja megvalósítani. A mindössze 24 oldalas dokumentum tömören foglalja össze a kitűzött célokat és tervezett intézkedéseket, melyek az elkövetkező 30 évre kijelölik az EU fő fejlődési irányait. Nem vitatható, és számos kritikát kapott az EU jövőképét meghatározó dokumentum erős „zöld” irányultsága, ugyanakkor az alaposabb elemzések rámutatnak, az EU egy versenyképesség-javító növekedési

stratégiát fogadott el – mely ha burkoltan is –, de egyértelműen tartalmazza a gazdaság motorját jelentő fogyasztás stimulálását, átstrukturálását is.

Tévedés ne essék: a Zöld megállapodás nem egy gyökeresen új irány az EU fejlődésében, hiszen a klímavédelem, a biodiverzitás védelme, az erdőforrás-hatékony, fenntartható gazdálkodás már számos EU stratégia és jogszabály témája volt korábban is. A kirajzolódó fejlődési irányokat rendszerbe foglaló Zöld megállapodás, amely figyelembe veszi az emberiség fejlődési irányait orientáló ENSZ egyezményeket és az EU előtt álló kihívásokra adandó lehetséges válaszokat, egyben példát is kíván mutatni egy fenntartható fejlődési keretrendszer kialakításával és bevezetésével. Globális kitekintésben a klímaváltozást vagy a biodiverzitás csökkenését aligha tudja az EU önmagában megállítani, de a jó példa és gyakorlat bevezetésével, a célkitűzésekben partnerséget vállaló országokkal összefogva, kiemelten a releváns ENSZ-egyezmények és nemzetközi megállapodások kereteit is kihasználva, vezető szerepet tölthet be a jövőben a globális környezeti válság mérséklésében, a valóban fenntartható fejlődés megvalósításában. A Zöld megállapodás fontosabb elemeit mutatja be a 31. ábra.



31. ÁBRA

A Zöld megállapodás fontosabb elemei.

5.2 KLÍMATÖRVÉNY

A Zöld megállapodás egyik alapköve a klímasemlegesség elérése 2050-re. Ezt a célkitűzést rögzíti a klímátörvény néven elhíresült, 2021/1999/EU-rendelet. Az EU jogrendje nem ismeri a törvény fogalmát, valójában klímarendelet született, de a köznyelv a nemzeti jogszabályrendszerek hierarchiájában legmagasabban álló „törvény” megjelöléssel jelzi a klímasemlegességre vonatkozó vállalás kiemelkedő jelentőségét.

A jogszabály tömören foglalja össze az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának és elnyelésének 2050-re kitűzött egyensúlyba kerülését, a klímasemlegességet mint célértéket, valamint a cél elérését szolgáló feladatokat és ütemtervet. Az üvegházhatású gázok csökkentése korábban is fontos eleme volt az EU klímapolitikájának. A klímarendelet megjelenését megelőzően felvázolt kibocsátáscsökkentési pálya és a tervezett intézkedések az 1990-es kibocsátások 60%-os csökkentését vetítették előre 2050-re. Ezt az ambíciószintet növelte meg jelentős mértékben a klímarendelet, mely az alábbi, főbb elemeket tartalmazza:

- Az ÜHG-k Unión belüli kibocsátását és eltávolítását legkésőbb 2050-ig egyensúlyba kell hozni az Unión belül, ennek következtében az említett időpontra nulla nettó szintre csökkentve a kibocsátásokat.
- Az érintett uniós intézmények és a tagállamok uniós, illetve nemzeti szinten megteszik azokat a szükséges intézkedéseket, amelyek lehetővé teszik a klímasemlegességi célkitűzés közös elérését.
- Megerősíti az éghajlatváltozással összefüggésben, 2009-ben létrehozott tudományos tanácsadó testületet.
- Meghatározásra került a 2030-as kibocsátáscsökkentési célérték – 55% – amely az elnyeléseket is figyelembe vevő nettó érték. Annak érdekében, hogy a kibocsátások csökkentését az elnyelések beszámítása ne lassítsa, a számításba vehető elnyelések mennyiségét 225 millió tonna szén-dioxid-egyenértékben korlátozták.
- Kiemelt figyelmet kap a kibocsátások csökkentése mellett az éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodás, az alkalmazkodási stratégiák kidolgozása uniós és nemzeti szinten.
- Az előrehaladást 2023-tól kezdődően évente értékeli a Bizottság a mitigációra (kibocsátáscsökkentés) és az adaptációra (alkalmazkodás) vonatkozó tagállami jelentések alapján. A tagállami jelentések meghatározó elemei a nemzeti energia- és klímatervek, a releváns nemzeti stratégiák előrehaladási jelentései.
- Az EU-rendeletek végrehajtása során szerzett korábbi tapasztalatok alapján a Bizottság hangsúlyt helyez az időarányos teljesítés rendszeres ellenőrzésére (a kiinduló és a célértéket összehasonlító lineáris pályák mentén), és az esetleges elmaradások lehető legkorábbi időszakban történő korrekciójára.
- A rendelet kiegészítéseként a Bizottság 2025. július 2-án hozta nyilvánosságra a 2040-es célértékre vonatkozó, 90%-os kibocsátáscsökkentési javaslatát.

Egyértelműen kirajzolódik a klímarendeletben a szénmegkötés jelentőségének növekedése. A kitűzött klímasemlegességi cél a szénmegkötés/szénkivonás növelése nélkül nem teljesíthető. Mivel az erdők szénmegkötése a biológiai rendszereken alapuló szénmegkötési lehetőségek közt jelenleg is a legnagyobb, és várhatóan meghatározó marad a jövőben is, az erdészeti ágazat szerepe erősödni, lehetőségei bővülni fognak a klímacél eléréséhez vezető úton.

5.3 ERDŐK SZÉNMEGKÖTÉSE – FÖLDHASZNÁLAT, FÖLDHASZNÁLAT-VÁLTOZÁS ÉS ERDŐGAZDÁLKODÁS (LULUCF)

Közismert, hogy az erdők jelentős mennyiségű szén-dioxidot vonnak ki a légkörből és hosszú ideig tárolják azt a dendromasszában, az erdő talajában, illetve a szén lekötött formában marad a fatermékekben. Ez a szénmegkötés egyre nagyobb figyelmet kap az Unióban, a Zöld megállapodás egyik sarkalatos eleme, a klímasemlegesség elérése elképzelhetetlen az erdők szénmegkötése nélkül. Mivel az ÜHG-kibocsátások a legjobb szándék és a technológia fejlesztése mellett sem csökkenthetők nullára, azok fennmaradó részét a szénelnyeléssel/szénkivonással kell majd ellensúlyozni. Mint a legjelentősebb szárazföldi szénelnyelő, az erdők klímavédelmi szerepe már most is jelentős, de a jövőben még inkább felértékelődik.

Az Unió klímavédelmi erőfeszítései sokkal régebbre nyúlnak vissza, mint a Zöld megállapodás. A kibocsátáscsökkentés alapkövét, a kibocsátás-kereskedelmi rendszert (ETS) már 2005-ben lerakták. A Föld első „szénpiacát” az energia- és ipari termelés, a repülés és a tengeri hajózás ÜHG-kibocsátásának csökkentésére hozták létre (az EU ÜHG-kibocsátás kb. 40%-át fedi le), egyben a zöld átalakulás egyik finanszírozási forrásává is vált.

Az ETS által le nem fedett kibocsátásokat első lépésben az erőfeszítés megosztási döntés (ESD) keretében próbálta korlátok közé szorítani az Unió 2009-ben, azt követően a 2018-ban elfogadott, majd ambiciózusabb célkitűzésekkel 2023-ban módosított erőfeszítés-megosztási rendelet (ESR) keretében. A szabályozás kiterjed a közlekedéshez, az épületekhez, a hulladékgazdálkodáshoz és a mezőgazdasághoz köthető kibocsátásokra, ami a teljes EU ÜHG-kibocsátásának közel 60%-át adja.

Van azonban egy harmadik csoport is, a földhasználat, földhasználat-változás és erdőgazdálkodás, (LULUCF), mely meghatározóan, az erdőknek köszönhetően nem ÜHG-kibocsátó, jelentős szénmegkötő és tároló. A LULUCF nem volt közvetlen részese az EU klímapolitikájának, mely – eleinte és érthető okokból – a kibocsátások csökkentését helyezte előtérbe. Az egyre ambiciózusabb célkitűzések azonban előrevetítették a szénmegkötő ágazatok bevonásának szükségességét. Ezt érzékelteti néhány adat a LULUCF-szektor elmúlt 10 évi szénmegkötéséről, ami az EU ÜHG-kibocsátásának 8%-át (300 millió t CO₂/év) ellensúlyozta, ezen belül az erdők a kibocsátások 10%-át (400 millió t CO₂/év) kompenzálták. Az adatok egyben azt is jelzik, hogy az erdők szénmegkötése meghaladja a LULUCF teljes szénmegkötését, vagyis a földhasználat és földhasználat-változás EU-szinten kibocsátó, nem szénmegkötő. Az EU erdőborítása 42%, lassan növekszik, a fakitermelés az éves növedék 2/3-a, így a fenntartható erdőgazdálkodásnak köszönhetően a szénmegkötés megőrzése, esetleges növekedése lenne elvárható. Az erdők korosztály viszonyai, a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai és számos további tényező figyelembevételével csak óvatosan lehet a szénmegkötés mértékének fenntartásával, esetleges növelésével számolni 2050-ig. Valószínűbb forgatókönyv a szénmegkötés ütemének stagnálása, esetleges csökkenése, amit az elkövetkező 25 év klímapolitikai prioritásai és intézkedései még érzékelhetően módosíthatnak.

Jó példája az EU szakpolitikák közti megfelelő koherencia hiányának, hogy a megújuló energia előtérbe kerülésének eredményeként, az elmúlt évtizedben – különösen a magas erdősültségű országokban – megnövekedett a fakitermelés, egyben csökkent az erdők éves szénmegkötése, ami visszatükröződik a LULUCF-ágazat szénmegkötésében is.

Mivel a LULUCF-ágazatban meglehetősen bonyolult a szénkészlet változások nyilvántartása, pontos kimutatása, a jogalkotók első lépésben az elszámolások megbízhatóságának növelését célozták meg; majd ezt követte a LULUCF-szektor fokozatos bevonása a 2050-es klímasemlegességi cél elérésebe. Ennek szellemében és első lépéseként került kiadásra a LULUCF-határozat (529/2013/EU), mely

az elszámolási szabályok pontos meghatározására, a módszertani fejlesztésekre és a jelentéstételre koncentrált. Ki kell emelni, hogy az ENSZ Klímaváltozási Keretegyezménye, a Kiotói Jegyzőkönyv, majd a Párizsi Egyezmény alapján rendszeresen összeállításra kerülő nemzeti jelentések, az ezekkel összhangban készülő, az EU-nak megküldésre kerülő nemzeti jelentések módszertani egységesítése, fejlesztése nem volt újdonság, évente rendszeresen visszatérő feladat.

Második lépésként a LULUCF-szektor integrálták az EU 2030-ig tartó éghajlat- és klímapolitikai keretrendszerébe a 2018/841/EU-rendelettel „A földhasználat, a földhasználat-változtatáshoz és az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó üvegházhatásúgáz-kibocsátásnak és -elnyelésnek a 2030-ig tartó időszakra vonatkozó éghajlat- és energiapolitikai keretbe történő beillesztéséről”. A rendelet meghatározza a tagállamok feladatait a Párizsi Egyezmény célkitűzéseinek elérése és az EU 2021-2030-as időszakra vonatkozó ÜHG-kibocsátáscsökkentési célkitűzésének teljesítéséhez. Megállapítja a LULUCF-ágazathoz kapcsolódó kibocsátások és elnyelések elszámolására, továbbá az ellenőrzésre vonatkozó szabályokat. Konkrét kötelezettségvállalásként elvárja a tagállamoktól, hogy a LULUCF-szektorban a kibocsátások ne haladják meg az elnyeléseket, vagyis a szektor összességében szénelnyelő legyen.

Harmadik lépésként 2023. április 19-én megjelent a LULUCF-rendeletet módosító 2023/839/EU-rendelet. A rendelet tervezetében a Bizottság négy elképzelést vázolt fel:

- Az aktuális szabályozás fenntartása 2025-ig;
- 2026–2030-ig az ambíciószint növelése, 2030-ra 310 millió tonna CO₂-megkötés EU-szinten, tagállami célértékekkel (Magyarország 5,7 millió tonna CO₂), éves célértékek meghatározásával és ellenőrzésével;
- 2031–2035 a LULUCF és a mezőgazdasági nem CO₂-kibocsátások összevonása (AFOLU) és az AFOLU kibocsátás-semlegességének elérése 2035-re – várhatóan az erdőkre terheli a mezőgazdasági kibocsátások ellentételezését (élelmiszer-biztonság primátusa, fakitermelés esetleges korlátozása);
- 2036-tól további, korlátozott kibocsátáscsökkentésre képes ágazatok összevonása az AFOLU-szektorral, kibocsátás-semlegesség elérése, majd újabb szektorok bevonása – az erdők szénmegkötő képessége eltűnik a rendszerben.

A tagállamok, köztük a magyar erdészeti szakértők határozott fellépésének eredményeként a megjelent rendeletről kikerült az utolsó két elképzelés, megmaradt a hatályos szabályozás fenntartása 2025-ig, valamint a 2030-as szénmegkötési célértékek meghatározása. Fontos eleme a módosításnak a referencia-időszak megállapítása – a 2016., 2017. és 2018. évi ÜHG-kibocsátás átlagát kell figyelembe venni. Ennek megfelelően az EU-szintjén 264,704 millió tonnáról 310 millió tonnára, Magyarország esetében 4,791 millió tonnáról 5,724 millió tonnára kell növelni a LULUCF-ágazat szénmegkötését. Mivel az évente elkészülő elszámolásokban a referencia időszak kiinduló értéke is változhat, a 2032. évi elszámolás eredménye alapján a referenciaértékhez képest a 2030. évi szénmegkötési értéknek legalább 934 ezer tonna szén-dioxiddal magasabbnak kell lennie. (Az elszámolások kétéves csúszással készülnek, a 2030-as érték 2032-ben áll majd rendelkezésre. Az adatok minden esetben a szén-dioxid-egyenértékre vonatkoznak.)

A LULUCF, az erdők szénmegkötésének integrálása az EU klímapolitikájába felvillantja a reményt a szénmegkötés ellentételezésére, az ágazat bevételi lehetőségeinek bővülésére. A fentiek alapján erre a LULUCF-rendelet elsősorban a rugalmassági mechanizmus keretében ad lehetőséget, az országok közti kvótaátadás keretében. Az erdők szénmegkötésének piacosítására további lehetőséget kínál az önkéntes szénpiacokon történő kvótaértékesítési forma bemutatásra kerül a könyv releváns fejezeteiben. A LULUCF-rendelettel kapcsolatos további részletek a 13.1. fejezetben kerülnek bemutatásra.

5.4 SZÉN-DIOXID-ELTÁVOLÍTÁS TANÚSÍTÁSA

Az előző fejezetben ismertetett EU-karbonpiac és a LULUCF-szabályozás mellett már régóta létezik egy önkéntes karbonpiac, melyre a Párizsi Egyezmény is lehetőséget biztosít, és a korábban ismertetett rendszertől teljesen függetlenül működik. Mozgatórugója a vállalatok és pénzüzetek környezettudatos működésének demonstrálása a vásárlók, a szolgáltatásokat igénybe vevők irányába, illetve egyre inkább az EU klímavédelmi és fenntarthatósági törekvései. A klímavédelem nemcsak a politika, a szakpolitikák, hanem az üzleti élet zászljára is felkerült. Ez a piac azonban jelenleg globális és EU-szinten sem szabályozott. A kibocsátási és szénmegkötési egységek kereskedelmében számos önjelölt közvetítő, tanúsító szervezet vesz részt, a nyilvántartások nincsenek egységesítve, a rendszer nem ellenőrzött, alapvetően a bizalmon és a benne részt vevők üzleti érdekein alapszik.

A Bizottság felismerte, hogy az önkéntes karbonpiac is hozzájárulhat az EU klímacéljainak eléréséhez, ezért első lépésben javaslatot tett az önkéntes piac szabályozására. A 2024/3012/EU-rendelet „A tartós szén-dioxid-eltávolítás, a karbondagádzkodás és a termékekben való szén-dioxid-tárolás uniós tanúsítási keretrendszerének létrehozásáról” várhatóan új és szabályozott keretet biztosít majd az erdőgazdagádzkodók számára is az erdők szénmegkötésének piacosításához.

A rendelet önkéntes uniós keretrendszert hoz létre a szén-dioxid-eltávolításnak és a talajból származó kibocsátás csökkentésének a tanúsítására.

Sarkalatos eleme a rendeletnek a tanúsítási módszerek elemeinek és a működési keretek meghatározása. A tanúsítási rendszereket a Bizottság hagyja majd jóvá, ezzel biztosítja a rendszerek egységességét és minőségét. Az egységes nyilvántartási rendszer 2029-re tervezett bevezetésével megteremti az önkéntes kvótakereskedelem átláthatóságát, minimalizálja a visszaélések lehetőségét, egyben növeli az önkéntes karbonpiac iránti bizalmat.

A tagállami hatóságok feladata lesz a tanúsító szervezetek akkreditálása, elismerése, melynek kritériumait szintén tartalmazza a rendelet. Meghatározásra került a tanúsítványok és a nyilvántartások minimális információtartalma is.

Röviden felvázolva a rendszer működését – a szén-dioxid-kivonás (erdő esetében szénmegkötés) megvalósítója (gazdagádzkodó) megkeres egy, a Bizottság által bejegyzett tanúsítási rendszert, mely kijelöli a tanúsító szervezetet. A szervezethez a megvalósító benyújtja a tevékenységi és monitoring-tervét, majd megtörténik ennek auditja; kedvező megítélés esetén elkészül a tanúsítvány. Indulhat a tevékenység és a kreditek előzetes értékesítése. A kreditek tényleges értékesítése várhatóan öt év múlva, az első felülvizsgálat után válik esedékessé azzal, hogy mindez bekerül a központi nyilvántartásba. A folyamat során a tanúsító szervezet rendszeres auditot végez, ami szintén rögzítésre kerül az adatbázisban. Ezzel biztosított és nyilvános lesz a tevékenység, a teljes tanúsítási folyamat, és a keletkezett kreditek sorsának nyomon követhetősége.

Mivel a piac mozgatója a kereslet, érdemes ennek jövőjébe is bepillantani. Egyre több honlapon, hírben, reklámban találkozhatunk a nagyobb vállalatok, pénzüzetek karbonsemleges működésre vonatkozó információkkal, vagyis a piac már nagyon is működik. A cégek saját ÜHG-kibocsátásaik csökkentése mellett meghatározóan az önkéntes piacon vásárolt kreditekkel haladhatnak a karbonsemlegesség elérésének irányában. További ösztönzést jelent a 2025-től a nagyvállalatok számára már kötelező, majd a jövőben a kisebb vállalkozásokra is kiterjesztésre kerülő fenntarthatósági jelentések (fenntarthatósággal kapcsolatos vállalati beszámolás irányelv – CSRD alapján) elkészítése, és a Bizottság általi ellenőrzése. A jelentések egyik fontos eleme az ÜHG-kibocsátás csökkentésére tett

intézkedések és tervek bemutatása, a fenntarthatóság irányába történő, kötelező haladás igazolása, ami tovább erősíti az önkéntes karbonpiac, ezen belül a szénkivonásból keletkező kreditek iránti igényt.

Kétségtelen, hogy az EU szakpolitikáiban és a társadalomban is egyre nagyobb elismertséget élvez a természetes szénkörforgás, az erdők szénmegkötése. Erdészeti szempontból röviden azt remélhetjük, hogy a szakma egyik régi vágya, javaslata, az erdők nyújtotta ökoszisztéma-szolgáltatások piacosítása, az erdők szénmegkötésének ellentételezése a rendelet biztosította keretek közt megvalósulhat. Arra nem számíthatunk, hogy minden erdőgazdálkodó alanyi jogon kap majd egy szeletet a tortából, a jól megtervezett tevékenységek azonban már alapot adhatnak az önkéntes karbonpiacon történő megjelenésre, új típusú jövedelem generálására. Nehéz lenne előre megjósolni, milyen hatást gyakorol majd az új szabályozás az erdőgazdálkodásra, a kapcsolódó erdőiparra. A felcsillanó lehetőség átgondolt kihasználása mellett időben szükséges mérlegelni az értékrendek eltolódásában rejlő kockázatokat is. Az már jól látható, hogy az EU szakpolitikákban megjelenő, az erdőt, az erdőgazdálkodást érintő szabályozás, elvárások és lehetőségek összehangolása – mint arra az előző fejezetben is utaltunk – nemzeti szinten is kiemelten fontossá válik. Az erdészeti ágazat érdeke és feladata a megfelelő stratégia kidolgozása, annak folyamatos aktualizálása és a szükséges intézkedések megvalósítása. Emellett meg kell teremteni a hazai jogrendben az erdők szénmegkötésének piacosításához szükséges jogi hátteret is.

Az új szabályozás számos olyan tevékenységre kiterjed, melyek széneltávolítást (szénlekötés, széntárolás, szénkibocsátás elkerülése) eredményeznek. Az erdészeti (pl. erdőtelepítés, agrárerdészeti rendszerek, fatermékek) és mezőgazdasági (pl. kíméletes talajművelés, legelő gazdálkodás fejlesztése) ágazatokban rejlő lehetőségek mellett többek közt szerepet kap a bioszén-előállítás, a szén megkötésével kombinált bioenergia-termelés, a szén-dioxid földkéregbe préselése és tárolása, a tűzeges területek helyreállítása. A versenypálya tehát sokszereplős lesz, ezért az erdészeti ágazatnak célszerű mielőbb kialakítani saját stratégiáját, és pozícionálni magát az önkéntes karbonpiacon. További részletek a 13.2. fejezetben kerülnek bemutatásra.

5.5 KLÍMAADAPTÁCIÓS STRATÉGIA

A hangzatos klímasemlegességi célkitűzés mellett az EU nagy hangsúlyt helyez a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás megerősítésére, az EU-polgárok védelmére, a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak mérséklésére, az arra történő felkészülésre. A médiák szinte minden nap közölnek híreket a klímaváltozáshoz köthető katasztrófákról, ami az emberek tudatában általában a klímaváltozás folyamatának megállításával, lassításával kapcsolódik össze. Kevesebb szó esik a megelőzésről, az alkalmazkodást segítő intézkedésekről, melyekre azért is van nagy szükség, mivel még messze járunk a klímaváltozás folyamatának remélt lelassításától, a hatásokkal még akkor is hosszú távon kell számolnunk, ha az EU által kitűzött klímavédelmi célokhoz a Föld jelentős ÜHG-kibocsátói is csatlakoznak, és sikeresen csökkentik ÜHG-kibocsátásaikat. Nem újdonság, hogy az emberiség túlélésének, jólétének egyik záloga az alkalmazkodás, amit most a korábbi időszakokhoz képest sokkal gyorsabb és kiszámíthatatlanabb változásokkal járó környezetben kell megvalósítani.

Ennek szellemében adta ki a Bizottság 2021. február 21-én „Az éghajlatváltozás hatásaival szemben reziliens Unió létrehozása” című, az éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodásra vonatkozó új uniós stratégiát.

A stratégia bevezetőjéből csak két példával érzékeltetve a hatások nagyságrendjét, a klímaváltozáshoz köthető szélsőséges események okozta károk már 2020-ban is meghaladták az évi 12 milliárd eurót, ami 3 °C-os hőmérséklet-emelkedés esetén évi 170 milliárd euróra emelkedne, a tengerszint emelkedése az Unió lakosságának 40%-át veszélyeztetné. A Zöld megállapodás, az EU fenntartható jövőt célzó növekedési stratégiája azon a felismerésen alapul, hogy a zöld átállás lehetőség, a cselekvés elmulasztása pedig hatalmas költségekkel jár. A hosszú távú elképzelés az, hogy 2050-ben az EU az éghajlatváltozás hatásaival szemben reziliens társadalom lesz, amely teljes mértékben alkalmazkodott az éghajlatváltozás elkerülhetetlen hatásaihoz. Ez azt jelenti, hogy 2050-re, amikor az EU szeretné elérni a klímasemlegességet, a Párizsi Egyezménynek és a javasolt európai klímarendeletnek megfelelően az EU megerősíti alkalmazkodóképességét, és minimálisra csökkenti az éghajlati hatásokkal szembeni kiszolgáltatottságát. Mindezt a klímarendelet alapozza meg, egyben igyekszik biztosítani az alkalmazkodással kapcsolatos szakpolitikák koherenciáját. Tekintettel az alkalmazkodási politika rendszer jellegére, az alkalmazkodást célzó intézkedéseket integrált módon hajtják végre az Európai Zöld megállapodás olyan más kezdeményezéseivel együtt, mint a biológiai sokféleséggel kapcsolatos stratégia, a korszerűsítési program, a „Termelőtől a fogyasztóig” stratégia, a körforgásos gazdaságra vonatkozó és a szennyezőanyag-mentességi cselekvési terv, az erdészeti stratégia, a talajvédelmi stratégia, a fenntartható és intelligens mobilitási stratégia és a megújult fenntartható finanszírozási keretrendszer. Az EU az elmúlt években már tett lépéseket ellenállóképességének növelésére a 2013-as alkalmazkodási stratégia keretében. Valamennyi uniós tagállam rendelkezik nemzeti alkalmazkodási stratégiával vagy tervvel. Az alkalmazkodást beépítették az uniós szakpolitikákba és a hosszú távú költségvetésbe. A klímaadaptációs platform (Climate-ADAPT) az alkalmazkodással kapcsolatos ismeretek fontos tárházává és hivatkozási alapjává vált. Az új stratégia erre a tapasztalatra épít, fokozza az eddigi törekvéseket, és új területekre és prioritásokra is kiterjed.

A stratégia fontosabb elemei

A klímaváltozás hatásaival kapcsolatos ismeretek továbbra is hiányosak, ezek bővítése, elmélyítése, közreadása elsősorban a kutatás megerősítésével, a tudományos eredmények, a távérzékelés, a digitális technológia felhasználásával elengedhetetlen kiindulási alap. Ennek fontosabb eszközei a Horizont Európa (kutatás), a Digitális Európa (informatika) és a Kopernikusz (távérzékelés) programok, valamint az alkalmazkodási modellek, kockázatértékelés és menedzselésfejlesztése, a klímaadaptációs platform adatforrásainak és szolgáltatásainak további bővítése.

Kiszélesítik és egységesítik a kockázat-elemzésekhez szükséges adatgyűjtést, ami magában foglalja az állami és a magánszektor is. Biztosítják az adatok széles körű hozzáférhetőségét együttműködésben az EU Biztosítási- és Foglalkoztatóinyugdíj-hatósággal (EIOPA). A Bizottság továbbra is aktívan érvényesíti mind az állami, mind a magánszektorra alkalmazandó releváns szakpolitikai területen az éghajlatváltozással szembeni rezilienciával kapcsolatos szempontokat. Folytatódik a nemzeti, regionális, helyi és ágazati alkalmazkodási stratégiák összehangolása és további fejlesztése, rendszeres aktualizálása.

A Bizottság növeli a helyi alkalmazkodási politikák, beavatkozások tervezéséhez és végrehajtásához nyújtott támogatást, és alkalmazkodás-támogatási eszközt indít el az Európai Polgármesterek Szövetsége keretében, elősegíti a munkavállalók adaptációs ismereteinek bővítését (forrása az Európai Szociális Alap).

A Bizottság segítséget nyújt a tagállamoknak a klímaváltozással kapcsolatos hatások integrálásához a nemzeti költségvetések tervezése során. Javítják az EU Szolidaritási Alapja és más uniós alapok közti koordinációt a katasztrófákat követő vészhelyzeti és helyreállítási műveletek során.

A természetalapú megoldások előtérbe helyezése és támogatása fontos szereppel bír az ellenállóképesség növelésében, melyben az erdőknek, a fás vegetációnak minden kétséget kizáróan jelentős szerepe van és lesz a jövőben is. Idesorolható a szén-dioxid-eltávolítás kereteit szabályozó, azóta már megjelent rendelet előre vetítése is.

Az alkalmazkodási fellépés gyorsabb megvalósításához a kihívással arányos erőforrásokra van szükség. Az EU 2021. és 2027. közötti időszakra vonatkozó hosszú távú költségvetésében 30%-ra emelte az éghajlatváltozással kapcsolatos ráfordítási célkitűzést, melynek kulcsfontosságú eleme az alkalmazkodás. Az alkalmazkodással kapcsolatos kutatási pályázatok, a döntéstámogatási rendszerek és a genetikai erőforrások fejlesztése, az alkalmazkodást elősegítő, fenntartható tevékenységek támogatása is ezt a célt szolgálja majd.

Az éghajlatváltozással kapcsolatos kockázatok csökkentése érdekében útmutató és kockázatértékelési rendszer, foglalkozás-egészségügyi iránymutatások kidolgozása, a szabványok, különösen az építési szabályozás módosítása várható.

Nagy hangsúlyt helyez a stratégia a nemzetközi szintű fellépésre, a jó példák megosztására, átadására. Az EU partnerországai számára segítséget nyújt a stratégiában felvázolt elképzelések megvalósításához, különös tekintettel az afrikai kontinens országaira, amely reményeink szerint a migrációs nyomás enyhítéséhez is hozzájárulhat.

A stratégiában újabb lehetőségek körvonalazódnak az erdészeti ágazat számára, többek közt a természetalapú megoldások, a széneltávolítás, a lokális adaptációs stratégiák, a genetikai erőforrások fejlesztése, a vízviSSzatartás és vízgazdálkodás, a polgári védelem területén, melyek azonban csak a stratégia megvalósításába történő aktív bekapcsolódás és a hazai társágzatokkal történő szorosabb együttműködés mellett realizálhatók.

5.6 BIODIVERZITÁS STRATÉGIA

A Bizottság a Zöld megállapodásban tett egyik vállalásának megfelelően 2020. május 20-án adta ki „A természeti értékek megőrzését megerősítő, 2030-ig szóló biodiverzitás stratégiát”. Aligha vitatható az EU-szintű természetvédelem két zászlóshajójának, az élőhelyvédelmi irányelv (92/43/EGK) és a madárvédelmi irányelvek (2009/147/EC) jelentősége, értéke és szerepe, a Natura 2000 hálózat kialakításának eredményei. Ugyanakkor a Földön tapasztalható környezeti állapotromlás, a biodiverzitás csökkenése ezen jogszabályi keretek ellenére az Európai Unió országaiban sem állt meg, a környezeti állapot remélt javulása sok esetben elmaradt a várakozásoktól. Erre hívta fel a figyelmet az Európai Környezetvédelmi Ügynökségnek az Európa természeti állapotáról készült jelentése is, mely aggasztó képet festett a biodiverzitás (élőhelyek, fajok stb.) alakulásáról. (Érdeemes megjegyezni, hogy a tagállami adatszolgáltatáson alapuló jelentés nagyjából felerészben szakértői becslésekre alapoz, vagyis sok esetben nem állnak rendelkezésre konkrét mérési eredmények, illetve számos élőhely-állapot nem is ismert.)

A felvázolt előzmények után érthető, hogy a 2030-ig szóló biodiverzitás stratégia a természeti állapot romlásának megállítását, sok esetben a javuló tendencia elérését, a leromlott élőhelyek helyreállítását tűzi ki céljául. Bevezetőjében rámutat a biodiverzitás elszegényedésének katasztrofális

gazdasági következményeire is, hangsúlyozza a természeti állapot megóvásának, javításának gazdaságpolitikai hasznát. A biodiverzitás megőrzését az EU fejlődésének, a polgárok jólétének egyik fontos alappilléreként értékeli.

A kitűzött célt elsősorban a már hatályos, releváns EU-jogszabályok végrehajtásának megerősítésével, valamint az esetenként még hiányosnak ítélt intézkedések pótlásával, új intézkedésekkel kívánja megvalósítani. Kiemelt hangsúlyt helyez a végrehajtás nemzeti szintű tervezésére, monitorozására és rendszeres értékelésére, a végrehajtás sikeréhez szükséges rugalmas korrekciókra.

Mivel a védett területek hatályos jogi keretek alapján kialakított hálózatát nem tartják elégségesnek, el kell érni a szárazföldi és tengeri területek 30%-ának védetté nyilvánítását, ami a szárazföldi területek esetében további 4%, a tengereken további 19% védett terület kijelölését jelenti. Ezen belül az EU teljes szárazföldi és tengeri területének 10%-át szigorú védelem alá kívánják helyezni, ami a gyakorlatban a gazdasági tevékenység kizárását jelenti majd ezeken a területeken. Mivel a szigorúan védett területek aránya jelenleg alacsony (szárazföld 3%, tenger 1%) itt jelentős érdekütközések várhatók.

Erdészeti szempontból figyelmet érdemel, hogy az emberi bolygatással még nem vagy az utóbbi évtizedekben nem érintett, őshonos fafajú erdők (őserdők, „idős erdők”) a szigorúan védett kategóriába kerülnek, feltérképezésüket és védelem alá helyezésüket sürgető feladatnak tekintik.

A védelem alá helyezett területek növelése mellett az ökoszisztémák helyreállítása kap kiemelt szerepet. Nemzeti szintű tervet kell kidolgozni a már hatályos EU-jogszabályok megvalósítására, a természet állapotának konkrét intézkedésekkel történő javítására. A stratégia külön fejezetben részletezi az ezzel kapcsolatos szabályozást.

A biodiverzitás megőrzése lehetőséget biztosít az agrárium számára a biztonságos, tápláló, fenntartható és gazdaságos élelmiszer előállítására. A fenntartható mezőgazdasági termelés egyben biztosítja a biodiverzitás megőrzését, gazdagítását is. Ennek szellemében a biodiverzitás stratégia szorosan kapcsolódik a „termelőtől a fogyasztóig” (Farm to Fork) stratégiához és a Közös Agrárpolitikához (KAP). A KAP stratégiai tervek kidolgozása során nagyon szigorú klíma- és környezetvédelmi kritériumoknak kell megfelelni. Többek közt a mezőgazdasági terület 10%-án magas diverzitású tájképi elemeket (pl. facsoportok, sövények, tavacsok stb.) kell fenntartani. Felére kell csökkenteni 2030-ra a felhasznált növényvédő szerek, 20%-kal a műtrágya mennyiségét. Növelni kell a biogazdálkodás arányát, melynek 2030-ra el kell érnie az EU teljes mezőgazdasági területének 25%-át.

Alapvető érdekünk a talajok hatékonyabb védelme, termőképességük megőrzése, javítása, helyreállítása, a talajerózió mérséklése, a talajok szervesanyag-készletének gyarapítása. Megújításra kerül az EU talajstratégia (azóta már megjelent), és a Bizottság kidolgozza a nulla szennyezés akciótervet (levegő, víz, talaj).

Külön fejezet részben tárgyalja a stratégia az erdők mennyiségének, minőségének és ellenálló képességének növelését célzó intézkedéseket, hangsúlyozva az erdőknek a biodiverzitás megőrzésében játszott kiemelkedő szerepét. Beharangozzák az EU erdőstratégia elkészítését, mely sajnálatos módon nem párhuzamosan készült a biodiverzitás stratégiával, így annak elemeit, szemléletét már csak átvette. Reklámitív célkitűzés a 3 milliárd további fa elültetése a stratégia időszakában, ami a „szokásos” erdőtelepítésen és fásításokon túlmutató vállalást jelent, természetesen az ökológiai elvek teljes mértékű betartása mellett. A KAP stratégiai tervek erdészeti intézkedései a hazai erdőgazdálkodás számára is meghatározó jelentőségűek, melynek összeállítása során – mint hangsúlyozza a stratégia – a biodiverzitás védelme alapvető követelmény. Kisebb fenntartásokkal, de feltétlen érdeklődéssel fogadható a Bizottság által beharangozott és azóta már elkészült két dokumentum, a biodiverzitás-barát erdőtelepítés és erdőfelújítás, valamint a természetközeli erdőgazdálkodás témájú

iránymutatás. Az erdőkkel kapcsolatos információs igények kielégítését támogatja az Európai Erdészeti Információs Rendszer további fejlesztése. Csak érinti a stratégia a faanyagfelhasználás, tartós fatermékek, megújuló energia, szénmegkötés, biodiverzitás megőrzése közötti kapcsolatrendszer, amely már előrevetíti az egyes érdekek és elképzelések közti ellentmondásokat áthidaló, koherens szabályozás várható nehézségeit.

A tengeri ökoszisztémákra vonatkozó tervek várhatóan kisebb érdeklődésre tartanak számot hazánkban, ugyanakkor a 25 000 km szabad (szabályozatlan) vízfolyás helyreállítására vonatkozó célkitűzés magyar és erdészeti szempontból is elgondolkodtató. A szabad folyású vizek környezetében az árvizek miatt várhatóan kiemelt szerepe lehet majd az erdőknek.

Hangsúlyt kapott a lakott területek zöldítése. A 20 000 lakosnál nagyobb településeken ezt a jövőben zöldítési tervek alapján javasolt majd megvalósítani, melynek tapasztalatait külön platformon oszthatják meg az érdeklődőkkel.

Nem új gondolat, hogy gátat kell szabni az invazív, idegenhonos fajok terjedésének, el kell kerülni újabb fajok bekerülését az EU-ba.

Nem marad ki a pénz világa sem az intézkedésekből. Szigorú kritériumrendszert dolgoznak ki a pénzügyi befektetések becsatornázására, a biodiverzitásra károsan ható befektetések kiszűrésére, a biodiverzitás javítását elősegítő beruházások támogatására, melyet az EU taxonómia rendszerébe integrálnak. Az EU költségvetéséből legalább évi 20 milliárd eurót javasolnak a stratégiához kapcsolódó programokra fordítani. Továbbá hangsúlyt helyeznek az EU kutatási keretprogramjában és az oktatási programokban a biodiverzitásra.

A stratégiában nemcsak az EU-szintjén, globális szinten is ambiciózus célokat javasolnak meghatározni annak érdekében, hogy a Föld ökoszisztémái 2050-re helyreállítottak, ellenálló és megfelelően védettek legyenek. Globális szinten is erősíteni kell a célok elérését biztosító tevékenységet, a monitoringot és annak visszacsatolását a megvalósítás folyamatába.

Végezetül a stratégia előrevetíti a globális erdőterület-csökkenéssel és degradációval kapcsolatos (azóta már megjelent) EU-rendelet megalkotását is, mely révén az EU jelentős mértékben kíván hozzájárulni az erdei ökoszisztémák megővéséhez.

5.7 ÚJ ERDŐSTRATÉGIA 2030-IG

Közismert, hogy az EU-nak nincs közös erdészeti politikája; az EU alapszerződések nem tartalmaznak az erdészeti ágazatra vonatkozó, közös szakpolitikai elkötelezettséget. Ennek megfelelően a korábbi évtizedekben az uniós jogrendszer csak kevés, közvetlenül az erdőgazdálkodásra vonatkozó szabályozási elemet tartalmazott. Idesorolható például az erdészeti szaporítóanyagok forgalmazására, az erdőtüzek és a légszennyezés erdőkre gyakorolt hatásának mérséklését célzó jogszabályok, illetve a vidékfejlesztés erdészeti intézkedései.

Nem meglepő, hogy az erdész szakma ebben a helyzetben is megpróbálta megkeresni azokat a közös területeket, ahol az EU-szinten harmonizált vagy egységes fellépés, a jó nemzeti gyakorlatok megismertetése, átvétele segítheti a szakma fejlődését, beillesztését a közös politikák alá tartozó folyamatokba. Kicsit ambivalens helyzet alakult ki, mivel a jelentős erdészeti potenciállal rendelkező tagállamok zöme (pl. Németország, Svédország, Finnország) határozottan elutasította/elutasítja az erdőgazdálkodás feletti kompetencia EU-szintre emelését, ugyanakkor az erdész szakma az erdők

nyújtotta szolgáltatások iránti társadalmi igény növekedésével párhuzamosan egyre nagyobb befolyást szeretett volna gyakorolni az EU releváns szakpolitikáira, egyben jobban hozzáférni az EU-forrásokhoz.

Az EU-szintű szakpolitikai elkötelezettség hiányában egy jogszabálynak nem minősülő stratégia kidolgozása látszott az első kivitelezhető lépésnek. A stratégia kidolgozását a tagállamok kezdeményezésére, azok bevonásával a Bizottság, széles körű szakpolitikai egyeztetés mellett elvégezte. Az EU első erdészeti stratégiája 1998. november 3-án került kiadásra a Bizottság közleményeként. A megvalósítás jól haladt, a feladatok megoszlottak a Bizottság és a tagállamok közt. A végrehajtás során viszonylag gyorsan világossá vált, hogy a változó környezetben indokolt a stratégia újragondolása, frissítése, amit egy 2005-ben kiadott időközi értékelés már javaslatként fogalmazott meg.

Gondos, és a tagállamok teljes körű bevonásával folyó előkészítés után 2013. szeptember 20-ra elkészült az új erdészeti stratégia, mely már címében is jelezte a prioritások változását – Az EU új erdőstratégiája: az erdők és az erdőalapú ipar. A stratégia nyolc prioritási területet határozott meg: vidékfejlesztés; zöld gazdaság és versenyképesség; klímaváltozás; erdők védelme, ökoszisztéma-szolgáltatások erősítése; erdészeti információk; kutatás, innováció; koordináció és társadalmi kapcsolatok javítása; nemzetközi folyamatok. A végrehajtás ütemtervét a Bizottság erdészeti tanácsadó fórumán, az Állandó Erdészeti Bizottságban évente vitatták meg és fogadták el a tagállamok képviselői.

Összhangban a Zöld megállapodásban lefektetett irányvonalakkal, a Bizottság időszerűnek tartotta a 2013-ban elfogadott erdőstratégia megújítását is. Logikusnak tűnt, hogy a biodiverzitással és az erdőkkel foglalkozó stratégiák egyszerre, szorosan összehangolva kerüljenek kidolgozásra, mely folyamatban a korábbi gyakorlatnak megfelelően a tagállamok is közreműködnek. A Bizottság azonban más munkamódszert választott: a stratégiákat maga készítette el. A tagállamok határozott kérése ellenére a biodiverzitás stratégia kiadása több mint egy évvel megelőzte az erdőstratégiát, így a korábban megjelent stratégiából számos elemet már csak átemeltek az erdőstratégiába, valamint az nem került érdemi megvitatásra a tagállami erdészeti szakértőkkel sem.

Az EU 2030-ig tartó időszakra vonatkozó új erdőstratégiája 2021. július 16-án került kiadásra. A Bizottság eredeti elképzeléseit a kiadás előtti hetekben a tagállamok erdészeti képviselőinek határozott nyomására némileg módosította, finomította, de ez már érdemben nem befolyásolta a stratégia üzenetét. Nehéz az egyes kiemelt célterületek közti arányok megállapítása, de a tervezett intézkedések nagyjából 60%-a a biodiverzitáshoz, 30%-a a klímaváltozáshoz és 10%-a az erdők gazdasági-szociális funkcióihoz köthető. Nem meglepő, hogy az erdészeti és faipari ágazatok nem fogadták osztatlan lelkesedéssel az új stratégiát. Szembe kell nézni azzal a realitással, hogy az EU kompetenciájába tartozó szakpolitikai területek (biodiverzitás, klímaváltozás, energiaellátás stb.) elsőbbséget élveznek; közös erdészeti politika hiányában az erdők gazdasági funkcióinak EU-szintű fejlesztése, hasznosítása csak nagyon korlátozott keretek közt érvényesíthető. Szépségflastromként a stratégia végleges változatában a gazdasági és szociális elemek a stratégia elejére kerültek, de a sorrendiség természetesen nem jelent prioritást.

A stratégia az erdők gazdasági és szociális funkcióinak erősítése keretében:

- A hosszú távú széntárolást biztosító fatermékek mennyiségének növelése, az erdőipar fejlesztése, hangsúlyt helyezve az építőipari felhasználásra. (Építőipari szabványok felülvizsgálata, fafelhasználás promóciója, „Bauhaus program”)
- Vidékfejlesztés (Közös agrárpolitika – KAP) erdészeti intézkedéseinek fenntartása, bővítése.

- A faanyag energetikai célú felhasználásának, kiemelten a fenntarthatósági kritériumok további szigorítása (megújuló energia irányelv – REDII-IV), az energia-előállítás hatékonyságának javítása, a kaszkád-felhasználás érvényesítése.
- Az ökoturizmus fejlesztése elsősorban partnerségi kapcsolatok kialakításával.
- Javasolja az erdei melléktermékek és szolgáltatások forgalmazásának növelése érdekében a Natura 2000 logó bevezetését.
- Elengedhetetlen a szakképzés fejlesztése és megerősítése, melyhez az EU Szociális Alapja is hozzájárulhat.

A biodiverzitás megőrzése és a klímavédelmi szerep erősítése érdekében:

- A biodiverzitás stratégia elemeinek teljes körű átemelése, az EU területének 30%-a védett, 10%-a szigorúan védett besorolású legyen, őserdőkben, „idős erdőkben” a fakitermelés tilalma, minden erdőben növelni kell a biodiverzitást, ezt szolgáló erdőgazdálkodási módszerek terjesztése, jó gyakorlatok közreadása, átvétele – mindez a klímaadaptáció alapja, útmutató összeállítása a biodiverzitás-barát erdőtelepítés és erdőfelújítás valamint a természetközeli erdőgazdálkodás témában;
- Az erdők bevonása a klímasemlegességi cél elérését biztosító EU keretrendszerbe, szénmegkötési célértékek meghatározása EU és tagállami szinten;
- A szénmegkötés piacosításának első lépéseként az ezt tanúsító és nyilvántartó rendszer rendeleti szintű kidolgozása;
- Az erdők ellenálló képességének és klímaváltozással szembeni alkalmazkodóképességének javítása, a nemzeti jó példák megosztása;
- Az erdei élőhelyek „helyreállítása”, ennek érdekében új rendelet megalkotása;
- A természetközeli gazdálkodást igazoló, önkéntes tanúsítási rendszer bevezetése;
- Erdőkárok megelőzése és a károk utáni helyreállítás gyorsítása, az erdővédelem megerősítése;
- Erdészeti szaporítóanyagok forgalmazására vonatkozó EU-szabályozás megújítása;
- Az erdőterület növelése, 3 milliárd fa ültetése ökológiai elvek alapján, a települések zöldfelületének növelése;
- Ökoszisztéma-szolgáltatások piacosítása/támogatása, pl. szénmegkötés;
- A fenntartható erdőgazdálkodás Európai Erdők folyamat (erdőgazdálkodásért felelős miniszterek konferenciája) keretében kidolgozott indikátor-rendszerének bővítése, fejlesztése;
- Az állami támogatások keretrendszerének felülvizsgálata a stratégiában foglaltak érvényesítésének szellemében.

Az erdészeti monitoring, adatgyűjtés, jelentéstételi és értékelési rendszer fejlesztése érdekében:

- Az erdészeti monitoring- és stratégiai tervezési rendszer átfogó, rendeleti szintű szabályozása, az EU-szintű erdészeti monitoring létrehozása a távérzékelés és a hagyományos, földi adatgyűjtés összekapcsolásával;
 - Rendszeres jelentések összeállítása az EU erdeinek állapotáról.
- Itt sem maradhat el a kutatás és az innováció megerősítése az EU kutatási keretprogramjának részeként – erdészeti kutatási és innovációs partnerség formájában, továbbá a katasztrófa-megelőzés és kockázatcsökkentési program keretében az állampolgárok védelmének erősítése.

Fontos, az erdészeti ágazat számára nem kedvező elképzelés az irányítási rendszer reformja (Állandó Erdészeti Bizottság, Erdészet és Parafa Munkacsoport, Erdőipar Munkacsoport, Erdő és Természet Munkacsoport). A reform keretében a Bizottság mellett működő erdészeti tanácsadó szervezet, az Állandó Erdészeti Bizottság (Standing Forestry Committee) mandátuma, feladatköre és működési keretei is módosításra kerülnek, nagyobb teret engedve az erdőgazdálkodáson kívüli szakterületeknek, szűkítve a tagállami jogköröket, szakértői munkacsoport szintre „degradálva” a korábban magasabb szintű, irányító bizottsági jogkörrel is rendelkező testületet.

Összefoglalva: a Bizottság által összeállított stratégia meghatározóan az EU klíma- és biodiverzitás védelmi szakpolitikáinak az erdők szempontjából releváns elemeit összegzi kiegészítve egyes „klasszikus” erdészeti intézkedésekkel. A korábbi stratégiákhoz viszonyítva a tagállamok elsősorban végrehajtási feladatot kapnak, kisebb a ráhatásuk az előre vetített feladatokra, azok ütemezésére, beszűkül a tagállami kezdeményezések mozgásteré.

Közös EU-szintű erdészeti politika hiányában az erdőstratégia marad a jövőben is az erdészeti ágazat érdekérvényesítésének egyik alapidokumentuma, a fejlesztési irányok meghatározója, ezért annak ismerete, a végrehajtásban történő közreműködés, a következő időszak stratégiájának kialakításába történő bekapcsolódás az erdőgazdálkodásban, az erdőiparban dolgozók közös érdeke.

5.8 GLOBÁLIS ERDŐTERÜLET-CSÖKKENÉS RENDELET

A Bizottság „A világ erdeinek védelmére és helyreállítására irányuló uniós fellépés fokozásáról” (COM (2019/325) című közleményében a globális erdőterület-csökkenés aggasztó mértékére hívta fel az Unió polgárainak figyelmét. Az elmúlt 30 évben 420 millió hektárral csökkent az erdők területe, amit csak részben ellensúlyoz az új erdők telepítése és az erdők természetes terjeszkedése, a nettó veszteség 178 millió hektár (FAO FRA 2020). A csökkenés üteme ugyan mérséklődik, de továbbra is megközelíti az évi 5 millió hektárt. A felmérések alapján az erdőterület-csökkenés 80%-a a mezőgazdasági földhasználathoz kapcsolódik. Arra a kellemetlen tényre is rámutatott, hogy az EU fogyasztása is jelentős mértékben járul hozzá az erdők területének csökkenéséhez, az érintett, elsősorban mezőgazdasági termékek 1/3-ának az EU a piaca. Ideje volt az erdőpusztulás miatti aggodalmak sajtóhíreit konkrét intézkedésekkel felváltani.

A fentiek szellemében született meg a 2023/1115/EU-rendelet – az erdőirtáshoz és az erdőpusztuláshoz kapcsolódó egyes áruk és termékek uniós piacon történő forgalmazásáról és Unióból történő kiviteléről szóló rendelet (EUDR). A rendelet szabályokat állapít meg egyes termékek uniós piacon történő forgalomba hozatalára és forgalmazására, valamint az Unióból történő kivitelére vonatkozóan. Az érintett termékek szarvasmarhából származnak, kakaót, kávé, olajpalmát, gumit, szóját, illetve fát tartalmaznak, vagy ezek felhasználásával készültek. Célja, hogy minimálisra csökkentse az Unió hozzájárulását a világszerte tapasztalható erdőirtáshoz és erdőpusztuláshoz, ezáltal hozzájárulva a globális erdőirtás csökkentéséhez, továbbá csökkentse az Unió üvegházhatásúgáz-kibocsátáshoz és a biológiai sokféleség globális csökkenéséhez való hozzájárulását.

Az EUDR a 995/2010/EU – A fát és fatermékeket piaci forgalomba bocsátó piaci szereplők kötelezettségeinek meghatározásáról – EUTR (EU-faanyagrendelet) rövidítéssel elhíresült rendeletére alapoz, mely kizárólag a jogszerűen kitermelt faanyag EU-piacokra történő jutását volt hivatott biztosítani. Követve az EUTR-rendelet logikáját, azon túlmutató feltételrendszert határoz meg a rendeletben felsorolt termékek piacra jutásához, ezzel kívánja elérni a globális erdőterület-

csökkenés ütemének mérséklését. Az EUDR egyben át is vette az EUTR szerepét, lefedi annak szabályozási körét is.

Az EUDR-ben meghatározott áruk és hozzájárulásuk az erdőterület-csökkenéshez: olajpálma (35,0%), szója (33,5%), fa (8,6%), kakaó (7,5%), kávé (7%), szarvasmarha (5%), gumi (3,4%).

Az EUDR-rendelet három alappillére, hogy a releváns áruk és a releváns termékek csak akkor hozhatók forgalomba vagy forgalmazhatók az EU-ban, illetve csak akkor vihetők ki az EU-ból, ha az alábbi feltételek mindegyike teljesül:

- a) erdőirtás-mentesek;
- b) előállításuk az előállító ország vonatkozó jogszabályaival összhangban történt; és
- c) kellő gondosságra vonatkozó nyilatkozattal vannak ellátva.

A piaci szereplők feladata a kellő gondosság elve szerinti rendszer – termék leírása, mennyisége, származási adatok (földrajzi helymeghatározás), kockázatelemzés, kockázatcsökkentés, az erdőirtás-mentesség és a jogszerűség (pl. szakmai jogszabályok, munkajog, környezetvédelem, emberi jogok) igazolása, a terméklánc megelőző és következő tagjának, pontos azonosító adatai – dokumentációjának összeállítása, nyilvántartása, megőrzése és az egyes szállítmányok adatainak feltöltése egy központi adatbázisba.

Részletesen meghatározásra kerültek a kockázatelemzés és kockázatcsökkentés szempontjai. A kockázatok felmérésének elősegítése érdekében a Bizottság három kockázati kategóriába (magas, alacsony, átlagos) sorolja az országokat, amit a kockázatelemzés során figyelembe kell venni.

A rendelet előírja a tagállamok számára az illetékes hatóságok kijelölését, működtetését, a kockázatalapú ellenőrzések gyakoriságát, az esetlegesen szükségessé váló, azonnali intézkedések feltételrendszerét, a jelentéstételek tartalmi elemeit, továbbá a tagállamok információt, egyéb segítséget is nyújthatnak a piaci szereplőknek a jogszabálynak történő megfeleléshez.

A rendelet végrehajtása érdekében a Bizottság új információs rendszert hoz létre. Részben az információs rendszer beüzemelésének késedelme, az országok kockázati besorolásának elhúzódása, továbbá a tagállamok és a piaci szereplők felkészülésének üteme miatt, a tagállamok kérésére a jogszabály alkalmazását, az új rendszer bevezetését egy évvel elhalasztották, és az eredetileg tervezett 2024. december 30. helyett 2025. december 30-ra módosították. A Bizottság 2025. szeptemberben úgy döntött, hogy az informatikai háttér működési zavarai miatt további egy évvel, 2026. december 30-ig kénytelen elhalasztani a rendelet alkalmazását.

5.9 BIOMASSZA FENNTARTHATÓSÁG

Az EU klíma- és energiapolitikája az elmúlt évtizedben és az elkövetkező időszakban egyre markánsabb célszámokkal helyezi előtérbe a megújuló energiaforrásokat, köztük a biomassza felhasználását, csökkentve ezzel a fosszilis energiahordozók arányát az energia-előállításban. Jelentős eredmény a megújuló energia arányának megduplázása az Unióban a 2010. és 2023. közti időszakban (12,5%-ról 24,5%-ra). Ugyanakkor a tapasztalatok azt mutatták, hogy a biomassza növekvő felhasználása, kiemelten az EU-n kívüli importból származó biomassza esetében az EU-ba fát exportáló országokban háttérbe szorulhat a fenntartható gazdálkodás, sérülnek a természeti értékek. Ennek megelőzése érdekében a 2018/2001/EU-irányelv – a megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előmozdításáról (rövid nevén: REDII irányelv) 29. cikkében a korábbinál szigorúbb fenntarthatósági kritériumokat határoztak és határoznak meg az erdei biomassza energetikai célú felhasználása ese-

tében. Az elmúlt 7 évben szinte folyamatos volt az alap jogszabály módosítása (RED II-III-IV), illetve a végrehajtási rendeletek összeállítása és kiadása. Az irányelv legutóbbi felülvizsgálata során megszületett, az irányelvet módosító jogszabály 2023/2413/EU 2023. november 20-án lépett hatályba, másfél évet biztosítva tagállamoknak az új jogszabály nemzeti jogrendbe történő átültetésére.

A többször módosított RED II irányelv rendkívül összetett és szerteágazó szabályozást tartalmaz a megújuló energiaforrásokra, a megújuló energiára vonatkozóan. Erdészeti szempontból a jogszabály már említett 29. cikke a meghatározó, de az irányelv többek közt rögzíti a 2030-ra elérendő megújuló-energia-célértéket is, mely legalább 42,5%, de kívánatos a 45% elérése.

Noha az irányelvben kidolgozott szabályozás elsősorban az import faanyaggal kapcsolatos kétértelműségek miatt kapott nagyobb hangsúlyt, a Kereskedelmi Világszervezet (WTO) szabályai alapján természetesen az EU termelőire, beszállítóira is vonatkozik.

A többször hivatkozott 29. cikk – A bioüzemanyagokra, a folyékony bioenergiahordozókra és a biomasszából előállított üzemanyagokra vonatkozó fenntarthatósági és üvegházhatásúgáz-kibocsátás-megtakarítási kritériumok – lényege a fenntarthatósági kritériumok meghatározása, melyek teljesülése esetén számítható csak be az így előállított energia a tagállam megújuló energia mérlegébe, illetve csak ebben az esetben lehet jogosult az energia előállítója a megújuló energiához köthető pénzügyi támogatásra. A fenntarthatósági kritériumoknak történő megfelelés a 7,5 MW-nál nagyobb (gáznemű biomassza esetén 2 MW-nál nagyobb) teljesítményű erőművekre ró kötelezettségeket. A kisebb erőművek ettől mentesülnek.

Az irányelvben megállapított fenntarthatósági és üvegházhatásúgáz-kibocsátás-megtakarítási kritériumok a biomassza földrajzi eredetétől függetlenül alkalmazandók.

1. Kitermelési kritériumok:

- A kitermelési műveletek végrehajtása jogszerűen történjen;
- a kitermelt területeken sor kerüljön az erdő felújítására;
- a természetvédelmi célokból nemzetközi vagy nemzeti jogszabály vagy az érintett illetékes hatóság által kijelölt területek, így többek között a vizes élőhelyek és a tőzeglápok védelmet élvezzenek, a kitermelés a védelmi célokkal összeegyeztethető legyen. Be kell tartani a tarvágás maximálisan engedélyezett területére és a holtfa kitermelésére vonatkozó szabályokat;
- a kitermelést a talajminőség és a biológiai sokféleség megőrzését szem előtt tartva végezzék, a negatív hatások minimalizálása érdekében;
- a kitermelés tartsa fenn vagy javítsa az erdő hosszú távú termelőkapacitását.

A fentiekben túl még külön figyelmet kap a biológiai sokféleség megőrzése, így az érintetlen vagy az emberi beavatkozás kevés jelét mutató (old growth) erdőkből, a nagy biológiai változatosságú vagy a veszélyeztetett/ritka fajoknak otthont adó erdőkből származó faanyagot is kizárja az irányelv.

2. Klímavédelmi kritériumok:

- Az ország részes fele a Párizsi Egyezménynek;
- olyan nemzeti vállalatot nyújtott be az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményének (UNFCCC) a mezőgazdaságból, erdőgazdálkodásból és földhasználatból eredő kibocsátások és elnyelések kapcsán, amely biztosítja azt, hogy a szénkészleteknek a biomassza kitermelésével összefüggő

változásait beszámítsák az ország üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentésére, illetve korlátozására vonatkozó kötelezettségvállalásába; vagy

- a Párizsi Egyezmény 5. cikkével összhangban olyan nemzeti vagy annál alacsonyabb szintű jogszabályokat alkalmaz a kitermelési területre, amelyek biztosítják a szénkészletek és a szénelnyelők megőrzését és gyarapítását, és bizonyítékkal szolgálnak arra nézve, hogy a földhasználati, földhasználat-megváltoztatási és erdőgazdálkodási ágazat bejelentett kibocsátása nem haladja meg az elnyelés mértékét.

Nagyon fontos szempont a kritériumok kapcsán, hogy a megfelelés nemzeti szinten vagy piaci szereplő szintjén teljesíthető. Utóbbi esetben minden egyes piaci szereplőnek egyénileg kell igazolnia a megfelelést. Magyarország esetében a fennálló jogszabályi és hatósági háttérnek köszönhetően a nemzeti szintű megfelelés útját járjuk. Az irányelv és annak végrehajtási rendeletei folyamatosan átültetésre kerülnek a nemzeti jogrendbe. A követelményeknek megfelelően a nemzeti energia- és klímatervben adunk rendszeresen számot az energetikai célú biomassza-felhasználásáról, az irányelvben foglaltaknak történő megfelelésről.

5.10 ERDÉSZETI SZAPORÍTÓANYAG FORGALMAZÁSÁNAK SZABÁLYOZÁSA

Az erdészeti szaporítóanyagok (FRM) előállításáról és forgalmazásáról szóló 1999/105/EK irányelv „időtálló” szabályozás volt, korszerűsítése azonban esedékessé vált. A Bizottság 2023. július 5-én kiadott jogszabály javaslatában – Az erdészeti szaporítóanyagok előállítására és forgalmazására vonatkozó rendelet – továbbra is önálló jogszabályban javasolja megújítani a korábbi irányelvet.

A hosszú termelési/életciklusú fák esetében különösen nagy jelentősége van a jó minőségű, a prognosztizált környezeti változásoknak is ellenálló, azokhoz jól alkalmazkodó szaporítóanyag biztosításának, ezért a rendelet nemcsak az erdőben, hanem annál szélesebb körben, a fásításoknál, faültetéseknel vagy az energetikai célú ültetvényeknél felhasználandó szaporítóanyagra is vonatkozik.

A rendelettervezet meghatározza a szaporítóanyag-forrásokkal kapcsolatos minőségi elvárásokat, a származási hely azonosításának módját és a nyomonkövethetőség biztosítását, a szaporítóanyag kategóriákat, azok azonosításának és minősítésének módját, tanúsítását, címkézését és csomagolását. Kitér az importtal kapcsolatos követelményekre, meghatározza a termelők és a forgalmazók kötelezettségeit, a szükséges nyilvántartásokat és a szükséghelyzeti tervek elkészítésének szabályait.

A Bizottság által bemutatott rendelettervezet támogatja az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást a gazdálkodásban. A tervezet fenntartja a törzsültetvények/magforrások nyilvántartásba vételének és az erdészeti szaporítóanyag forgalomba hozatala előtti tanúsításának elvét. Továbbfejleszti az EU-szintű erdészeti szaporítóanyag nyilvántartási és nyomonkövetési rendszerét (FOREMATIS). Összhangot teremt a növényegészségügyi és az ellenőrzési jogszabályokkal, szorgalmazza a tudományos eredmények gyors átültetését a gyakorlatba, az innovációt. A törzsültetvények előzetes kiértékelési rendszere, amely során az adott faállomány fenntarthatósági jellemzőit is figyelembe veszik, elősegíti, hogy a megtermelt szaporítóanyag mind a jelenlegi, mind a jövőben várható klimatikus feltételekhez is képes legyen alkalmazkodni. A tervezetben szereplő, a genetikai erőforrások megőrzését elősegítő szabályozás segíti egyrészt a genetikai sokszínűség megőrzését, másrészt pedig a jövő erdeinek ellenállóbbá tételét. A tervezett nemzeti vészhelyzeti tervek segíteni tudják a szélsőséges időjárási események és

természeti katasztrófák esetén fellépő esetleges szaporítóanyag-hiány kezelését. A tervezet nagy hangsúlyt fektet a fenntarthatóságra, az innovatív termelési lehetőségekre, a biomolekuláris eljárások alkalmazására, és a digitalizáció bevezetésére. A javaslat ugyanakkor támogatja az ökológiai termelést és az ökológiai fajtákra vonatkozó szabályozást is. A tervezet tárgyalása a könyv szerkesztésének idejében még folyamatban van.

5.11 A TERMÉSZET HELYREÁLLÍTÁSÁRÓL SZÓLÓ RENDELET

A 2020-ban kiadott biodiverzitás stratégia egyik fontos eleme a nagyjából harminc év alatt kidolgozott természetvédelmi jogszabályrendszer végrehajtásának megerősítése, a biodiverzitást érintő jelentésekben jelzett csökkenés/romlás megállítása, a folyamat visszafordítása, az élőhelyek stabilitásának, minőségének javítása, gazdagítása, a klíma védelme és adaptáció a klímaváltozáshoz. Ennek szellemében született meg a 2024/1991/EU-rendelet – A természet helyreállításáról – mely az Unió szárazföldi, édesvízi és tengeri területeire egyaránt kiterjed. (Az érintett élőhely típusokat a rendelet I–II. mellékletei tartalmazzák.)

A rendelet alapján a tagállamoknak a rossz állapotban lévő élőhelyeken az alábbi szempontok és célszámok mentén helyreállítási intézkedéseket kell meghatározniuk, melyek végrehajtása biztosítja az élőhelyek jó állapotának elérését:

- A leromlott állapotú közösségi jelentőségű élőhelyek helyreállítása az érintett területek 30%-án (2030-ig), 60%-án (2040-ig), illetve 90%-án (2050-ig);
- A kedvező referencia-kiterjedés elérése érdekében az időközben megszűnt közösségi jelentőségű élőhelyek létrehozása a kedvező referencia-kiterjedés eléréséhez szükséges területek 30%-án (2030-ig), 60%-án (2040-ig), illetve 100%-án (2050-ig);

A tervezett intézkedéseket és területeket a nemzeti helyreállítási tervben kell meghatározni. A tagállamok a 2030-ig terjedő időszak intézkedéseinek tervezésénél előnyben részesíthetik a Natura 2000 területeket. A közösségi jelentőségű fajok megőrzéséhez fentiek mellett szükséges az élőhelyeik helyreállítása vagy létrehozása, illetve az ökológiai kapcsolatok megfelelő mértékű kialakítása is.

A városi zöldterületek kiterjedése a 2024-es szinthez viszonyítva nem csökkenhet 2030-ig, azt követően elvárt ennek növekedése. Emellett növekvő tendenciát várnak a városi lombkorona borítottság változásában is a kedvezőnek ítélt érték eléréséig.

A folyó- és árterek természetes funkcióinak helyreállítása érdekében a felszíni vizek hosszirányú és oldalirányú átjárhatóságát akadályozó elemek felmérése, leltárba vétele és ahol lehetséges, felszámolása, 25 000 km szabad folyású folyószakasz létrehozása.

A beporzó szervezetek populációi által mutatott negatív trendek megszüntetése 2030-ig és megfordítása ezt követően.

A mezőgazdasági és erdei ökoszisztémák biológiai sokféleségének megőrzéséhez a fentiekén túl szükséges helyreállítási intézkedések megvalósítása, amelyek következtében többek között a mezőgazdasági területek közönséges madárindexe 2025-höz viszonyítva 2030-ra 110, 2040-re 120, 2050-re pedig 130%-ot ér el Magyarországon. Továbbá a lecsapolt tőzeglápából álló, mezőgazdasági felhasználású területek 30%-át 2030-ig, 40%-át 2040-ig, 50%-át 2050-ig helyre kell állítani, harmadát árasztással.

A tagállamok az erdei ökoszisztémák biológiai sokféleségének növeléséhez szükséges helyreállítási intézkedéseket valósítanak meg, melyek eredményeként javuló tendenciát érnek el az erdei madár-indexben, továbbá az alábbi hét indikátorból legalább hat tekintetében: álló holtfa; fekvő holtfa;

vegyes korú erdők aránya; az erdők összekapcsoltsága; szervesszén-készlet; őshonos fajok által uralt erdők aránya; elegesség.

Ismét felbukkan az ökológiai elvek betartása mellett ültetendő hárommilliárd fa, mely hozzájárul a helyreállítási rendelet célkitűzéseinek megvalósításához.

A rendelet meghatározza a tervezett intézkedéseket összefoglaló nemzeti helyreállítási tervek – melyek elkészítésének határideje 2026. szeptember 1. – tartalmi elemeit, a megvalósítás nyomon követésének és a jelentéstételek kereteit.

Nem meglepő, hogy a biodiverzitás komplexitásából is fakadóan a rendelet viszonylag tömör szövege rengeteg kérdést vet fel, bizonytalanságot tartalmaz, melyekre elsősorban a nemzeti helyreállítási tervek összeállítása során kell megfelelő válaszokat találni. Alapvető és hosszabb időszakra szóló probléma az élőhelyek állapotának nem kellő pontosságú ismerete, vagy az információk teljes hiánya, melynek pótlása több évtizedes elmaradás felszámolását feltételezi viszonylag rövid idő alatt.

5.12 ERDÉSZETI MONITORING ÉS STRATÉGIAI TERVEK

Az Európai Bizottság 2023. november 22-én „Megfigyelési keretrendszer a reziliens európai erdőkért” címen tette közzé egy európai szinten egységes erdőmonitoring-rendszer létrehozását célzó rendelet tervezetét, mely a könyv szerkesztésének idejében még tárgyalás alatt van.

Kissé idegenül hat a címben az erdészeti gyakorlatban megszokott „erdészeti monitoring” helyett az „erdőmonitoring” kifejezés. A Bizottság szakmai dokumentumaiban, így az EU új erdőstratégiájában is szándékosan az „erdő” és nem az „erdészet” szerepel, ezzel is jelezve, hogy az erdővel kapcsolatos EU szakpolitikáknak az erdőgazdálkodás csak egy, és az EU szempontjából nem zászlóvivő eleme. Nem újdonság, hogy az „erdőben” sokféle érdeket, igényt kell összehangolni. Uniós szinten ezek közül kiemelkedő hangsúlyt kapott a klíma védelme (az erdők széntároló és szénmegkötő képessége) és a biodiverzitás védelme, a megújuló energia, az új fenntarthatósági elvárások, a körforgásos, erőforrás hatékony gazdaság. Az erdész szakma meggyőződése, hogy a fenntartható és többcélú erdőgazdálkodás égisze alatt mindezen elvárásoknak meg is tud felelni, és az erdész a legjobb gazdája az erdőknek. Mint azt az elmúlt évtizedekben tapasztaltuk, ennek igazolása, a társadalom erről történő meggyőzése nemzeti szinten is egyre több erőfeszítést igényel, EU-szinten pedig az erővonalak és a politikai súlypontok még nagyobb kihívás elé állítják az erdész szakmát. Ugyanakkor nem szabad elfeledni, hogy a tartamos, mai terminológiával fenntartható gazdálkodás gondolata több mint 300 éve éppen az erdész szakmában került először megfogalmazásra és vált zsinórmértékké.

A Bizottság által előterjesztett, majd a tagállamok által is elfogadott, erdőt érintő EU-jogszabályok végrehajtásának ellenőrzése a Bizottság felelőssége és feladata, ami aligha képzelhető el megfelelő és rendszeres adatgyűjtés, kiértékelés, elemzés, valamint a szükséges korrekciós intézkedések nélkül. Az EU erdőmonitoring rendelete (továbbiakban monitoring rendelet) ezt a hiányt hivatott pótolni.

Mivel a távérzékelés fejlődése egyre jobb, és európai léptékű lehetőséget ad a nagy területeken bekövetkező változások érzékelésére, a Bizottság rendelet javaslatában az új rendszert meghatározóan a távérzékelési adatokra alapozza (a távérzékelési adatok feldolgozásához és értékeléséhez már évtizedek óta fejleszti kapacitásait), melyet a tagállamok saját, földi mintavételi és hagyományos statisztikai adataival kíván kiegészíteni, pontosítani (kalibrálni).

A létrehozni tervezett adatbázis a Bizottság és a tagállamok számára is kölcsönösen szolgáltatja majd a rendeletben meghatározott adatokat. Fontos elemei a javaslatnak a közös definíciók, egységesen értelmezett indikátorok, az adatgyűjtés módszerével, rendszerével kapcsolatos keretek meghatározása, valamint a térinformatikai és a terepen gyűjtött adatok integrált elemzésének lehetősége. A javaslat túlmutat az erdészeti gyakorlatban már „etalonnak” tekintett FAO erdőleltáron, mivel ott sok esetben a FAO definícióra „igazítjuk”, átszámítjuk a gyakran attól eltérő, nemzeti definíció alapján gyűjtött adatot, míg az EU-szabályozás elvárja az azonos definíció és módszer szerinti adatgyűjtést. Amíg azonban a nemzeti erdőleltárak alapján a FAO erdőleltár ország szintű, aggregált statisztikai adatokat gyűjt, addig az új rendszer egy, a jogszabályban meghatározott és bizonyos szempontokból egységesnek látszó, térképen is egyértelműen azonosítható „erdőegység”-re vonatkoztatná majd az információkat. Nem meglepő módon a technikai részleteket a végrehajtási rendeletekben kívánja a Bizottság meghatározni, ezzel számos fontos részletkérdést próbál „elnapolni” a rendelet mielőbbi elfogadtatása érdekében.

Elegánsan átvágva a finanszírozás gordiuszi csomóját, javaslatában a Bizottság nem kíván EU-forrásokat biztosítani a tagállami feladatok megvalósítására, minden tagállam, és a Bizottság is maga finanszírozza saját, a tervezetben körvonalazódó tevékenységét. Már most látható, hogy számos tagállamnak – mivel nem a rendelettervezetben felvázoltak megfelelő adatgyűjtési rendszerrel rendelkeznek – jelentős többletköltséget okoz majd a végrehajtás, de a jól működő nemzeti rendszerek esetében is számottevő költségekkel kell számolni, melyet a végrehajtási rendeletek ismeretében lehet majd pontosabban kalkulálni.

Nem kétséges, a monitoring-rendszer kialakítása elsősorban az erdőt érintő, EU-szintű szakpolitikák megvalósításának ellenőrzését célozza, a Bizottság feladatait támogatja. Ugyanakkor a tagállamok számára is előnyös lehet egy európai szinten összehangolt, a nemzeti és EU-szintű erdőforrásokat szerencsés esetben optimálisan hasznosító monitoring- és kiértékelő rendszer kialakítása, mely többek közt a váratlan események, kalamitások, erdőkárok megelőzése, mérséklése és a helyreállítás terén is hatékony segítséget nyújthat. A hazai monitoringrendszer – az első vizsgálatok alapján – nagyrészt szolgáltatni tudja a tervezetben felvázolt információkat, ugyanakkor szükséges a hazai rendszer fejlesztése, humán erőforrásának, kiértékelő-elemző kapacitásának jelentős megerősítése, Európa élenjáró technológiáinak, módszereinek az adaptálása, finanszírozásának stabilizálása.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

5. fejezet: Európai politikai kontextus

Az Európai Unió erdőgazdálkodást érintő szakpolitikáinak bemutatása, a Zöld megállapodás által kijelölt fejlesztési irányok áttekintése látszólag mesze áll az erdőgazdálkodás gyakorlatától. Mégis elengedhetetlen az EU, az EU Bizottság és a 27 EU tagállam által közösen kialakított és dinamikusan fejlődő keretek megismerése. Aligha vitatható, hogy az EU fejlődése és szabályozása már jelenleg is számottevő hatást gyakorol a hazai erdészeti ágazatra, és amint az a fejezetből kiderült, ez a hatás a jövőben jelentősen erősödni fog.

Az EU fejlődésében is markáns irányváltás, a Zöld megállapodás és annak megvalósítása számos kérdést vet fel, távolról sem mentes az ellentmondásoktól. Vitathatatlan ellentmondások feszülnek az egyes ágazati szakpolitikák keretében, a jogszabályokban felvázolt elképzelések közt, melyek feloldása a gyakorlati szakemberek visszajelzései, javaslatai nélkül aligha valósítható meg.

Az erdőkkel, az erdőgazdálkodással kapcsolatos elvárásokat a korábbi időszakban is a szükségletek, gazdasági, társadalmi igények határozták meg, melyek egyre összetettebb elvárásokként jelentkeznek. Az uniós keretrendszer és az a tény, hogy az EU tagállamok jelentős része nem tartja kívánatosnak egy közös, EU-szintű erdészeti szakpolitika kialakítását, kétségkívül nehezebbé teszi számunkra szakmai javaslataink, elképzeléseink EU-szintű érvényesítését, de ennek lehetősége adott, csak jobban kell élni vele.

Tekintettel az erdészeti ágazatra gyakorolt hatásokra, elemi érdekünk az EU cél- és szabályrendszerének minél alaposabb megismerése, átgondolt és hazai sajátosságainkat figyelembe vevő átültetése és alkalmazása a hazai erdőgazdálkodásban és erdőiparban, beleértve a kritikai elemzést és a szükséges korrekciókat. Az alaposabb tudás egyben lehetőséget ad számunkra az EU jövőbeni szakpolitikai irányainak hatékonyabb formálására is, a hazai elképzelések hatékonyabb integrálására az EU jogalkotási gépezetébe.

Az EU-jogszabályokban a gyakorlat elsősorban a korlátozásokat látja. Egyrészt a jogszabályok megalkotásának hátterét, az összefüggéseket megismerve érthetőbbé válik azok célja és módszerei. Másrészt az erdőkkel kapcsolatos elvárások, mint például a klímavédelem, nemcsak korlátokat, de lehetőségeket is jelentenek a hazai erdőgazdálkodás számára. Az uniós keretek ismeretének birtokában, a hazai szakemberek minél szélesebb körű bevonásával tudja az erdészeti és erdőipari ágazat kialakítani jövőbeni stratégiáját, fejlesztési irányait és lebontani azt gyakorlati tennivalókra. Ehhez kíván segítséget, kiindulópontot nyújtani a fejezet, melyet a könyv további fejezetei már konkrét irányok és lehetőségek bemutatásával folytatnak.

A bonyolult és sokszor első látásra kedvezőtlennek ítélt EU keretrendszer homályából azonban egyértelműen kirajzolódik az erdők iránti érdeklődés, az erdők szerepének felértékelődése. Az erdőben pedig mi vagyunk otthon! Rajtunk múlik, hogy ezt a lehetőséget – ha küzdelmek és kompromisszumok árán is – előnyünkre fordítjuk, és a változások élére állva annak kormányzásában is részt veszünk, vagy elszenvadjuk a kívülről ránk mért csapásokat. Tapasztalataink, tudásunk alapján minden adottságunk megvan arra, hogy a kormányrúdhöz állhassunk.




HOLTFA VAGY ALAPANYAG?

Egymásnak sokszor ellentmondó elveket kell egyszerre érvényesíteni és összhangba hozni a különböző EU stratégiák megvalósítása során.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



A photograph of a lush forest. In the foreground, a large, moss-covered log lies horizontally across the frame. The forest is filled with tall, thin trees, and sunlight filters through the canopy, creating dappled light on the forest floor. The overall atmosphere is serene and natural.

AZ IDŐS ERDŐK JELENTŐS MENNYISÉGŰ SZENET TÁROLNAK, DE AZ ÉVENTE KIMUTATHATÓ ÚJABB MEGKÖTÉS MÉRTÉKE FOKOZATOSAN CSÖKKEN

Annak ellenére, hogy a politikai figyelem egyre inkább az erdőalapú klímamitigációra irányul, az elmúlt években az EU erdeinek szénmegkötése a remélt klímacélokkal ellentétes pályára állt, vagyis egyre kevesebb szénket kötnek meg, amely nemkívánatos trendet elsősorban az európai erdők folyamatos előregedése indukálja. A gazdálkodás nélküli erdőben, vagy csökkentett kitermeléssel jellemezhető erdőgazdálkodási modell esetén felhalmozódó faanyagot a fogyasztó szervezetek bontják le, amely során ugyanannyi szén-dioxid szabadul fel, mint ha azt például tűzifaégetéssel fosszilis energiahordozók kiváltására hasznosítanánk.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



AZ ALKALMAZKODÁS ELKERÜLHETETLEN

Az erdészeti szektor csak akkor lesz képes megfelelő válaszokat adni a klímaváltozás kihívásaira és enyhíteni annak hatásait, ha olyan erdőt hoz létre, melyek képesek megfelelően reagálni a változó körülményekre.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

**ERDŐALAPÚ
KLÍMAMITIGÁCIÓ
EURÓPÁBAN**

6.

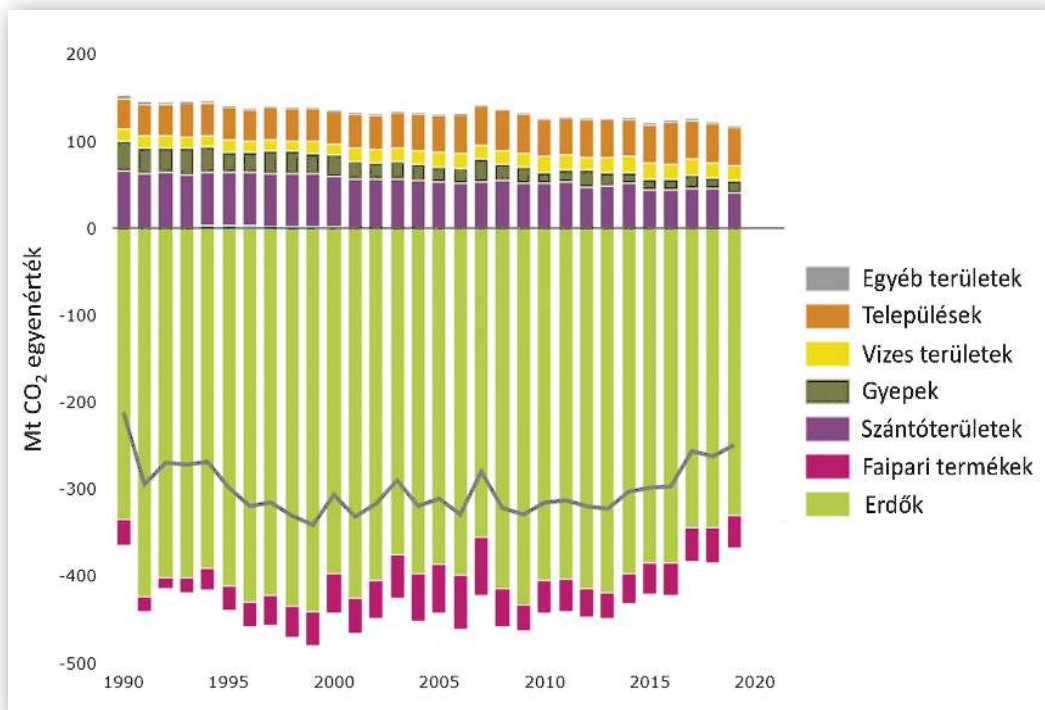
FELGYORSULT

változások és példátlan globális kihívások idejét éljük: az energiaválság, a természeti erőforrások szűkössége, a biológiai sokféleség csökkenése, a fosszilis erőforrásoktól való függés és a klímaváltozás újszerű szemléletmódot tesznek szükségessé. A kihívások új megoldásokat követelnek és új lehetőségeket is nyitnak meg. Az erdők és az erdészeti ágazat horizontális jellege szilárd alapot biztosít ezeknek az egymással összefüggő társadalmi és környezeti problémáknak a kezelésére, miközben elősegíti az európai körkörös biogazdaság kialakítását és a klímaváltozás mérséklését (a mitigációt). Az Európai Erdészeti Intézet (EFI) egy elfogulatlan, tudományos alapú nemzetközi szervezet, amely elsőrangú erdészeti tudományos ismereteket és naprakész információkat nyújt a tájékozott politikai döntéshozatal elősegítésére. Az EFI támogatást nyújt a politikai döntéshozóknak és az intézményeknek, egyesíti a határokon átnyúló tudományos ismereteket és szakértelmet, hogy erősítse a tudomány és a politika közötti párbeszédet. Ennek a célnak érdekében jelentetik meg „From Science to Policy” (A tudománytól a politikának) című kiadványaikat. E sorozat 14. kötete (Verkerk et al. 2022) az erdő-alapú klímamitigáció és alkalmazkodás kérdéskörét vizsgálja Európa 30 országára fókuszálva, lektorált tudományos kiadványokban megjelent kutatási eredmények áttekintésével és rendszerezésével. Ebben a fejezetben az EFI összefoglaló jelentése alapján mutatjuk be az európai erdészeti és faipari szektor klímamitigációs szerepét.

6.1 TRENDEK AZ EURÓPAI ERDŐALAPÚ SZEKTOR SZÉNMERLEGÉNEK ALAKULÁSÁBAN

Az európai erdők és erdőgazdálkodás, a szén-dioxid légkörből való aktív eltávolításában betöltött egyedülálló szerepük miatt kulcsfontosságúak a klímasemlegesség 2050-ig történő elérésében, ahogyan azt az európai Zöld megállapodás (EC 2019) is hangsúlyozza. Jelenleg EU-szinten az erdők és a fatermékek évente 380 Mt szén-dioxidot távolítanak el a légkörből, ami az EU összes ÜHG-kibocsátásának körülbelül 10%-át kompenzálja (EU-27 átlaga 2017–2019; EEA 2021). Az EU teljes földhasználati és erdészeti szektorának nettó elnyelése 250 Mt szén-dioxid-egyenérték körüli (32. ábra).

A Párizsi Egyezményre válaszul az EU 2020-ban megalkotta hosszú távú alacsony üvegházhatásúgáz-kibocsátási fejlesztési stratégiáját (EU 2020). Ez a stratégia 2050-re tűzi ki a klímasemlegességi célt, amely azon alapul, hogy az elkerülhetetlen kibocsátásokat a földhasználati és erdészeti szektor szén-dioxid-megkötései fogják kompenzálni. Ehhez az ágazat jelenlegi nettó szén-dioxid elnyelését meg kellene kétszerezni, hogy 2050-re elérje az évenkénti nettó 425 Mt szén-dioxid-értéket. Ez az előirányzott többletmegkötés nagyjából megegyezik Németország, Franciaország, Olaszország és Spanyolország erdeinek jelenlegi összesített éves szénmegkötésével.



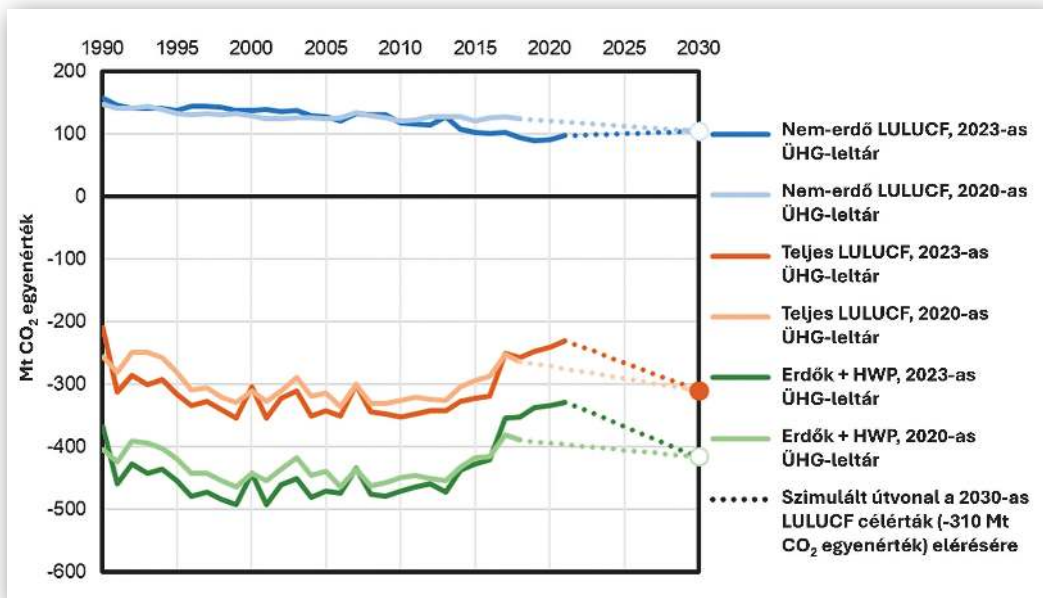
A megvalósítás elősegítésére az EU rész-célokot is felállított: 2030-ra 55%-os nettó kibocsátás-csökkentést vállalt az 1990-es szinthez képest (EC 2021c). Ez azt jelenti, hogy az erdészeti, faipari és földhasználati szektornak 2030-ig évente 50 Mt többlet-szén-dioxidot kellene eltávolítani a légkörből. Mindez azt jelenti, hogy az erdészeti és faipari szektor többletmegkötését 2035-ig évi 100 Mt szén-dioxidra kell emelni. 2050-re pedig a teljes EU klímasemlegességének elérése érdekében évi 170 Mt szén-dioxid többletmegkötést kell megvalósítani a szektorban.

32. ÁBRA

A földhasználati és erdészeti szektor CO₂-kibocsátásai és megkötései földhasználati kategóriánként.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC konvencióknak megfelelően. (Forrás: EEA 2022)

Azonban annak ellenére, hogy a politikai figyelem egyre inkább az erdőalapú klímamitigációra irányul, az elmúlt években az EU erdeinek szénmegkötése a klímacélokkal ellentétes pályára állt (33. ábra), és folyamatosan és egyértelműen csökkenő tendenciát mutat (Korosuo et al. 2023). Korosuo és munkatársai (2023) szerint ezt a nemkívánatos trendet elsősorban az európai erdők folyamatos előregedése indukálja. Az erdők előregedésének fent említett folyamata hazánk erdeit is jellemzi. Kottek és munkatársai (2023) legtöbb fafajunk esetében folyamatosan növekvő vágáskort mutattak ki az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) adatai alapján.



33. ÁBRA

Az EU-27 nettó kibocsátásainak és szénmegkötéseinek trendjei a teljes LULUCF-szektorban, és külön az erdőterületek és fatermékek (HWP) vonatkozásában, illetve a többi LULUCF-kategória esetében.

Az ábra a 2020-as és 2023-as EU-szintű, összesített ÜHG-leltár jelentések alapján szemlélteti a nettó szénnyelés trendjének gyors és kedvezőtlen változását az erdőalapú szektor esetében. Szaggatott vonallal pedig a 2030-ra vonatkozó -310 Mt CO₂-egyenértékű cél eléréséhez szükséges pályákat szemlélteti. A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően. (Forrás: Korosuo et al. 2023)

Korosuo és munkatársai a Carbon Budget Model felhasználásával előrejelezték az európai erdők várható jövőbeli szénegyenlegét, és eredményeik szerint a szénnyelés csökkenő tendenciája megmarad, és Európa erdei egyre nagyobb mértékben letérnek a 2030-as célérték eléréséhez számukra kijelölt útról (Korosuo et al. 2023). A nemkívánatos tendencia ellensúlyozására két lehetősége nyílik az erdőgazdálkodónak: vagy csökkenti a fakitermelést az erdő szénkészletének növelése érdekében,

vagy növeli a kitermelést a szénmegkötés növelése érdekében, és minél több fatermék előállítását célozza meg a hosszú távú széntárolás és a helyettesítési hatások maximalizálása érdekében (Martes és Köhl 2022, Borovics 2022).

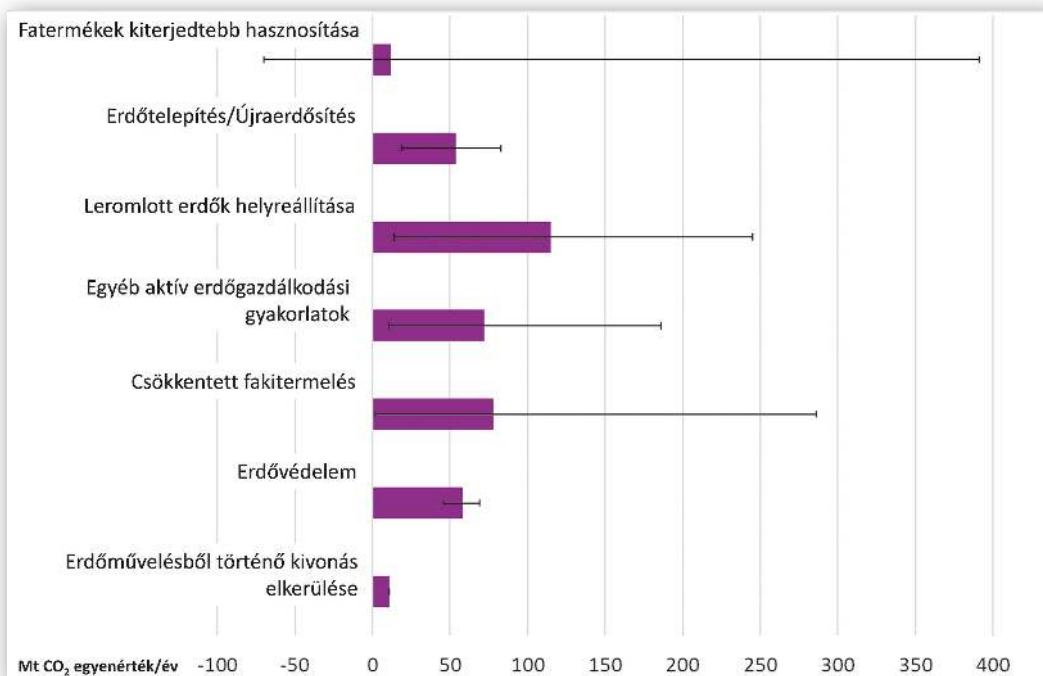
Az EU új kibocsátási céljaival összhangban a szektor teljes jogi szabályozását újragondolta. Az erdőalapú szektort érintő európai szintű jogi szabályozást részletesen könyvünk 5. fejezetében mutattuk be. Az új jogi rendszerben az erdőipar klímamitigációs teljesítményének tágabb ökológiai és gazdasági kontextusba történő integrálását számos jogi aktus szolgálja, melyek egyben lehetőséget teremtenek a mitigációs hatások fokozását célzó üzleti megoldások előmozdítására is (Korosuo et al. 2023). A 2030-as keretrendszer földhasználati szektorral foglalkozó alapvető elemei a LULUCF-rendelet (EU/2023/839; EU 2018a), a vállaláselosztási rendelet (ESR, EU 2018b) és a megújuló energia irányelv (REDII; EU 2018c), melyek mindegyikét felülvizsgálták, és megújították az „Írány az 55%!” (Fit for 55) csomag keretében. Emellett az erdőkhöz és erdészeti szektorhoz szorosan kapcsolódik a természet-helyreállítási rendelet (COM(2022)304, EU/2024/1991), az EU 2030-ig szóló új erdőstratégiája (COM(2021)572), az új talaj-egészségügyi törvényre vonatkozó javaslatok (COM(2021)699, Európai Bizottság 2023), az erdőmonitoring és stratégiai tervezés új keretrendszere (Európai Bizottság 2022), a fenntartható szén ciklusokra (COM(2021)800) és a szén-dioxid-eltávolítás tanúsítására vonatkozó rendeletek (COM(2022)672, EU/2024/3012), melyeknek célja az erdei ökoszisztémák védelme mellett a teljes erdőipari klímamitigációs keretrendszer szabályozása is.

Az ambíciózus kibocsátás-csökkentési célok és az új jogi szabályozás erős nyomást helyeznek az EU erdészeti, faipari és földhasználati szektorára. Az erdők szénmegkötési képessége jelentősen hozzájárulhat a célok eléréséhez, azonban jelenleg a szénmegkötés csökkenő trendjével szembe-sülünk. Mindezek miatt fontos felmérni és számszerűsíteni, hogy mekkora mitigációs potenciál köthető valójában az erdészeti szektorhoz Európában, illetve az egyes európai országokban.

6.2 ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK EURÓPÁBAN

Az európai erdészeti szektor klímamitigációs hatása több mechanizmus eredője. Az erdők csökkentik a kibocsátást azáltal, hogy megkötik és tárolják a szenet az erdei ökoszisztémákban, magas minőségű és hosszú élettartamú fatermékeket szolgáltatnak, és emellett kibocsátás-csökkentést tesznek lehetővé a gazdálkodás modernizálása, valamint az anyag- és energiahelyettesítés révén. A mitigációs tevékenységek között megkülönböztethetünk az erdők védelmét szolgáló intézkedéseket (beleértve az erdőpusztulás elkerülését, az erdők megőrzését és az erdőterületek beépítésének vagy más művelési ágba történő átsorolásának visszaszorítását), az erdőgazdálkodást fejlesztő intézkedéseket (beleértve a fakitermelést és az egyéb aktív gazdálkodást), az erdők helyreállítását célzó tevékenységeket (beleértve az erdőtelepítést és az újraerdősítést), valamint a faanyag fenntarthatóbb és innovatívabb felhasználását célzó intézkedéseket (beleértve a hosszabb élettartamú termékek felé való elmozdulást, a helyettesítő termékeket és a kaszkád-felhasználást).

Az EFI-jelentése lektorált szakirodalmi források összesítése alapján az EU 27 tagállama, valamint Norvégia, Svájc és az Egyesült Királyság erdészeti szektorának mitigációs potenciálját átlagosan évi 136–155 Mt szén-dioxid-értékre teszi. A jelentés szerint a többlet megkötés mértéke attól függ, hogy az egyes mitigációs intézkedéseket milyen kombinációban alkalmazzuk.



34. ÁBRA

Az erdőalapú és a faanyag-felhasználással kapcsolatos intézkedések mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban. (Forrás: Verkerk et al. 2022)

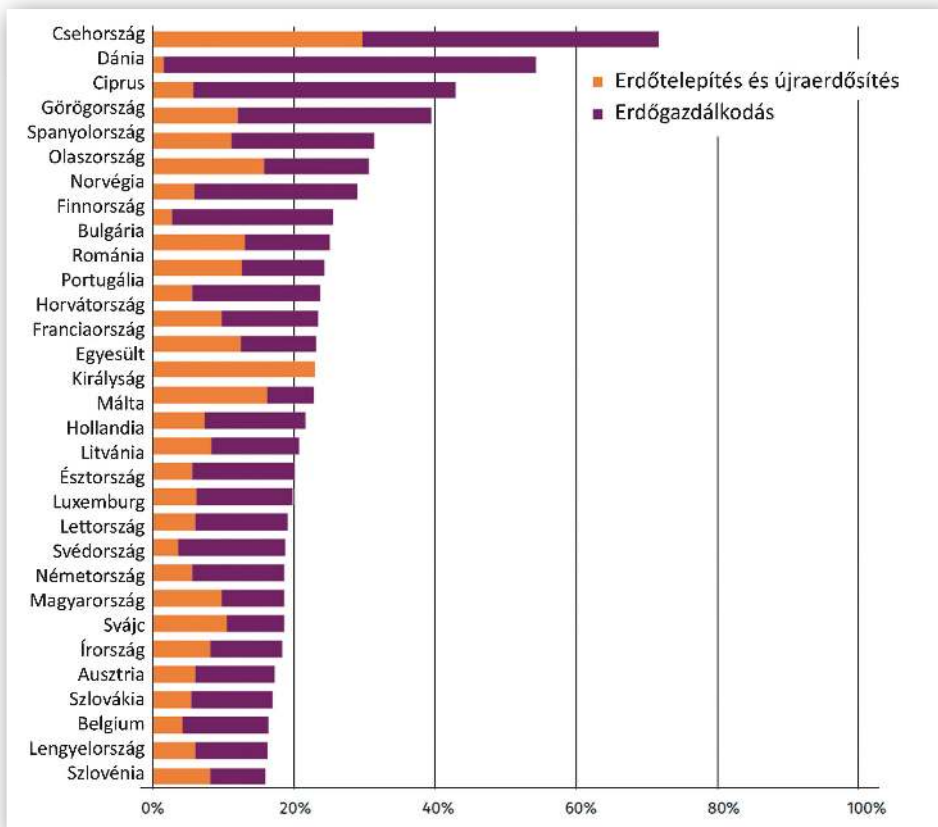
Az összes erdészeti tevékenységet figyelembe véve (34. ábra) európai szinten az erdőgazdálkodás fejlesztése bír a legnagyobb mitigációs potenciállal, amelyet szorosan követ az erdők helyreállítása és védelme. Az egyéb aktív erdőgazdálkodási tevékenységek szintén jelentősek, klímaváltozás-mérséklő hatásuk átlagosan 72 Mt CO₂/év. Az aktív erdőgazdálkodás körébe tartozik például a faj- és eredetszelekció, a tápanyag és vízgazdálkodás optima-

lizálása, valamint a természetes erdőkárok elleni védekezés is. A faanyag-felhasználás mitigációs potenciálja elsősorban a fatermékek előállításához kapcsolódik. A legkedvezőbb hatás a fa építőipari felhasználásának növelésével, vagy újfajta faalapú textiliák előállításával érhető el. Ugyanakkor fontos, hogy eközben fenntartsuk, illetve növeljük az erdőkben tárolt szénkészleteket is.

A legmagasabb erdőgazdálkodási mitigációs potenciállal rendelkező országok Svédország, Finnország, Spanyolország, Franciaország, Lengyelország és Németország. Ezek az országok adják a teljes európai mitigációs potenciál 60%-át, és mindegyikük mitigációs potenciálja meghaladja a 10 Mt CO₂/év értéket. A meglévő erdők kezelésének optimalizálásában rejlő mitigációs lehetőségek a meghatározóak a legtöbb EU-országban. A jelentés az ilyen országok közé sorolja Magyarországot is, emellett ide tartozik Svédország, Finnország, Spanyolország, Lengyelország, Németország, Dánia, Norvégia, Ausztria, Csehország, Görögország, Portugália, Lettország, Szlovákia, Észtország, Litvánia, Szlovénia, Belgium,

Hollandia, Luxemburg és Ciprus. Ezzel szemben Franciaországban, Olaszországban, Romániában, Bulgáriában, Horvátországban, az Egyesült Királyságban, Svájcban, Írországban és Máltán a mitigációs potenciál több mint 50%-át az erdőtelepítésben és az újraerdősítésben rejő lehetőségek biztosítják.

Az elvileg megvalósítható teljes mitigációs potenciál vizsgálata mellett nagyon fontos a költség-hatékonyan megvalósítható lehetőségek vizsgálata is. A szakirodalom a 100 USD/t CO₂ költségen, vagy ennél olcsóbban megvalósítható intézkedéseket tekinti gazdaságosnak. Bulgária, Franciaország, Magyarország, Olaszország, Málta, Románia, Szlovénia, Svájc és az Egyesült Királyság esetében az erdősítés/újraerdősítés gazdasági potenciálja meghaladja az erdőgazdálkodás fejlesztésében rejő lehetőségeket (35. ábra).



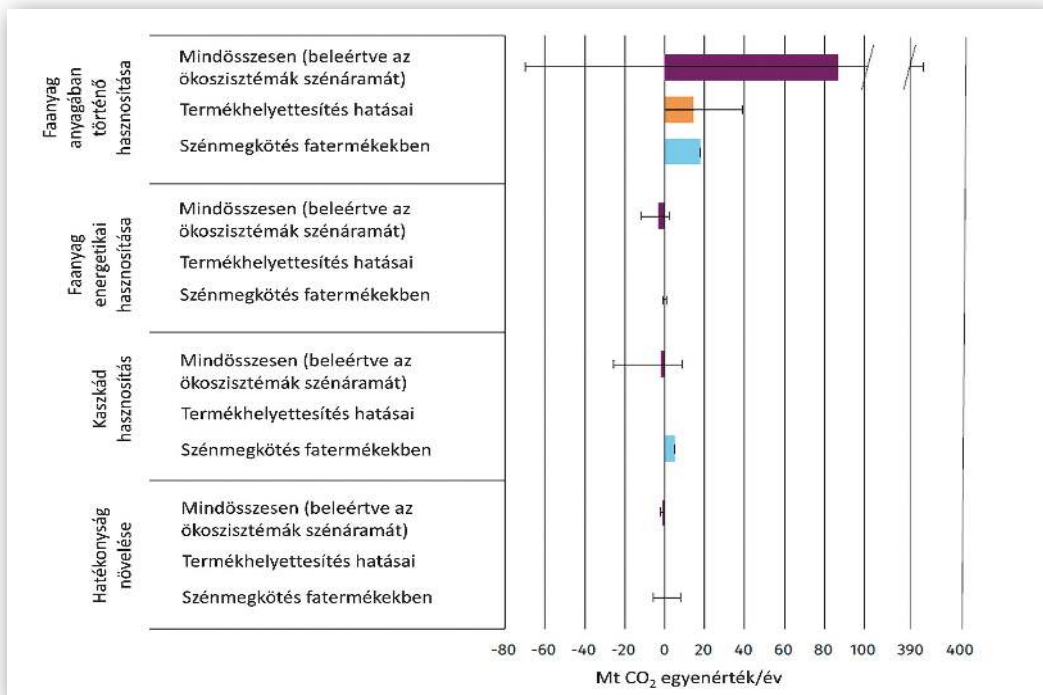
35. ÁBRA

Költséghatékony (100 USD/tCO₂ költségen, vagy annál olcsóbban megvalósítható) mitigációs potenciál a teljes mitigációs potenciál százalékában.

(Forrás: Verkerk et al. 2022)

6.3 A FAIPAR KIEMELT SZEREPE

Az EFI-jelentése szerint a fafelhasználás optimalizálásában jelenős klímaváltozás-mérséklő potenciál rejlik az európai országok esetében, melynek mértéke összességében 13 Mt CO₂/év értékre becsülhető az egyedi tanulmányok és az egyes forgatókönyvek összesítése alapján. Azonban a helyzet értékelése során nehézséget okoz az, hogy az egyedi becslések értékei meglehetősen nagy intervallumban szórnak – 70 és 391 Mt CO₂/év értékek között (36. ábra). Az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó egyéb intézkedések mitigációs potenciáljára vonatkozó szakirodalmi adatok szórása sokkal kisebb mértékű ennél (34. ábra), amiből az következik, hogy az európai faipar mitigációs potenciáljának kutatása még kevésbé kiforrott, a bizonytalanság nagyobb, és az elképzelhető forgatókönyvek szélesebb skálán mozognak.



36. ÁBRA

A faanyag-felhasználás változásainak mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban.

(Forrás: Verkerk et al. 2022)

Az EFI-jelentés hangsúlyozza, hogy a fatermékek kaszkád-felhasználására, illetve a faipari gyártási folyamatok hatékonyságának növelésére vonatkozóan nagyon kevés szakirodalmi forrás áll rendelkezésre, így ezek szénmérlege és mitigációs hatásai nehezen becsülhetőek. A jelentés kiemeli, hogy a kaszkád-felhasználás mitigációs hatásainak mértékére mindössze csak két tanulmány tartalmazott becslést. Így a fokozott újrahasználat és újrahasznosítás, a kaszkád-felhasználás és a termék élettartam-, valamint a gyártási hatékonyság növelése olyan területek, melyeknek további, alaposabb feltérképezése elengedhetetlen.

A szakirodalmi adatok szerint átlagosan sokkal nagyobb mitigációs potenciál társul a fa ipari alapanyagként történő felhasználásának bővítéséhez (87 Mt CO₂-egyenérték/év), mint a primer energetikai felhasználásához (-3 Mt CO₂-egyenérték/év). Az ipari felhasználás bővítése jellemzően elsősorban kiterjedtebb építőipari felhasználás útján valósítható meg, ami azért is különösen kedvező, mivel egyidejűleg növeli a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások arányát is, illetve emeli az iparifa átlagos hasznos élettartamát.

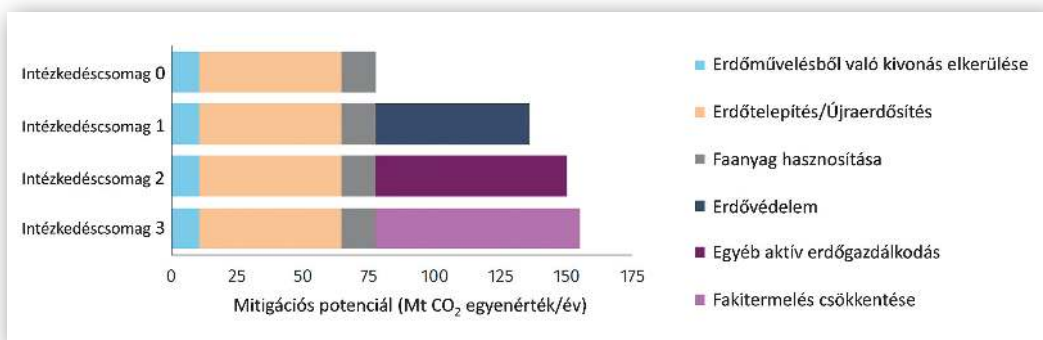
A helyettesítési hatások mértéke és a termékek élettartama emellett növelhető a termékportfóliók összetételének vagy a fatermékek végfelhasználásának megváltoztatásával is, akár a kitermelt faanyag mennyiségének növelése nélkül. Ezzel párhuzamosan a melléktermékek felhasználása is más struktúrába rendeződhet. A közvetlen energetikai felhasználás helyett egyre inkább előtérbe kerül a terméként (pl. panelek, csomagolóanyagok, textíliák és vegyszerek) történő felhasználásuk. Ennek egyik oka, hogy a kitermelt fűrészipari rönk, továbbá a papírfa és rostfa aránya kisebb mértékben, illetve csak jelentősebb innovációk útján változtatható, ezzel szemben a melléktermékek felhasználása könnyebben megoldható. Ugyanakkor az újságpapír és a grafikai papír iránti kereslet csökkenése lehetőséget teremt a papírfa alternatív felhasználására például textil- és csomagolóanyagként (Hurmekoski et al. 2020), vagy akár az építőiparban is (Brunet-Navarro et al. 2021).

A RED III direktíva (EC 2021d) 2026-tól – néhány kivételtől eltekintve – fokozatosan megszünteti majd az elsődleges biomasszából történő villamosenergia-termelés támogatását. Ez azt jelenti, hogy miközben a jogi környezet támogatja és elősegíti a faanyag széles körű, kaszkád rendszerű felhasználását, biztosítja azt is, hogy a természetvédelmi célok ne csorbulhassanak a nagy biodiverzitású, magas természeti értéket képviselő erdőkben. A faanyag-felhasználásának prioritási sorrendje fentiek alapján a következőképp összegezhető:

- 1) faalapú termékek előállítás,
- 2) a termékek élettartamának meghosszabbítása,
- 3) újrafelhasználás,
- 4) újrahasznosítás,
- 5) bioenergetikai felhasználás,
- 6) és végül a fennmaradó hulladék ártalmatlanítása.

6.4 SZINERGIÁK ÉS KONFLIKTUSOK AZ INTÉZKEDÉSCSOPORTOK KÖZÖTT, ÁGAZATKÖZI KÖLCSÖNHATÁSOK

Annak érdekében, hogy az egyedi mitigációs intézkedésekre vonatkozó szakirodalmi adatok alapján becslést adjanak a teljes európai szintű erdőalapú mitigációs potenciálra, az EFI-jelentés szerzői összevonták azokat a mitigációs tevékenységeket, amelyek jelentős kölcsönhatások nélkül kombinálhatóak egymással (37. ábra). Ezek az összevont intézkedéscsoportok szemléltetik a lehetőségek terét az erdőalapú mitigáció vonatkozásában, azonban nem tekinthetők egyszerű alternatívaként, amelyekből már csak választani kell. Az intézkedéstípusok megfelelő kombinációja országonként és régióként is nagyon eltérő lehet. Nincs egy mindenki számára megfelelő megoldás, az előnyök maximalizálása és a kockázatok minimalizálása érdekében figyelembe kell venni az összes területi sajátosságát és a kölcsönhatások helyi komplex rendszerét.



37. ÁBRA

Erdőgazdálkodási intézkedéscsoportok mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban. (Forrás: Verkerk et al. 2022)

Az EU 170 Mt többlet-szén-dioxid-megkötését irányozza elő 2050-re a földhasználati szektorban. Ennek megvalósulása elengedhetetlen az erre a céldátumra vállalt nettó nulla emissziós szint eléréséhez. Az EFI számításai szerint az erdőalapú szektorhoz kapcsolódó intézkedések összesített mitigációs potenciálja 136–155 Mt CO₂/év értékek között mozog, ami kevesebb, mint az EU által kitűzött többlet-megkötési cél. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy a szakirodalmi becslések szerint kihívást jelent majd az EU-27 klímacéljainak elérése, hogyha a földhasználati szektorra vonatkoztatott célokat kizárólag erdőalapú mitigációs intézkedésekre támaszkodva akarjuk elérni. Így a földhasználati szektor egyéb alszektora is nagy feladat és felelősség hárul, hiszen az emissziók csökkentése és a szénmegkötések növelése elméletileg a mezőgazdaság minden területén lehetséges. Jó példa erre az agrárerdészet, mely hatékonyan képes elősegíteni mind a mitigációs, mind pedig az adaptációs törekvéseket a mezőgazdasági szektorban.

Mivel jelenleg csak korlátozott mennyiségű információ áll rendelkezésre a mitigációs intézkedések megvalósíthatóságáról és az ehhez kapcsolódó költségekről, ezért különösen fontos, hogy a mitigációs hatások mértékét ne csak az egyes intézkedések szintjén vizsgáljuk, hanem feltérképezzük az intézkedések közötti pozitív és negatív kölcsönhatásokat és a más ágazatokban rejlő lehetősé-

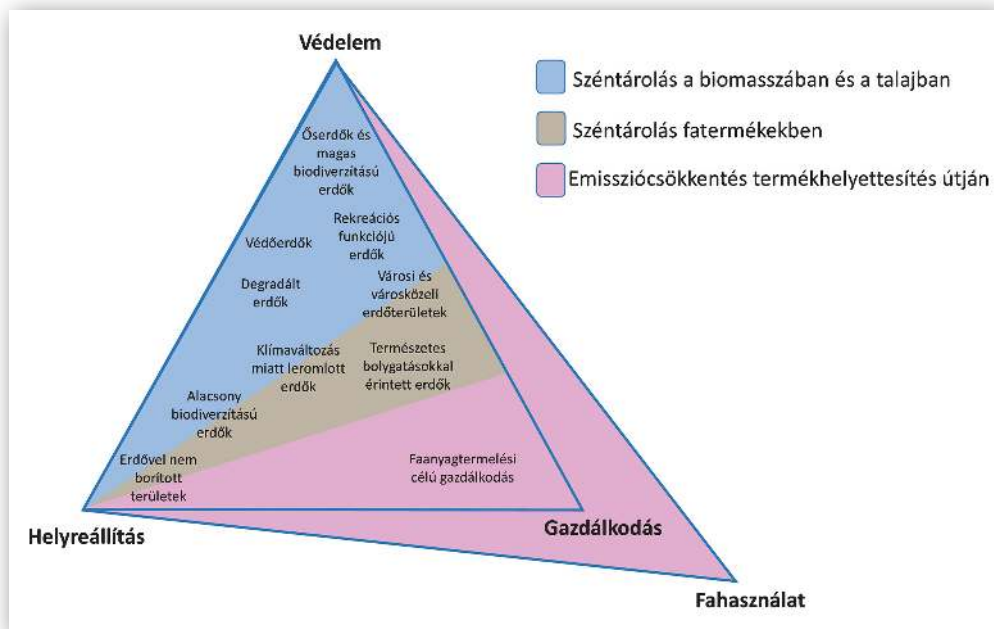
geket, valamint az ágazatközi hatásokat is. Az erdőtelepítés és az újraerdősítés, az erdőművelésből történő kivonások visszaszorítása, a faanyag-felhasználás kiterjesztése, a kaszkád felfelhasználás és az anyag- és energiahatékonyság növelése olyan tevékenységek, amelyek egymásra gyakorolt hatásai korlátozottak vagy egyáltalán fel sem lépnek. Ugyanakkor ezek a tevékenységek is hatással lehetnek más ágazatokra (pl. mezőgazdaság, energiaszektor).

Vannak azonban olyan intézkedések, amelyek potenciálisan összeütközésbe kerülhetnek egymással. Az erdők védelmét és helyreállítását célzó intézkedések és a fa ipari felhasználásának bővítését előirányzó intézkedések közötti összhang megteremtése jóval bonyolultabb és több konfliktusra adhat okot. Itt nagyon fontos a teljes erdőalapú bioökonómiai rendszer komplex szemléletének kialakítása.

A természetvédelmi intézkedések, illetve a fakitermelés klímamitigációs célú csökkentése a szén erdei ökoszisztémán belüli tárolására összpontosíthatnak, és ezért szükségszerűen korlátozzák a fahasználatot, ezáltal korlátozva a bioökonómia fontos megújuló nyersanyagának elérhetőségét is. Ezzel szemben a fatermékek széntárolására vagy a termék- és energiahelyettesítési hatásokra összpontosító intézkedések pedig esetleg negatív hatással lehetnek az erdei ökoszisztémák széntárolására (Johnston és Radeloff 2019, Churkina et al. 2020). Ezeket a kölcsönhatásokat a szakirodalomban sok esetben különböző okok miatt figyelmen kívül hagyják, holott döntő fontosságúak az optimális mitigációs útvonalak és a legkedvezőbb stratégiák megtalálásához (Fehrenbach et al. 2022). A mitigációs intézkedések egymásra gyakorolt közvetlen hatásai mellett közvetett hatások is felléphetnek, melyeket szintén érdemes feltárni.

Az aktív erdőgazdálkodásra összpontosító intézkedések tehát ütközhetnek a biodiverzitás megőrzésének céljaival, de emellett léteznek pozitív szinergiák is (Muys et al. 2022, Giuntoli et al. 2022). Az erdőgazdálkodási tevékenységek táji léptékű tervezése, amely figyelembe veszi a fajok speciális igényeit és elterjedését, egyszerre segíti elő a biodiverzitás megőrzését és a szénmegkötési célokat. Az erdők fatermőképességét nagyban befolyásolja a fafaj és származás megfelelő megválasztása. A megfelelő időpontban és eréllyel végrehajtott gyéritések pedig akár növelhetik is az aljnövényzet fajgazdagságát, ilyen módon pozitív hatást gyakorolva a biodiverzitásra. A gyors növekedésű, jelentős szénmegkötésre képes fafajok telepítése is fontos eleme lehet a mitigációs stratégiáknak, azonban ebben az esetben is adódhatnak konfliktusok a biodiverzitás megőrzésének céljaival. A 38. ábra szemlélteti az egyes erdőgazdálkodási célok és tevékenységek hozzájárulását a mitigációs törekvésekhez. Minden erdőtípusnak és gazdálkodási tevékenységnek helye van a mitigációs mátrixban, és optimális kombinációjuk adja a legkedvezőbb megoldást.

A faiparban bekövetkező változások a fakitermelés mennyiségének változását és az érintett fafajok és választékok arányainak eltolódását is eredményezhetik. Mindez az erdei ökoszisztémák szén-dioxid-mérlegét is befolyásolhatja. A szakirodalom eredményei általában azt mutatják, hogy ha a fakitermelés mértékét egy alapértékhez képest megnövelik, az újfajta egyensúlyt teremt az elkerült fosszilis kibocsátások, a fatermékek növekvő széntárolása, illetve az erdei széntárolás valamilyen mértékű csökkenése között. Azonban fontos hangsúlyozni, hogy ezek az ellenhatások legalább részben időfüggőek. Azok a tevékenységek, amelyek rövid távon nettó mitigációs előnyöket biztosítanak, hosszabb távon korlátozhatják vagy megnehezíthetik a klímaváltozás mérséklését. Az EFI-jelentése kiemeli, hogy például azok a mitigációs intézkedések, amelyek célja az erdei ökoszisztémák széntárolásának maximalizálása, az erdők megőrzése és a fakitermelés csökkentése révén, csak rövid és középtávon segíthetnek a szakpolitikai célok elérésében. Ez a haszon azonban csökkenni fog, ahogy az erdők idősödnek és növekedési ütemük lassul. A másik tényező, ami e megoldás ellen



dolgozik, pont magából a klímaváltozásból következik, ugyanis ha az éghajlatváltozás miatt az erdőket érő biotikus és abiotikus stressz fokozódik, akkor jelentős spontán szénvesztések léphetnek fel például nagy kiterjedésű erdőtüzek, széldöntés vagy biotikus károk formájában. Ráadásul amennyiben azokon a területeken csökkentjük a fakitermelést, ahol korábban aktív erdőgazdálkodás folyt, akkor nagy valószínűséggel ez a csökkenés a táj más részein, vagy akár globálisan a nemzetközi kereskedelem révén kiegyenlítődik (Kastner et al. 2011, Pendrill et al. 2019a, b). Tehát ebben az esetben ugyan az adott helyen az erdei ökoszisztéma széntárolását növelhetjük, azonban ezzel a fakitermelést egy másik helyszínre, esetleg másik országba vagy kontinensre exportáljuk. Mindez akár annak a veszélyét is magában hordozhatja, hogy a piacra távoli országokból, nem fenntartható erdőgazdálkodásból származó faanyag áramlik. Ezzel szemben a fenntartható erdőgazdálkodásból származó hosszú élettartamú fatermékek az építőiparban felhasználva akár évszázadokon át is tárolhatják a szenet, ezzel kivonva azt az atmoszférából. Fontos tehát hangsúlyozni, hogy az erdei ökoszisztéma-szolgáltatásokat és a faanyagban rejlő mitigációs potenciált együttesen kell vizsgálni és figyelembe venni a szakpolitikai célok eléréséhez történő együttes hozzájárulásukat alapul véve.

Leclère és társai (2020) kimutatták, hogy a biodiverzitás-megőrzési tervek kiterjesztése a teljes európai földterület 40%-ára a biodiverzitás csökkenésének pusztán csak kevesebb, mint a felét tenné elkerülhetővé. Ezzel szemben a termelési módszerek fenntartható intenzifikációja és a fogyasztási szokások megváltoztatása révén a biodiverzitás várható jövőbeni csökkenésének több

38. ÁBRA

Az egyes erdőtípusok és gazdálkodási célok hozzájárulása a mitigációs törekvésekhez. (Forrás: Verkerk et al. 2022)

mint kétharmada elkerülhető. Hasonlóan integrált megközelítés szükséges a biológiai sokféleséggel és a klímaváltozás mérséklésével kapcsolatos célok eléréséhez is, amely lehetővé teszi a faalapú nyersanyagtermelés és az erdei szénmegkötés fokozását a hulladéktermelődés és a fogyasztás csökkentésével egyidejűleg. Az erdőalapú klímamitigációs intézkedések és a biodiverzitás megőrzése közötti szinergiákat és konfliktusokat a 3. táblázat foglalja össze.

3. TÁBLÁZAT

Erdőalapú mitigációs tevékenységek és azok hatásai a biodiverzitásra.

(Forrás: Verkerk et al. 2022)

Kategória	Intézkedés	Tevékenység típusok	Szinergiák és konfliktusok a mitigációs törekvések és a biodiverzitás megőrzése között
Védelem	Az erdőművelésből való kivonás és a degradáció megakadályozása	A kivonások mértékének csökkentése, az erdőterületek leromlásának csökkentése	Szinergia, a biodiverzitás fenntartása.
Erdőgazdálkodás	Az erdők megőrzése, természetvédelem	Faanyagtermelésből kivont erdőterületek	Szinergia, magasabb biodiverzitás a védett és művelésből kivont erdőterületeken.
	Fakitermelés	Gyérítési és fakitermelési gyakorlatok és rendszerek	Szinergia, amennyiben a vágásforduló növekszik, vagy a gyérítések optimális mennyisége az élőhelyek kiterjedését eredményezi.
	Aktív erdőgazdálkodás (a fakitermelésen kívül)	Származási hely kiválasztása	Szinergia vagy konfliktus az eredeti erdőállomány genetikai diverzitásának függvényében.
		Tápanyag-gazdálkodás és talajelőkészítés	Konfliktus, a biodiverzitás csökken, amennyiben a növényfajok száma csökken.
		Természetes bolygatások kezelése	Szinergia, amennyiben a katasztrófális mértékű természetes bolygatások megakadályozhatóak. Konfliktus, amennyiben a tüzesetekhez kötött fajok veszélyeztetetté válnak.
Helyreállítás	Erdő-helyreállítás	Fafajok kiválasztása, vízgazdálkodás szabályozása	Szinergia, amennyiben az eredeti életközösségek szerkezete helyreállításra kerül, és a szerkezeti változatosság, valamint a faji diverzitás növekszik. Konfliktus, amennyiben nem őshonos, potenciálisan invazív fajok telepítenek be.

Kategória	Intézkedés	Tevékenység típusok	Szinergiák és konfliktusok a mitigációs törekvések és a biodiverzitás megőrzése között
	Erdőtelepítés/ újraerdősítés	Korábbi erdőterületek újratelepítése	Szinergia, amennyiben a leromlott területek, nemrég kialakított szántóterületek, vagy tőzgebányák erdősítése történik meg.
		Erdőtelepítés más földhasználatokon	Konfliktus, amennyiben gyepek vagy olyan ökoszisztémák erdővé alakítása történik meg, ahol magas volt a biodiverzitás vagy endemikus fajok élőhelyei voltak.
Faanyag hasznosítása	Faanyag felhasználásának változásai (beleértve a melléktermékeket is)	Hosszú élettartamú termékek gyártásának előtérbe kerülése	Szinergia, amennyiben a termelési gyakorlatok változása csökkenti az eutrofizációt és a környezetszennyezést. Konfliktus, amennyiben a növekvő faanyaghasználat a fakitermelési nyomás növekedéséhez vezet, és az veszélyezteti a fenntartható gazdálkodást.
		Anyagában történő hasznosítás előnyben részesítése	
		Elsődleges energiatermelés előnyben részesítése	
	Kaskádhasznosítás, hulladékkezelés	Újrahasználat, újrahasznosítás	Szinergia, amennyiben a faanyag kaskádrendszerű hasznosítása csökkenti a fakitermelési nyomást az erdőkön.
Értékcsökkentett újrahasznosítás			
Fahulladék energetikai hasznosítása			
Hatékonyság növelése	Fokozott anyaghatékonyság	Szinergia, amennyiben a faanyag kaskádrendszerű hasznosítása csökkenti a fakitermelési nyomást az erdőkön.	
	Fokozott energiahatékonyság		

Összességében elmondható, hogy az erdőalapú éghajlatváltozás-mérséklő tevékenységek által kínált teljes mitigációs potenciál kiaknázásához integrált, holisztikus megközelítésre van szükség mind a szakpolitikában, mind pedig a kutatásban. Ez a szemléletmód figyelembe veszi az összes releváns széntárolót és szénáramot, valamint az intézkedések időben és térben változó hatásait, szinergiáit és ellenhatásait. Látókörünknek egyszerre kell kiterjedni az erdőállomány összes széntárolójára (a biomasszára, a holtfára és a talajra), a fatermékek összes lényeges szénkészletére és szénáramára, az anyag- és energiahelyettesítés révén elkerült kibocsátások teljes palettájára, valamint minden erősítő és gyengítő kölcsönhatásra, illetve azok időbeli változásaira 2050-ig és azon túl is. Emellett figyelembe kell vennünk a többi kibocsátó ágazatokkal történő kölcsönhatásokat, mivel az erdőalapú mitigációs intézkedések hatással vannak más ágazatokban végzett tevékenységekre, és a többi ágazatban végrehajtott intézkedéseknek is lehetnek hatásai az erdőgazdálkodásra és a faipari termelés alakulására.

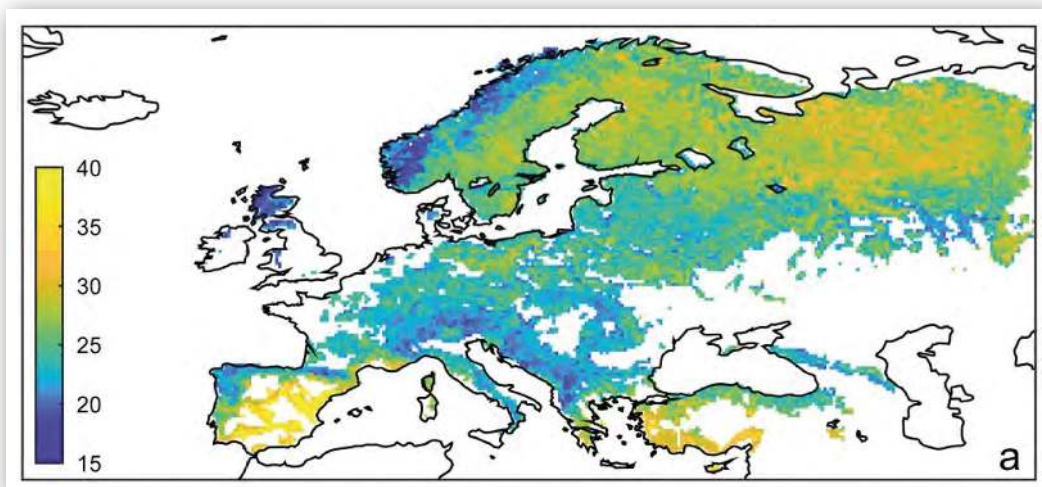
6.5 A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A MITIGÁCIÓS POTENCIÁLRA

A 2019-es évben mérték a legmagasabb atmoszférikus szén-dioxid-koncentrációt az elmúlt 2 millió évben, a globális átlaghőmérséklet 1,09 °C-kal emelkedett a 2011 és 2020 közötti időszakban az iparosodás előtti szinthez képest (IPCC AR6WGI 2021). A klímaváltozás nem egy jövőben fenyegető következmény, hanem egy olyan folyamat, amely már jelenleg is zajlik, és egyaránt hatással van az erdők fiziológiai folyamataira és az őket körülvevő ökológiai-környezeti feltételekre, ezzel befolyásolva a növekedést és a fatermőképességet. Az erdők fontos szerepet játszanak a klímaváltozás mérséklésében, ugyanakkor az erdőket is érinti a klímaváltozás, és ezért alkalmazkodásra van szükség. Az erdőalapú klímamitigáció és az adaptáció egymástól elválaszthatatlan tevékenységek, amelyeket csak együtt lehet hatékonyan megvalósítani.

A klímaforgatókönyvek nagy többségét alapul vevő modellek a fajok elterjedésére nézve azt mutatják, hogy valószínűleg a század második felében szinte az összes főbb európai faj elterjedési területe csökkenni fog, különösen Kelet- és Dél-Európában. Ugyanakkor egyes fajok jelentős területet nyerhetnek északon. Az elterjedési területeknek ezek az eltolódásai valószínűleg jelentős változásokat fognak okozni az állományok szénmegkötő képességében is.

A fajok elterjedési területének eltolódása már megfigyelhető például a bükk visszaszorulása esetében Dél-Európa magasabban fekvő részein (Peñuelas et al. 2007), vagy a szárazsági határon Magyarországon (Mátyás et al. 2010). Ugyanakkor a bükk és a kocsánytalan tölgy előreláthatólag jelentős mértékben tud majd észak felé terjeszkedni, délen viszont a szárazságtűrő tölgyek jutnak nagyobb szerephez. Az előrejelzések szerint a duglászfenyő, az atlaszcédrus, a vörös tölgy és az akác is területeket nyerhetne, de nem őshonos státuszuk miatt természetvédelmi korlátba ütközhet a szélesebb körű alkalmazásuk. Az északi és magasan fekvő területeken előforduló közönséges nyír, vörösfenyő, lucfenyő és erdeifenyő elterjedési területe az előrejelzések szerint jelentős mértékben leszűkül, és az utóbbi két faj szinte eltűnik az alacsony és közepes magasságú területekről Közép-, Kelet- és Dél-Európában. Ez különösen jelentős változás, mivel a lucfenyő és az erdeifenyő jelenleg a gazdaságilag legfontosabb fajok Európában. Mindez valószínűleg jelentős visszaesést hoz majd az európai erdészeti szektor szénmegkötő képességében, mivel jelenleg a fiatal állományok és a gyorsan növekvő fajok, és ezen belül a lucfenyő és erdeifenyő állományok jelentősen hozzájárulnak az európai szintű szén-dioxid-elnyeléshez. A fenyők által dominált elegyetlen erdők a klímaváltozás és a változó gazdálkodási prioritások miatt (mint például a hozam maximalizálása helyett az alkalmazkodóképesség növelése) fokozatosan elegyes állományokká alakulnak át. Az elegyesség igen kedvező adaptációs szempontból, azonban ha a nagy fatermőképességű és szénmegkötésű fajok keverednek olyan fajokkal, amelyek kevésbé produktívak a szén megkötése szempontjából, akkor a szénmegkötési potenciál EU-szinten jelentős mértékben csökkenhet (Shanin et al. 2014).

A klímaváltozás bizonyos tényezők révén – például a szén-dioxid-trágyázás hatására – gyorsíthatja az erdők növekedését. Ugyanakkor a fokozott légzés, a magasabb mortalitás és a gyakoribb természetes bolygatások felgyorsítják a szén körforgalmát, ezáltal lerövidítve azt az időszakot, amíg a megkötött szén-dioxid az atmoszférán kívül marad (Brienen et al. 2020). A növekvő szervesanyag-termelés növeli a szén beépülését az erdőtalajba, ám a melegedő éghajlat a talajlégzést is erősíti, ami ezzel ellentétes irányú folyamat. Modelllezési eredmények szerint a fokozódó természetes bolygatások és a gyorsabb növekedés szorosan összefüggenek, és a gyarapodó biotikus és abiotikus károk számottevően mérsékelhetik a növekedést, illetve súlyos veszteségekhez vezethetnek (Reyer et al. 2017).



39. ÁBRA

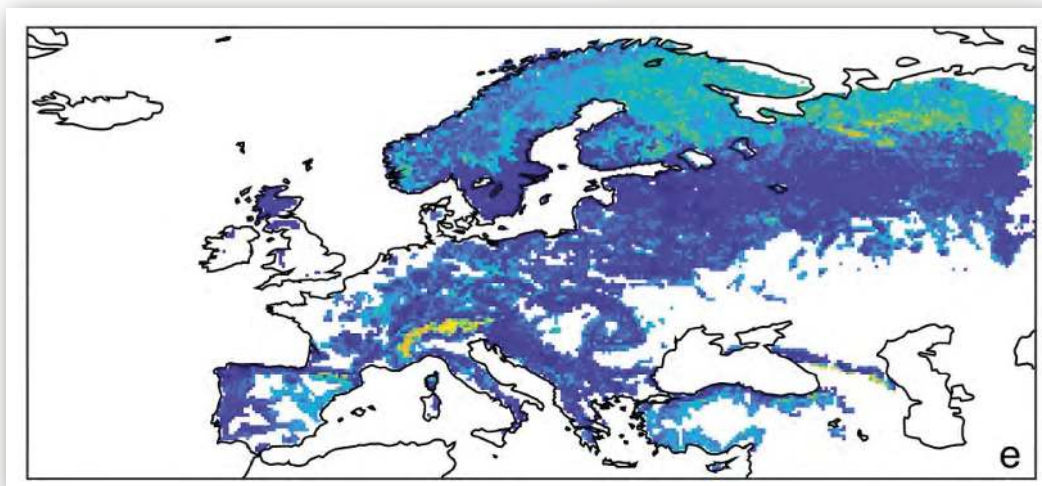
Az európai erdők erdőtüzekkel szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján.

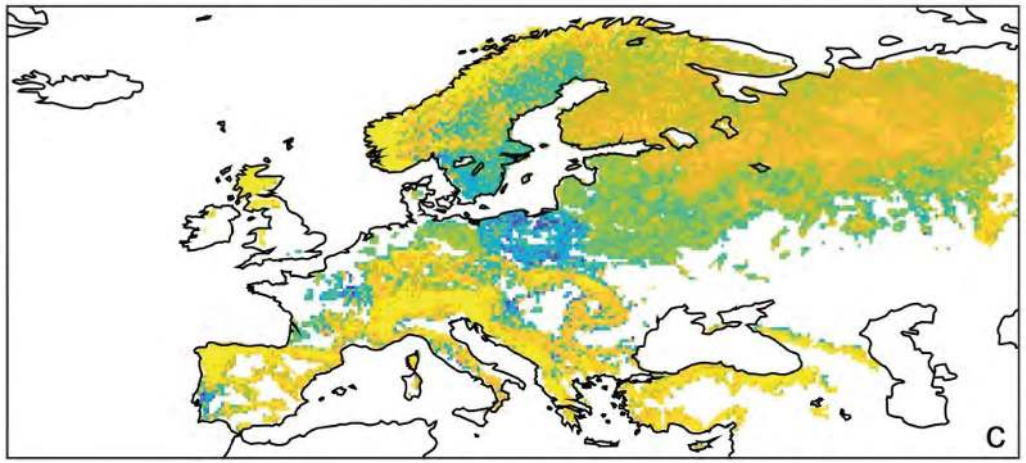
A sérülékenységet a potenciális relatív biomasszaveszteség (%) fejezi ki. Azokat a területeket, ahol nincs erdőborítottság fehér szín jelöli. (Forrás: Verkerk et al. (2022))

Az európai erdők rovarkárokkal szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján.

A sérülékenységet a potenciális relatív biomassza-veszteség (%) fejezi ki. Azokat a területeket, ahol nincs erdőborítottság fehér szín jelöli. (Forrás: Verkerk et al. 2022)

40. ÁBRA





Az európai erdőkárak átfogó vizsgálata szerint a természetes bolygatások gyakorisága nőtt (Senf és Seidl 2021), a lombvesztés mértéke megkétszereződött (Senf et al. 2018), és összességében az európai erdők sérülékenysége a klímaváltozás okozta zavarásokkal, különösen a viharkárokkal, erdőtüzekkel és rovarkárokkal szemben igen magas (Forzieri et al. 2021, 39. ábra, 40. ábra, 41. ábra). Az erdők szerkezetében, az erdőgazdálkodásban és a klímában bekövetkező változások a fő mozgatórugói ezeknek a folyamatoknak (Seidl et al. 2011, Sommerfeld et al. 2018), és ezek a tendenciák valószínűleg tovább erősödnek, különösen akkor, ha a felmelegedést szárazodás kíséri, illetve hogyha az egyes zavaró tényezők kölcsönhatásba lépnek egymással. Példa erre, hogy a szárazabb körülmények sérülékenyebbé teszik a lucosokat a szúkákkal szemben, ugyanakkor megkönnyítik az erdőtüzek kialakulását is (Seidl et al. 2017).

A nagyléptékű természetes bolygatások hatalmas károkat okozhatnak, és váratlanul nagy mennyiségű faanyag megjelenését eredményezhetik a piacon, ami mind rövidebb, mind hosszabb távon is megzavarhatja a helyi fapiac működését. 1950 és 2000 között évente átlagosan 35 millió m³ fa (a teljes éves EU fakitermelés körülbelül 8%-a) származott egészségügyi fakitermelésből, elsősorban szélöntések és szúkárok következtében (Camia et al. 2021). Az egészségügyi fakitermelés változó minőségű faanyagot eredményez, amely rövid időn belül nagy mennyiségben kerül a piacra. Ez csökkentheti a helyi vagy a regionális faárakat, sőt akár globális hatásokat is gyakorolhat, befolyásolva a nemzetközi kereskedelmet, az erdészeti szektort és a faipart.

41. ÁBRA

Az európai erdők szélöntésekkel szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján.

A sérülékenységet a potenciális relatív biomaszavesztés (%) fejezi ki. Azokat a területeket, ahol nincs erdőborítottság fehér szín jelöli. (Forrás: Verkerk et al. 2022)

6.6 AZ ALKALMAZKODÁS ELKERÜLHETETLEN

Mivel a klímaváltozás már most is jelentős hatással van az európai erdőkre, a mitigáció elképzelhetetlen adaptáció nélkül. Az Európai Alkalmazkodási Stratégia (EC 2021a) az alkalmazkodás integráltabb és szisztematikusabb megközelítését szorgalmazza annak érdekében, hogy a földhasználattal kapcsolatos döntéshozatal során a biológiai sokféleséggel, a vízzel, a talajjal és a természeti erőforrásokkal kapcsolatos megfontolásokat, valamint a gazdasági tényezőket együttesen vegyék figyelembe.

Az EFI-jelentése kiemeli, hogy az erdészeti szektor csak akkor lesz képes megfelelő válaszokat adni a klímaváltozás kihívásaira és enyhíteni annak hatásait, hogyha aktívan beavatkozva olyan faállományokat hoz létre, melyek képesek megfelelően reagálni a változó körülményekre. Az erdőgazdálkodás aktívan alakíthatja az erdők fajajösszetételét, előnyben részesítve azokat a fajokokat és származásokat, amelyek ellenállóvá teszik az erdőt a változásokkal szemben. Emellett elősegítheti a fajok elterjedési területeinek változásait olyan fajok telepítésével vagy természetes felújításával, amelyekről bebizonyosodott, hogy jobban tűrik a változó helyi körülményeket. Ez azért fontos, mivel a prognosztizált erőteljesebb felmelegedési forgatókönyvek szerint a változások valószínűleg túl szélsőségesek és gyorsak lesznek ahhoz, hogy a fajok természetes vándorlás útján birkózzanak meg velük.

Ha a klímaváltozás mérséklése a fő célunk, akkor különböző területeken más-más mitigációs intézkedéseket részesíthetünk előnyben, ezért fontos, hogy mindig a mitigációs intézkedéseknek legjobban megfelelő adaptációs stratégiát válasszuk. Amennyiben a mitigációs intézkedéseink az adott erdei ökoszisztémák szénkészleteinek maximalizálására (védelmére, helyreállítására) irányulnak, úgy az adaptációs stratégiánk részeként zárt lombkoronaszintet tarthatunk fenn, hogy elkerüljük a magasabb hőmérsékletet az állományban, valamint a felületi egyenetlenségek csökkentésével ellenállóbbá tegyük az állományt a szél által okozott károkkal szemben. Ugyanakkor, ha a célunk a fahasználattal történő aktív gazdálkodás, akkor megfelelő gyéritésekkel csökkenthetjük a fák közötti versenyt, így is növelve a hozamokat.

Kiterjedtségüktől és súlyosságuktól függően az olyan zavarások, mint a tüzek, széldöntések és rovarkárok heterogén tájat és nyiladékokat hozhatnak létre. Amikor a gazdálkodók aktívan figyelembe veszik a természetes bolygatásokat az erdőtervezés során, akkor ezzel az erdő megújulását is elősegítik, amely kulcsfontosságú ahhoz, hogy az erdők sikeresen alkalmazkodhassanak a jövő környezeti kihívásaihoz, miközben fenntartják aktív növekedésüket is.

Fontos szinergiák is fennállnak a mitigációs és az alkalmazkodási célok között az erdőszerkezet tekintetében. Az erdőgazdálkodás jellemzően leegyszerűsítette az erdők szerkezetét azáltal, hogy csak néhány fajra összpontosított. A fajajgazdagság és az erdők alkalmazkodóképessége azonban pozitív kapcsolatban áll egymással (Liang et al. 2016), ami mind az adaptáció, mind a mitigáció szempontjából fontos. Emellett az elegyes erdőszerkezet növeli az erdők ellenállóképességét a tűz, a szél és a biotikus kártevők fenyegetéseivel szemben (Jactel et al. 2009, Jactel et al. 2017, Astrup et al. 2018), miközben csökkenti az ezekkel a káreseményekkel kapcsolatos kibocsátásokat is, amikor azok bekövetkeznek. A boreális erdőkben például a lucfenyő és az erdefenyő vegyes állományai produktívabbak és több szenet kötnek meg, mint az elegyetlen állományok, mivel hatékonyabban, egymást kiegészítő módon használják fel az erőforrásokat (Shanin et al. 2014). Ezek az erdők ráadásul a természetes bolygatásokkal szemben is ellenállóbbak.

6.7 A SZÉNMEGKÖTŐ GAZDÁLKODÁS KIEMELT SZEREPE A MITIGÁCIÓS CÉLOK ELÉRÉSÉBEN

Az Európai Tanács és Parlament 2024. november 27-én fogadta el a szén-dioxid-eltávolításra és a szénmegkötő gazdálkodásra vonatkozó (*Carbon Removal and Carbon Farming*, azaz CRCF) rendelet végleges szövegét. Ezzel egy új, EU-szintű, önkéntes, de ugyanakkor szigorúan szabályozott karbonpiacot hozott létre. Az EU Bizottság jelenleg dolgozik a szén-dioxid-megkötés tanúsítására és számszerűsítésére vonatkozó részletes szabályrendszer és módszertani útmutatók kidolgozásán, melyeket delegált jogi aktusok formájában ad majd közre. A CRCF-rendelet szabályainak részletes ismertetésével könyvünk későbbi fejezeteiben foglalkozunk.

Az új önkéntes karbonpiaci keretrendszer ígéretes eszköznek tűnik a szénmegkötő gazdálkodás (Carbon Farming) előmozdítására az erdészeti és agrárerdészeti szektorokban is. Az ambiciózus uniós kibocsátás-csökkentési célok elérése érdekében az erdőgazdálkodókat és a mezőgazdasági termelőket szólítja meg, hogy aktívabb szerepet vállaljanak a szén-dioxid-megkötések növelésében és a kibocsátások csökkentésében (Savaresi és Perugini 2021). A tervezett intézkedések célja, hogy ösztönözze a gazdálkodókat arra, hogy a talajban és a növényekben tárolják a szenet, miközben csökkentik a mezőgazdasági tevékenységekhez kapcsolódó kibocsátásokat is. A CRCF-keretrendszer magában foglal egy gazdálkodói szintű nyomkövetési, jelentéstételi és hitelesítési rendszert is a szénmegkötés igazolására, a szénmegkötés állandóságnak biztosítására és a biológiai sokféleségre gyakorolt járulékos előnyök meghatározására. Az Európai Bizottság a megbízható tanúsítási rendszer létrehozását tekinti az EU-szintű piaci alapú szénmegkötési megoldás előfeltételének. A tervezett szénmegkötési piac várhatóan 2030 után lehet majd teljes mértékben működőképes.

Fontos azonban, hogy a szén-dioxid árazása a mitigáció mellett az alkalmazkodást is elősegítse – hangsúlyozza az EFI-jelentése. Ugyanis a szén-dioxid-megkötés anyagi ellentételezése arra ösztönözheti az erdőgazdálkodókat, hogy ne végezzenek fakitermelési tevékenységet (előhasználatot és véghasználatot), ami késleltetheti az erdők aktív átalakítását ellenállóbb fafajú és -szerkezetű erdőállományokká, ezzel növelve a természetes bolygatások kockázatát és negatívan befolyásolva a széntárolás tartósságát. A szén-dioxid-árazási rendszereket úgy kell tehát kialakítani, hogy elősegítsék az aktív gazdálkodást és ösztönözzék a produktív és alkalmazkodóképes fafajú és származású szaporítóanyag alkalmazását.

Az önkéntes karbonpiaci megoldások és a magánszektorból származó finanszírozás bevonása a szénmegkötő gazdálkodás fejlesztésébe kulcsfontosságú mind a klímamitigáció, mind pedig az erdőalapú szektor jövője szempontjából, ezért ezzel könyvünk 13. és 14. fejezetében részletesen is foglalkozunk. Azonban itt is megjegyezzük, hogy a monitoring, a jelentéstétel és az ellenőrzés központi elemei az önkéntes piaci alapú szénmegkötési projektek megvalósításának. Az ilyen projektek esetében bizonyítani szükséges, hogy a meghozott intézkedések megnövekedett szénmegkötést és ténylegesen tartós széntárolást eredményeztek. Ahhoz, hogy egy szénmegkötési projekt tanúsítványt szerezzen, részletesen be kell mutatnia a kibocsátás-csökkentés vagy a szénmegkötés becsüléséhez használt módszertant, illetve e módszertannak meg kell felelnie a tanúsítási rendszer által meghatározott szabványoknak. Emellett világos, átlátható és megbízható információkat kell nyújtani az értékelés folyamatáról és annak eredményeiről is. Ahhoz, hogy szénmegkötési kreditek keletkezzenek egy projekt során, az eredményeknek mérhetőnek, hosszú távúnak és független szervezet által tanúsítottaknak kell lenniük. Tehát az ellenőrzést, nyomkövetést és a jelentéstételt olyan tanúsító intézményeknek kell felügyelnie, amelyek a tanúsított féltől függetlenül, befolyás-

mentesen működnek. Sok olyan szabvány létezik, amelyek alkalmasak szénmegkötési projektek tanúsítására, ezekről pl. Cevallos és társai (2019) adnak áttekintést. A tanúsítási rendszerek közül a Verified Carbon Standard az, amit eddig a leggyakrabban alkalmaztak önkéntes piacokon (Hamrick és Goldstein 2016).

A fatermékekben történő széntárolás tanúsítása is fontos terület, hiszen e termékek a termék-helyettesítési hatások révén potenciálisan hozzájárulhatnak a kibocsátások csökkentéséhez is. Azonban a fatermékekkel kapcsolatos projektekből jelentős módszertani kihívások merülnek fel az erdészeti és agrárerdészeti projektekhez képest. Például ilyen annak meghatározása, hogy ki a fatermékekben tárolt szén tulajdonosa, ugyanis ezek a termékek a piacon többször is gazdát cserélhetnek. Emellett a termék-helyettesítéshez kapcsolódó kibocsátás-csökkentések nagyságrendje is sokkal bizonytalanabb, azok becslésére egyelőre nincs egységesen kialakított, mindenki által elfogadott módszertan. A CRCF-rendelet jelenleg csak a hosszú távra, az épületekbe beépített fatermékek tanúsítását teszi lehetővé. Ez rámutat arra, milyen fontos a fatermékek szénáramainak további vizsgálata, illetve a termék-helyettesítési hatások elszámolására vonatkozó módszertanok egységesítése.

Az Európai Bizottság a fenntartható szén-ciklusról kiadott közleményében (EC 2021b) vázolja azokat az intézkedéseket, amelyek a szénmegkötő gazdálkodás kialakításához és fejlesztéséhez szükségesek, hogy az a gazdálkodókat a szén-dioxid-megkötésért és a biológiai sokféleség védelméért jutalmazó rendszerként működhessen. Az ehhez szükséges pénzügyi ösztönzők állami vagy magánforrásokból (például önkéntes piaci alapon) származhatnak.

Rövid távon a szénmegkötési intézkedések EU-szintű végrehajtásának fontos finanszírozási eszköze az új Közös Agrárpolitika (KAP). Az új KAP célja a fenntartható mezőgazdaság és vidékfejlesztés támogatása, valamint többek között a klímaváltozás mérséklésére és a környezetvédelemre irányuló intézkedések előmozdítása az erdészeti ágazatban is. Az új KAP költségvetésének legalább 40%-át várhatóan a klímacélok elérésével kapcsolatos intézkedések támogatására kell majd fordítani. A tagállamokat kifejezetten arra ösztönzi az EU, hogy hozzanak létre kifizetési rendszereket az ökoszisztéma-szolgáltatások ellentételezésére az erdőgazdálkodók számára, és ily módon gyorsítsák fel a szénmegkötő gazdálkodási gyakorlatok elterjedését.

A szénmegkötő gazdálkodást a „termőföldtől az asztalig” (Farm to Fork) stratégia (EC 2020b) is támogatja, amelynek célja egy fenntartható élelmiszer-ellátási rendszer kiépítése egy új üzleti modellen keresztül, amely addicionális bevételi forrást biztosít a gazdálkodóknak, és segíti az élelmiszerlánc dekarbonizációját. A „termőföldtől az asztalig” stratégia célja a mezőgazdaságon és az erdőgazdálkodáson belül a klímapositív cselekvési irányok erősítése, amiket pénzügyi ösztönzőkkel támogat. Az erdőgazdálkodás vonatkozásában a leginkább ösztönzött intézkedések közé az erdőtelepítés, a leromlott erdők helyreállítása és az erdőgazdálkodás fejlesztése tartoznak. A biomassza-alapú, hosszú élettartamú termékek előállítása is támogatott irány, mely lehetővé teszi a magasabb emisszióval járó nem faalapú termékek helyettesítését. A szénmegkötő gazdálkodás az EU erdészeti stratégiájában és az EU alkalmazkodási stratégiájában is szerepel, mint új eszköz a mezőgazdaságban és az erdészeti ágazatban az adaptációs és mitigációs célkitűzések együttes elérésére.

6.8 A JÖVŐ KUTATÁSI CÉLTERÜLETEI EURÓPÁBAN

Az EU-szintű klímacélok és szakpolitikák jelenleg a 2030-tól 2050-ig tartó időszakra összpontosítanak, azonban az EFI-jelentése hangsúlyozza, hogy ezt a fókuszot mielőbb érdemes kiterjeszteni a 2050-en túli időszakra is. Még ha el is tudjuk érni a kitűzött klímacélokat, a klímaváltozás folytatódni fog 2050 után is. A szakpolitikai döntések támogatására olyan hosszú távú, regionális és nemzeti szintű előrejelzésekre van szükség, amelyek figyelembe veszik a klíma és az erdőállományok közötti összetett kölcsönhatásokat, beleértve a természetes bolygatásokat, a biofizikai hatásokat, a fa ipari, illetve energetikai felhasználását, valamint a kapcsolódó egyéb kibocsátó ágazatokat. Az erdőalapú mitigációs intézkedések egymásra hatásának figyelembevétele elengedhetetlen. Az intézkedések között fellépő szinergiák és ellenhatások nagyban befolyásolhatják a sikerességet és az elért mitigáció mértékét. Az erdőgazdálkodás és a faipar területén meghozott intézkedések emellett hatnak a többi emissziós ágazatra, például a mezőgazdaságra vagy az energiaszektorra is. És ugyanígy a többi ágazat emissziócsökkentő tevékenységei is hatással lehetnek az erdészeti és faipari ágazatra. Az EFI-jelentése rámutat arra, hogy azok az európai szintű és nemzeti tanulmányok, amelyeknek adatait feldolgozta, általában az ilyen ágazatokon átívelő hatásokat nem vették figyelembe, így ez a terület további kutatást igényel.

Az erdők klímaváltozást mérséklő szerepének erősítése érdekében kulcsfontosságú, hogy a szakpolitikai és a gazdálkodási stratégiák a mitigáció és az adaptáció lehetőségeit egyszerre vizsgálják. Mivel a klíma változása az erdők szinte minden tulajdonságára hatással van, így a mitigációs képességüket is jelentősen befolyásolja. Annak érdekében, hogy az erdeink a jövőben is megfelelő szénmegkötési és széntárolási potenciállal bírjanak, emberi beavatkozásokra és alkalmazkodó gazdálkodásra van szükség. A beavatkozások optimális módjának meghatározása tehát szintén fontos kutatási terület.

Az EU körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési tervének alappillére a szénmegkötő gazdálkodás (Carbon Farming) koncepció, melynek a jövőben az erdészeti szektorban is jelentős szerepet szánunk. Ennek ellenére a szénmegkötés és széntárolás megbízható modellezése és tanúsítása is kihívást jelent. Fontos fejlesztési irány az erdőgazdálkodás és az agrárerdészet vonatkozásában az egyes gazdaságok szintjére lebontott szénmegkötési modellek kidolgozása, szabványosítása, egyetemesen elfogadott tanúsítási rendszerek kialakítása. Ennél is kevésbé feltárt terület a fatermékek és a talaj széntárolása, valamint az erdősávok, fasorok, facsoportok, egyesfák szénmegkötéseire vonatkozó számítási módok, szabványok és tanúsítási rendszerek kidolgozása, mely szintén további átfogó kutatást igényel.

Az EFI által áttekintett európai szakirodalom a fatermékek széntárolási potenciálja és a termék-helyettesítési hatások tekintetében mutatott a legnagyobb szórást, ráadásul a fatermékek mitigációs képességére vonatkozóan kevés forrás állt rendelkezésre. Az erdészeti és faipari szektoron belül a fatermékekhez kapcsolódó mitigációs intézkedésekben rejlő lehetőségek mértéke a legkevésbé feltérképezett, mitigációs potenciáljuk számszerűsítése igen nagy bizonytalansággal terhelt.

A termék-helyettesítés emissziócsökkentő hatásainak értékelése különösen nehéz, hiszen a helyettesítés termékszinten történik, ezért a lehetséges helyettesítések száma óriási, ami másodlagos adatforrások használatához és egyszerűsítésekhez vezet a piaci szintű helyettesítési hatások becslése során (Howard et al. 2021). A legtöbb esetben egyszerűen nem lehet tudni, hogy melyik fatermékkel pontosan mely nem faalapú termékeket lehet helyettesíteni, hol és mikor, milyen mértékben, és mindez pontosan milyen következményekkel járhat. Életciklus-elemzésekben használatos adatok és

piaci adatok csak a legelterjedtebb termékcsoportok némelyikére állnak rendelkezésre, ráadásul ezek az értékek is valószínűsíthetően idővel változni fognak, ami különösen megnehezíti a helyettesítési hatások értékelését és a jövőre vonatkozó előrejelzését.

A fent említett hiányosságok és fejlesztési területek kijelölik a jövő legfontosabb mitigációval kapcsolatos kutatási irányait is. A mitigációs intézkedések tervezése és végrehajtása során emellett nagyon fontos a regionális és a nemzeti szint vizsgálata, a helyi összefüggések és hatások figyelembevétele, ugyanis általános, minden ország által egyforma hatékonysággal alkalmazható megoldások nem léteznek. Ezért fontos az egyes országok szintjén feltérképezni a lehetséges intézkedéseket, a közöttük fellépő szinergiákat és konfliktusokat, valamint az ágazatközi hatásokat is.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

6. fejezet: Erdőalapú klímamitigáció Európában

Az európai klímapolitika egyre nagyobb hangsúlyt fektet a földhasználati és erdészeti ágazat szénmérlegének javítására. A szénmegkötési célok teljesítésében kiemelt szerep jut az erdőknek és a faiparnak. A jelenlegi trendek azonban aggodalomra adnak okot: az európai erdők szénmegkötő képessége csökken, elsősorban az erdők elöregedése és a csökkenő növedék miatt. Ennek következményei veszélyeztetik a mitigációs célok elérését.

A megoldás részeként több országban erdőtelepítéssel, fafajcserével és intenzívebb erdőgazdálkodással próbálják növelni a szénmegkötést, míg a faipar fejlesztése révén a termék helyettesítés és energiahelyettesítés lehetőségeit is kiaknázzák.

Az intézkedések összehangolása kritikus: számos esetben a biodiverzitás-védelem, a faanyag-termelés és a klímavédelmi célok konfliktusba kerülhetnek egymással. Ennek kezeléséhez ágazatközi együttműködés és jól célzott szakpolitikai beavatkozások szükségesek.

A klímaváltozás hatásainak fokozódása miatt elkerülhetlenné válik az alkalmazkodás is: a fajválasztás, az erdőszerkezet megfelelő kialakítása és az erdőkezelési módszerek átgondolása, valamint a károk mérséklésére szolgáló stratégiai előrelátás kulcsfontosságúvá vált.

Összességében elmondható, hogy a siker záloga a szénmegkötő gazdálkodási formák elterjesztése, a hosszú élettartamú fatermékek arányának növelése, valamint az ezeket támogató kutatási és finanszírozási eszközrendszer megerősítése Európa-szerte.



FAIPARI INNOVÁCIÓ

A szénmegkötő gazdálkodási formák elterjesztése, a hosszú élettartamú fatermékek arányának növelése, valamint az ezeket támogató kutatási és finanszírozási eszközrendszer megerősítése szükséges a klímavédelem sikeréhez.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





**AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ERDŐKRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK
MÉGISMERÉSE ÉS AZ ARRA ADANDÓ VÁLASZOK KIDOLGOZÁSA
AZ ERDÉSZET LEGSÜRGETŐBB KIHÍVÁSA**

A klímaváltozás erdőket érintő hatásának lényege a változás erdők szempontjából követheetlen sebessége. Az ember nélküli erdő, a magára hagyott erdő, a gazdálkodás nélküli erdő nem oldja meg a problémákat. A változás irányával és sebességével arányos beavatkozásokra van szükség ahhoz, hogy az erdők hosszú távon szolgálják az embereket és hozzájáruljanak a klímavédelemhez.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



DIVERZIFIKÁCIÓ

Fő állományalkotó fajokat veszélyeztető klímahatásnál, jelentős öngyérülés esetén, szárazságtűrőbb őshonos fajok ültetésével, klímavédelmi célú szerkezetátalakítással, változatosabb állományszerkezet kialakításával lehet növelni az alkalmazkodóképességet.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

7.

**A HAZAI ERDÉSZETI
ÉS FAIPARI SZÉKTOR
JELENLEGI SZÉNMEŔLEGE
ÉS KLÍMAMITIGÁCIÓS
SZEREPE**

7.1 A HAZAI ERDŐK ÁTLAGKORÁNAK ALAKULÁSA

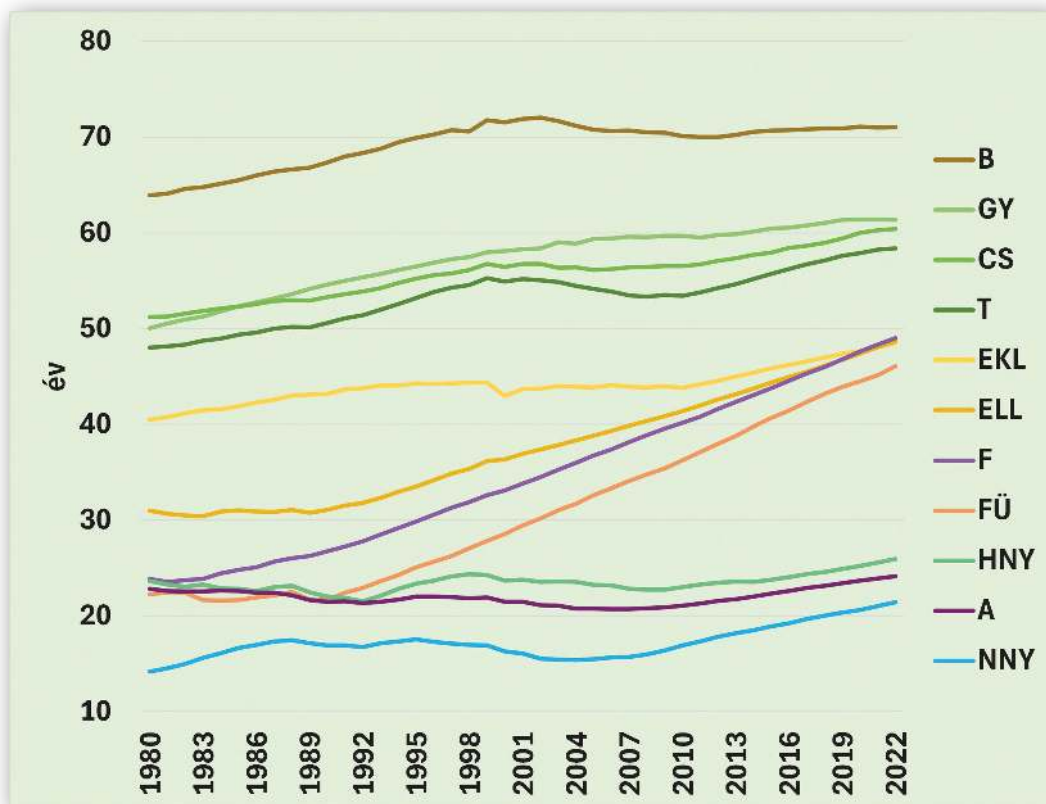
KOROSUO

és munkatársai (2023) az erdőállomány folyamatos és jelentős előregedését teszik felelőssé az európai erdők szénmegkötésének kedvezőtlen, csökkenő tendenciája miatt. Ahogyan azt könyvünk előző fejezetében már bemutattuk, az EU erdeinek szénmegkötése a klímacélokkal ellentétes pályára állt, és a Carbon Budget Model előrejelzése szerint ez a tendencia folytatódni fog, ami nagy mértékben megnehezíti a 2030-as LULUCF-célérték elérését. Az ok, hogy az erdők korosbodásával a folyónövedék csökkenni kezd, így az átlagkor ütemes emelkedése a folyónövedék, és ezáltal a szénmegkötés egyre fokozottabb csökkenését eredményezi.



42. ÁBRA

A hazai erdők átlagkorának alakulása az 1980–2022 időszakban az OEA adatai alapján.



43. ÁBRA

A hazai erdők átlagkorának alakulása fafajcsoportonként az 1980–2022 időszakban az OEA adatai alapján.

Vajon erdeink előregedésének fent említett folyamata megfigyelhető hazánkban is? Kottek és munkatársai (2023) legtöbb fafajunk esetében egyre növekvő vágáskort mutattak ki az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) adatai alapján. A hazai erdők átlagkorának alakulását az 1980–2022 időszakban a 43. ábra mutatja be. Míg a 44. ábra ugyanezt a folyamatot szemlélteti fafajcsoportonként.

Az ábrák alapján megállapíthatjuk, hogy az átlagkor folyamatos és drasztikus emelkedése akárcsak az európai erdőkben, hazánkban is jellemző tendencia. Erdeink átlagkora az 1980 óta eltelt idő alatt megközelítőleg 10 évvel emelkedett, és jelenleg megközelíti a 45 évet. A fafajcsoportonként elvégzett vizsgálat alapján elmondhatjuk, hogy az átlagkor emelkedése különösen szembeötlő a fenyő, egyéb lágylomb, illetve a fűz fafajcsoportok esetében.

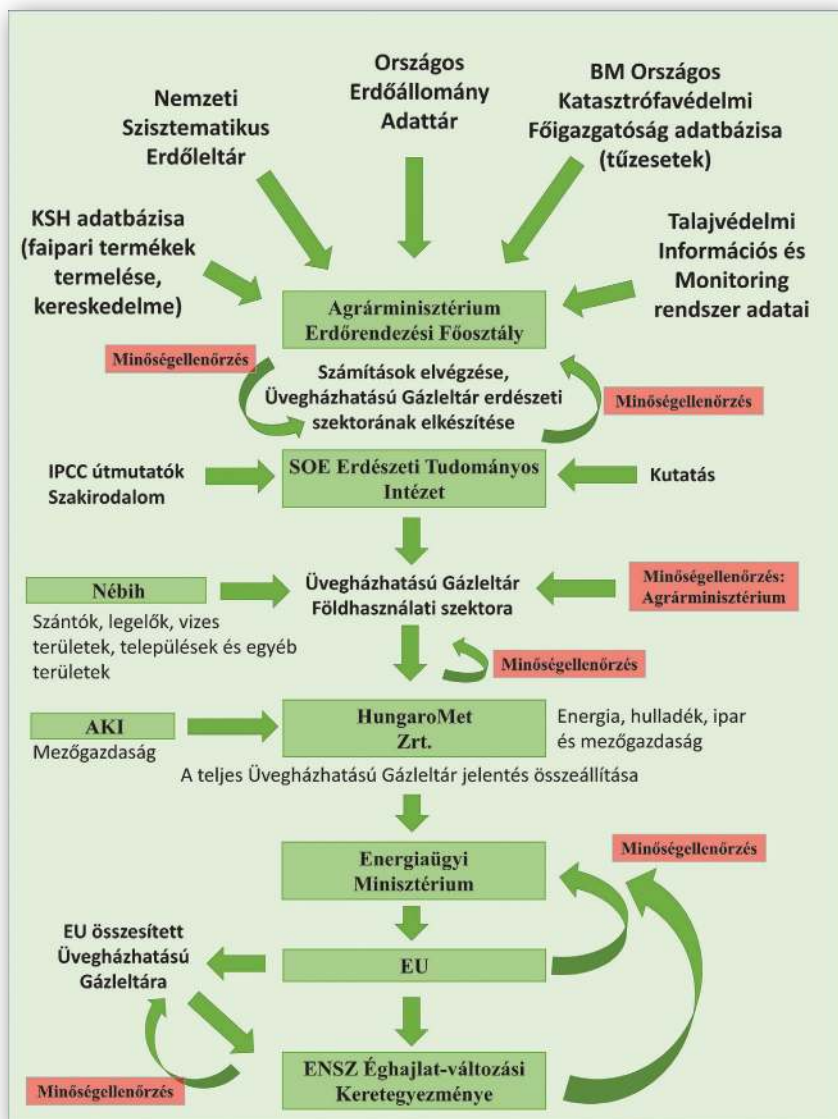
Erdőállomány-prognózismodellezés segítségével vizsgálható az, hogy ez a megfigyelt trend mi-képpen befolyásolhatja a jövőben erdeink szénmegkötését. Könyvünk 10. fejezetében közöljük az erre vonatkozó részletes elemzésünket.

7.2 A HAZAI ERDŐK ÜVEGHÁZHATÁSÚGÁZ-LELTÁRA

A klímaváltozás mérséklése szempontjából elengedhetetlen az emissziók csökkentése és a szén-dioxid-megkötés növelése. Ennek hatékony kivitelezéséhez, a legmegfelelőbb döntések meghozatalához pedig fontos ismerni a jelenlegi és múltbeli szén-dioxid-kibocsátások és -megkötések alakulását hazánk minden kibocsátási szektorában. Ebben a tekintetben az egyik legalapvetőbb forrás az üvegházhatásúgáz-leltárjelentés (NIR 2022), melyet hazánk évente nyújt be az EU és az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) részére. A jelentés az IPCC aktuális útmutatóinak előírásai szerinti, tudományos igényességű számítások, modellek és becslések segítségével számszerűsíti Magyarország teljes emissziós és szénmegkötési helyzetét. Az energetikai szektortól kezdve az iparon és hulladékszektoron keresztül a mezőgazdasági és a földhasználati ágazatokig minden szektorban megvizsgálja és részletesen elemzi a mechanizmusokat, a kibocsátások, illetve megkötések trendjét és mértékét. Az erdők szénegyenlegét vizsgáló fejezet a földhasználati szektor legfontosabb alfejezete. Az üvegházhatásúgáz-leltár erdészeti részét a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete az Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztályával és számos más intézménnyel együttműködésben készíti (44. ábra).

A jelentés erdészeti részének legfontosabb adatforrása az Országos Erdőállomány Adattár (OEA), de emellett számos más adatbázisból (pl. Nemzeti Szisztematikus Erdőleltár, KSH, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, TIM) is használ fel adatokat. A jelentés szigorú minőségbiztosítási követelményeknek kell, hogy megfeleljen és ellenőrzések egész során esik át, melyek közül a legfontosabb az évenkénti EU- és ENSZ-ellenőrzés.

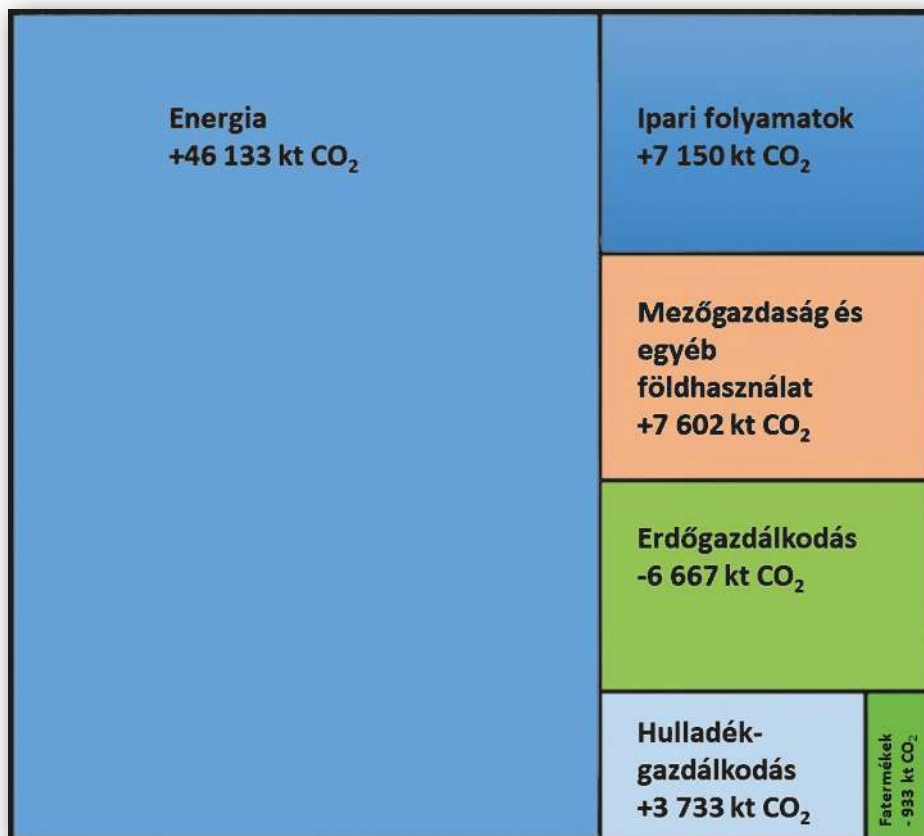
A Kiotói Jegyzőkönyv (az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény kiegészítő jegyzőkönyve, mely a kibocsátás-csökkentési vállalásokat tartalmazta) hatálya alatt hazánk 2022-ben adta le az utolsó jelentést. 2023-tól a Párizsi Egyezmény hatálya alatt folytatódik tovább az emissziók nyomonkövetése és a jelentéstétel. Az EU kibocsátás-csökkentési céljainak elérése a közös cél, melyért a tagállamok együttesen cselekednek.



44. ÁBRA

Az üvegházhatásúgáz-leltárjelentés elkészítésének folyamata.

(Forrás: Kozma-Bognár Veronika és Somogyi Zoltán nyomán átdolgozva)



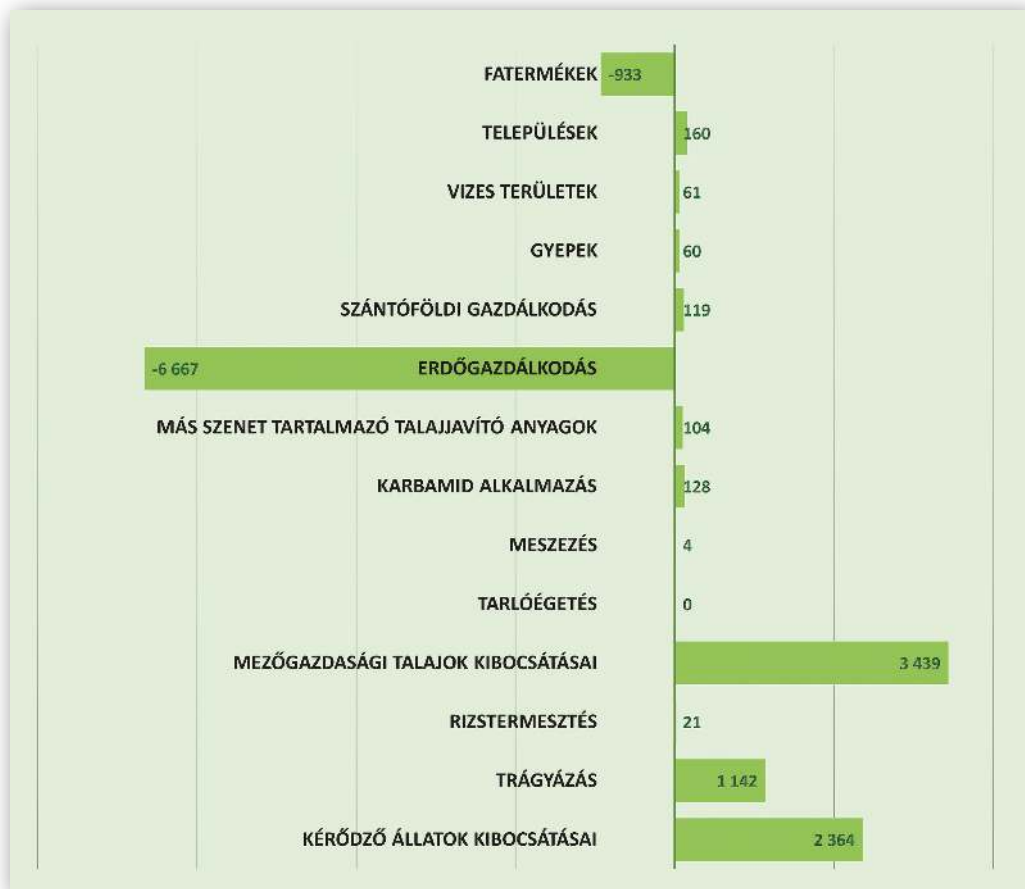
45. ÁBRA

Hazánk szén-dioxid-egyenértékben kifejezett üvegházgáz-kibocsátásainak és -megkötéseinek nagyságrendjei szektoronként a 2021-es évben.

A negatív értékek CO₂-megkötések, a pozitív értékek kibocsátások. (Az adatok forrása a hazai üvegházhatásúgáz-leltárjelentés, NIR 2023)

7.3 A MAGYAR ERDÉSZETI ÉS FAIPARI SEKTOR MITIGÁCIÓS HATÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE

Hazánk ÜHG-kibocsátásainak és szénmegkötéseinek nagyságrendjét a 45. ábra szemlélteti. Hazánk kibocsátásainak döntő része az energiaszektorból származik. Az ipari folyamatokból vagy a mezőgazdaságból származó emissziók nagyságrendje összemérhető az erdők és fatermékek szénmegkötésének nagyságrendjével. A 2035-ös cél, a mezőgazdasági, földhasználati és erdészeti

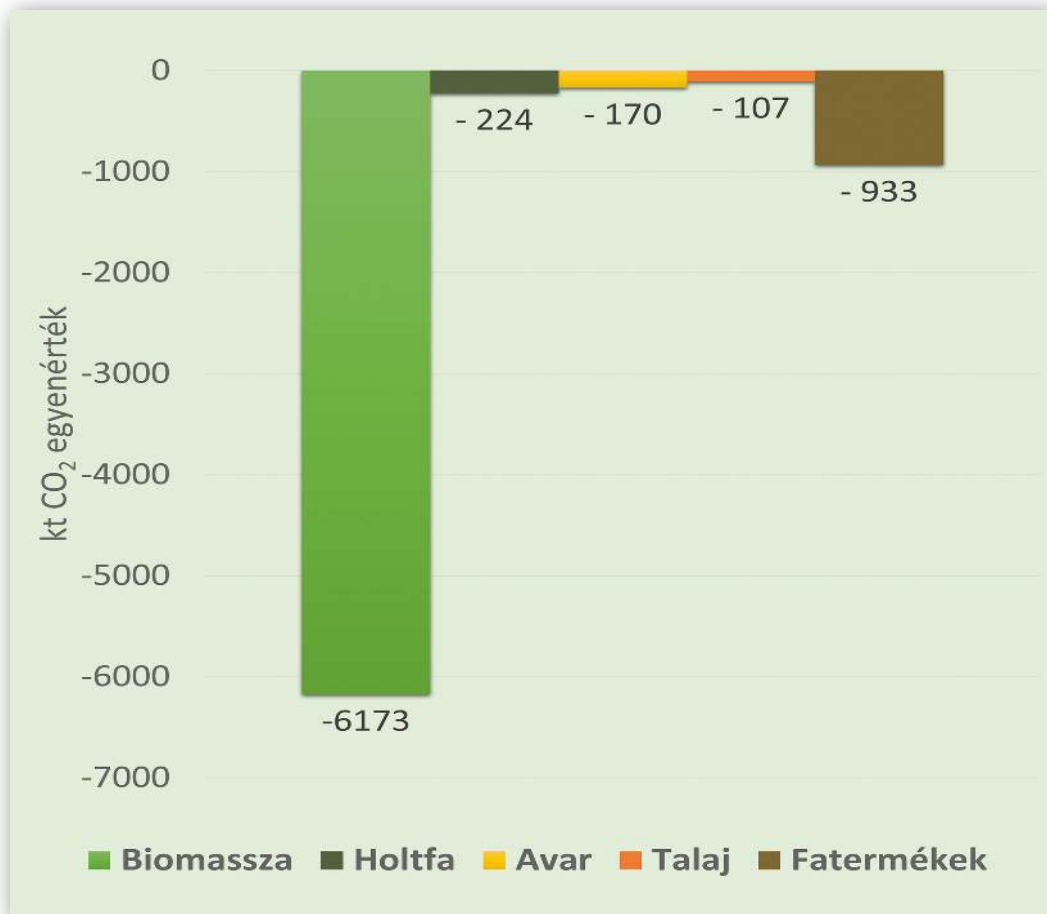


szektor (AFOLU-szektor) együttes klímasemlegessége nem tűnik elérhetetlennek. Bár azt is meg kell jegyezni, hogy az erdőgazdálkodásból származó szénmegkötéseknek csak az erdőkre vonatkozó referenciaszint feletti mennyisége számolható el kreditként. Azonban a mezőgazdasági növénytermesztési- és állattartási technológiák fejlesztésében is rejlik kibocsátás-csökkentési potenciál, hiszen az AFOLU-szektor kibocsátásai számos tevékenység hatásaiból tevődnek össze (46. ábra).

46. ÁBRA

A mezőgazdasági, földhasználati és erdészeti szektor (AFOLU-szektor) üvegházgáz-kibocsátásai és -megkötései a 2021-es évben szén-dioxid-egyenértékben kifejezve.

A negatív értékek CO₂-megkötések, a pozitív értékek kibocsátások. (Az adatok forrása a hazai üvegházhatásúgáz-leltárjelentés, NIR 2023)

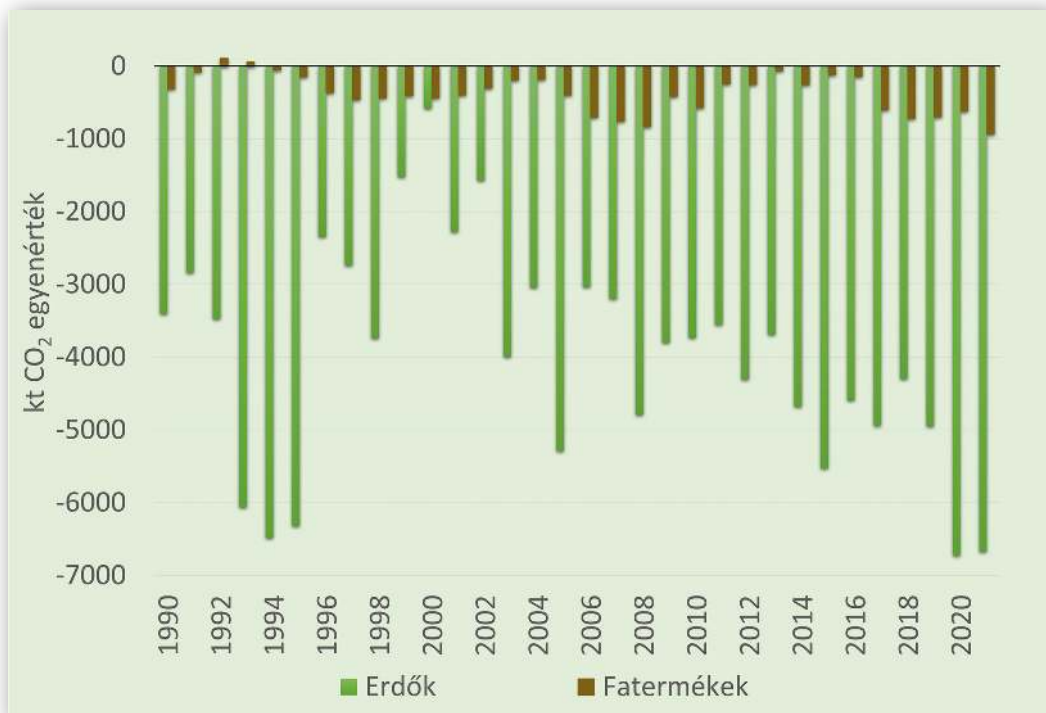


47. ÁBRA

A nettó szén-dioxid-megkötések alakulása a hazai erdőkben a 2021-es évben.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC konvencióknak megfelelően. (Az adatok forrása a hazai üvegházhatásúgáz-lettárjelentés, NIR 2023)

A teljes klímasemlegesség elérése 2050-ig hatalmas kihívás. A 45. ábra alapján láthatjuk, hogy az erdők szénmegkötései jelenleg az összes kibocsátások közelítőleg 10 százalékát ellensúlyozzák. Jelentős kibocsátás-csökkentés szükséges minden szektorban, az erdészeti és faipari ágazat mitigációs lehetőségeinek minél teljesebb kiaknázása mellett annak érdekében, hogy a klímasemlegesség megvalósítható legyen.



Az erdők esetében az élő biomasszában a legnagyobb a szén-dioxid-megkötés mértéke (47. ábra). Ugyanakkor a holtfa és az avar is jelentős széntárolóként működik, amelyek éves nettó szén-dioxid-egyenlege hazánkban negatív, vagyis jelenleg több szenet kötnek meg, mint amennyit kibocsátanak.

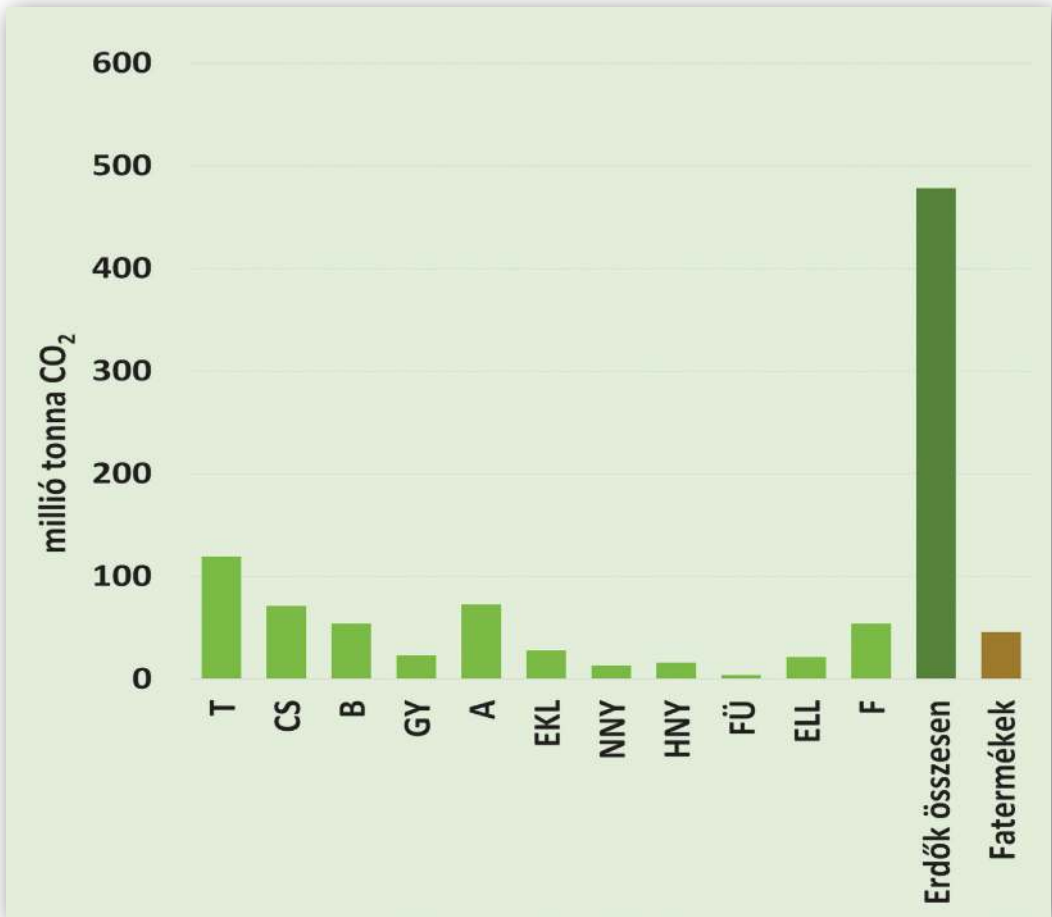
A talaj szénmegkötő és széntároló kapacitásának pontos nagyságrendje Magyarországon még nem teljeskörűen feltérképezett. Az üvegházhatásúgáz-leltárjelentés nem tartalmaz becslést a folyamatosan erdőgazdálkodás alatt álló területek talajának pontos szénkészlet-változását illetően. A talaj szénkészlet-változását csak a szerves talajok és a földhasználati konverziók esetén becsüljük meg számszerűen. Feltételezhető, hogy az erdőművelés módjának változása befolyásolhatja a talaj szénkészletét, így megfelelő kezelés esetén az erdőtalajok nagy mitigációs lehetőségeket biztosíthatnak, melyek pontos mérése, számszerűsítése fontos jövőbeli kutatási irány lehet.

A hazai erdészeti és faipari szektor nettó szénmegkötéseinek alakulását az 1990–2021 időszakban a 48. ábra szemlélteti.

48. ÁBRA

A nettó szén-dioxid-megkötések alakulása a hazai erdészeti és faipari szektorban az 1990–2021 időszakban.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC konvencióknak megfelelően. (Az adatok forrása a hazai üvegházhatásúgáz-leltárjelentés, NIR 2023)



49. ÁBRA

A hazai erdőkben tárolt szénmennyiség fajcsoportonként, illetve összesítve, valamint a fatermékek teljes szénkészlete 2021-ben.

(Az adatok forrása az Országos Erdő-állomány Adattár, valamint a hazai üveg-házhatóság-jelentés, NIR 2023)

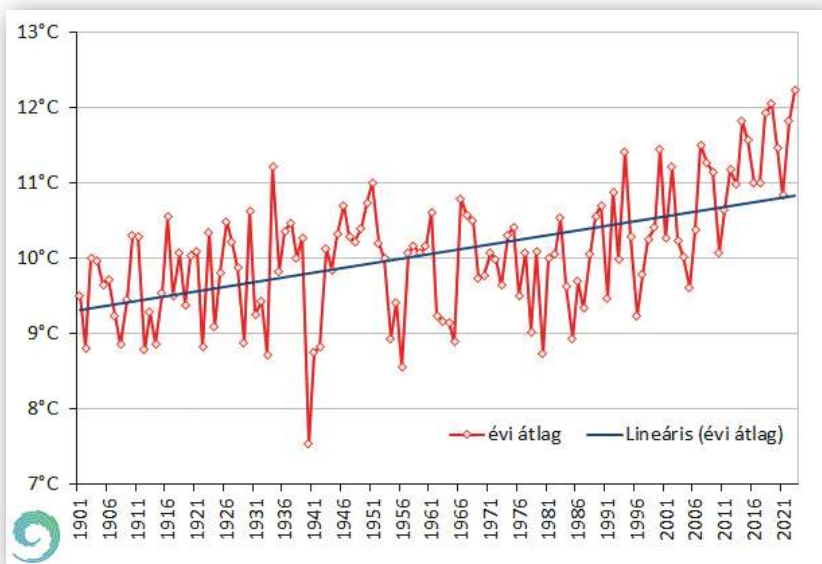
A 49. ábra pedig a hazai erdőkben és fatermékekben tárolt szén teljes mennyiségét mutatja tonna szén-dioxidban kifejezve.

A faipar klímatudatos fejlesztésében jelentős klímamitigációs lehetőségek rejlenek hazánkban. Annak érdekében, hogy a fatermékekben megkötött és tárolt szén mennyiségét hosszú távon is szinten tartsuk vagy növeljük, új, innovatív megoldások, technológiaváltás szükséges. A kaszkádrendszerű újrahasználat és újrahasznosítás jól szolgálja ezt a célt. Ezt a fejlesztési irányt körüljárva tartottak 2022 novemberében a német, francia, finn, lengyel és osztrák erdészeti és faipari fontos szereplői szemináriumot a jövő erdőiparának biogazdaság-építő

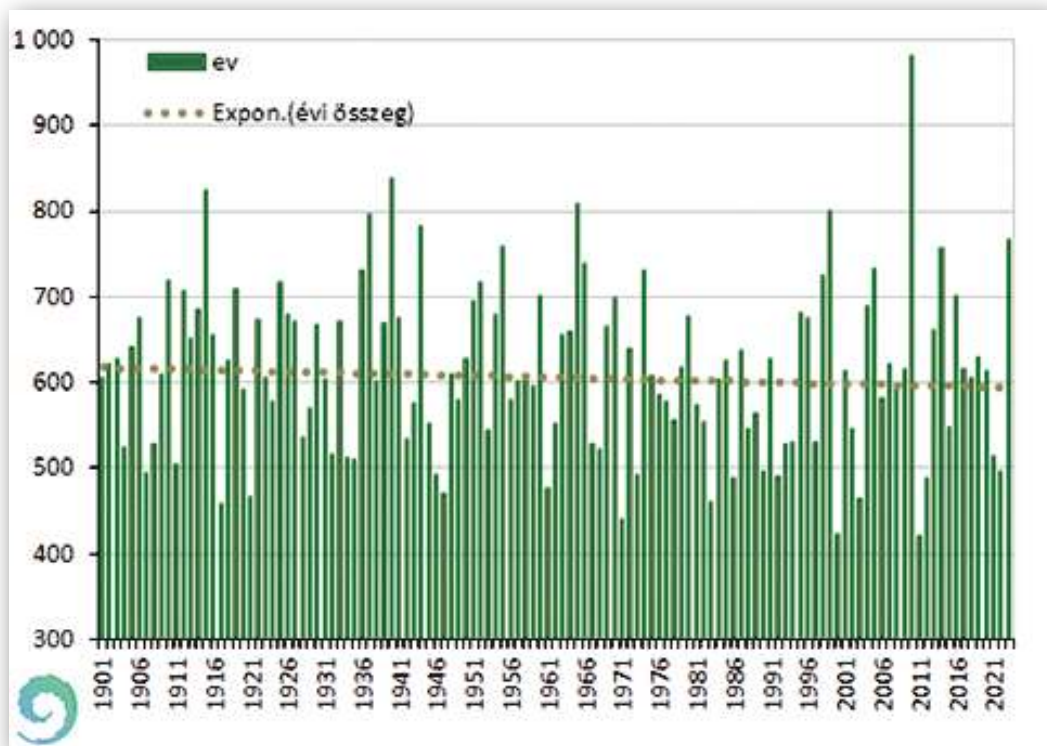
szerepéről (Fatáj, 2022). A szeminárium egyik központi gondolata az volt, hogy a legoptimálisabb mitigációs hatás elérése érdekében az erdőkre nem mint statikus széntárolóra kell tekintenünk. Ahogy Pierre-Olivier Drège, a Francia Erdészeti Szövetség (UCF) alelnöke megfogalmazta, az erdők szerepe egy szén-dioxid-pumpához hasonlítható, amely a szén-dioxidot kivonja az atmoszférából és bevezeti a fagazdaság kaszkádrendszerébe, melyben a fő széntároló nem az erdő maga, hanem a megnövelt élettartamú, innovatív termékek, melyek például az építőiparban felhasználva hosszú távon tárolják a szenet, miközben a kibocsátásintenzív anyagokat kiváltva rengeteg emissziót tesznek elkerülhetővé. Jelenleg hazánkban az erdei széntárolás van túlsúlyban, ahogyan ezt a 49. ábra is szemlélteti. Könyvünk következő fejezeteiben keressük a választ arra, hogy hogyan alakulhat a jövőbeli széntárolás mértéke és megoszlása a fagazdasági szektoron belül.

7.4 A KLÍMAVÁLTOZÁS MAGYAR ERDŐKRE GYAKOROLT HATÁSAI ÉS AZ ADAPTÁCIÓS LEHETŐSÉGEK

Hazánk esetében a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. mérései és elemzése szerint az évi középhőmérséklet országos átlaga 90%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan emelkedik az 1901-től kezdődő hosszú idősor lineáris trendbecslése alapján (HungaroMet 2024). Az évi középhőmérséklet változása az elmúlt 123 év alatt (1901 és 2023 között) átlagosan +1,53 °C volt (50. ábra). Az országban belül a változás különböző mértékben jelentkezett, legalább +1,17 °C és legfeljebb +1,90 °C közötti hőmérséklet-változás fordult elő.



Amíg a hőmérséklet emelkedett, addig az évi csapadékösszeg csökkenő tendenciát mutatott az elmúlt 123 évben, 1901 és 2023 között (51. ábra). Az évi csapadékösszegekhez illesztett exponenciális trend alapján mérsékelt, átlagosan 3,8%-os csökkenés figyelhető meg, bár a csapadék csökkenése statisztikailag nem szignifikáns (HungaroMet 2024). Az évi csapadékösszeg változása az ország különböző pontjain -16% és $+7\%$ között alakult, az északnyugati tájakon $10\text{--}16\%$ -os csökkenést, az Alföld északi részén kisebb területen $4\text{--}6\%$ -os növekedést lehetett tapasztalni.



51. ÁBRA

**Az évi csapadékösszeg
1901 és 2023 között Magyarországon.**

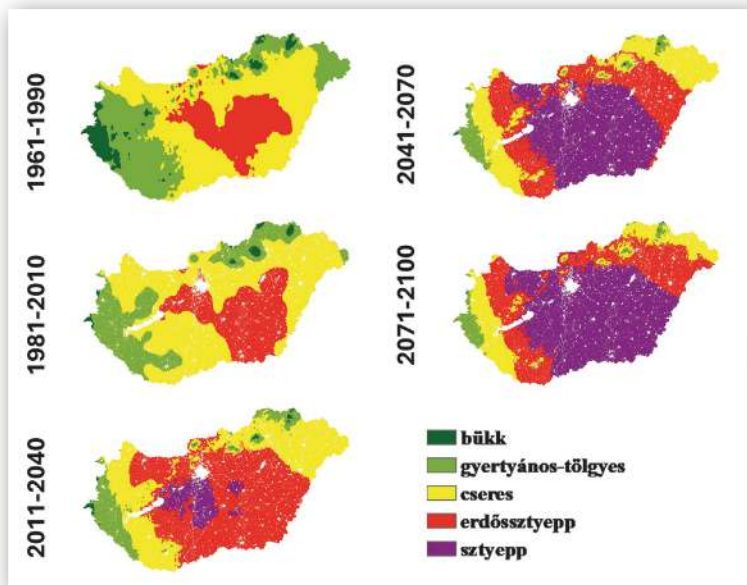
(Forrás: HungaroMet 2024)

A klíma gyors változása az erdőgazdálkodás számára különösen nagy kihívás a hosszú természetes ciklus miatt. Hazánk elhelyezkedése ráadásul speciálisnak mondható a klímaváltozás szempontjából, mivel valamennyi klímazonát jellemző fafajunk az országhatáron belül eléri elterjedése alsó, azaz szárazsági határát (Mátyás et al. 2006, 2007, 2010, 2018). A zónális erdők konkrét klímaadatainak meghatározása, és a zónák közötti meglepően csekély különbség hívta fel a figyelmet a hazai klímazonális fafajok veszélyeztetettségére (Mátyás és Czímber 2000). A bükk elterjedési területének visszaszorulása, országos szintű tömeges mortalitása már egy ideje ismert jelenség (Berki et al. 2007), de a többi

fafaj esetében is kimutatható a termőhelyi viszonyok megváltozása. Az utóbbi évtizedben már az Országos Erdőállomány Adattárban is tetten érhető az erdőrésztetek klíma szerinti besorolásának változása (Kottek és Király 2019). Az A1B kibocsátási forgatókönyvet alapul vevő előrejelzések szerint az eddigi erdősült klímaosztályok területének a 2021–2050-es időszakra több mint 10%-a, a 2041–2070-es időszakban pedig csaknem 60%-a már a sztyepp klímaosztályba fog esni (Gálos és Führer, 2018), így itt az erdőborítottság fenntartása is kihívást jelent majd. Illés és Móricz (2022a,b) szerint az RCP4.5-ös klímaforgatókönyvet alapul véve a hazai tölgyfajok klimatikus igényeinek megfelelő területek nagysága a 2000-ben ismert értékekhez képest az egyötödére eshet vissza a 21. század végére, míg a bükk (*Fagus sylvatica*) számára klimatikus szempontból alkalmas területek nagysága a tizedére csökkenhet. Már jelenleg is megfigyelhető, hogy a legkedvezőtlenebb erdősztyepp klímakategóriába sorolt erdőrésztetek esetében több erdőművelésből való kivonás történik, mint más klímatispusoknál (Kottek és Király 2019).

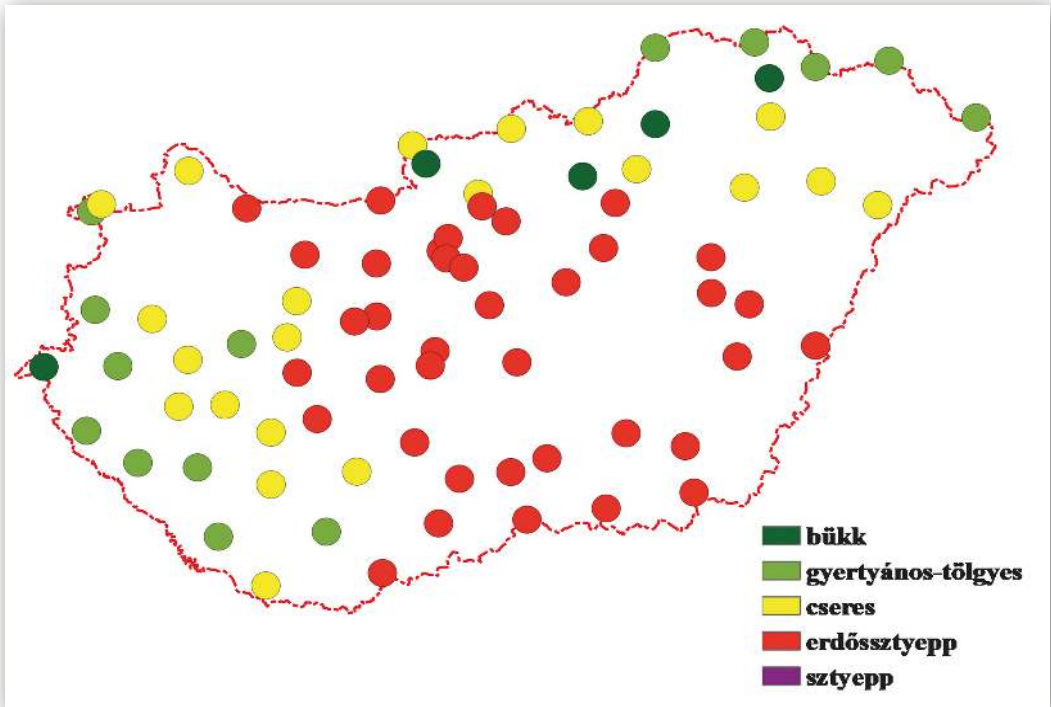
Az utóbbi évtized nagy vívmánya az Agrárklíma-projektek keretében létrehozott döntéstámogató rendszer, a SiteViewer 3.0 (Illés et al. 2024), mely segítséget nyújt a dinamikusan változó termőhelyi tényezőkhöz történő alkalmazkodásban. Erdőrészlet szintű térképek és részletes termőhelyi információk, valamint a klíma változására vonatkozó előrejelzések értékelésével a döntéstámogatási rendszer fafajválasztási javaslatot tesz, becslést ad a várható hozamra és előalkalmazkodott szaporítóanyag-forrásokat is azonosít (Illés et al. 2024, Mátyás et al. 2022).

A meteorológiai adatokból (havi hőmérséklet- és csapadékatlagok) az erdészeti ariditási index (FAI, Führer 2018) és az RCP4.5-ös klímaforgatókönyv felhasználásával levezetett előrejelzés eredményeit a 52. ábra szemlélteti.



52. ÁBRA

Az 1961–1990, 1981–2010, 2011–2040, 2041–2070 és 2071–2100 időszakok klímazónáinak alakulása az RCP4.5-ös klímaforgatókönyv szerint.
(Forrás: Borovics 2024)



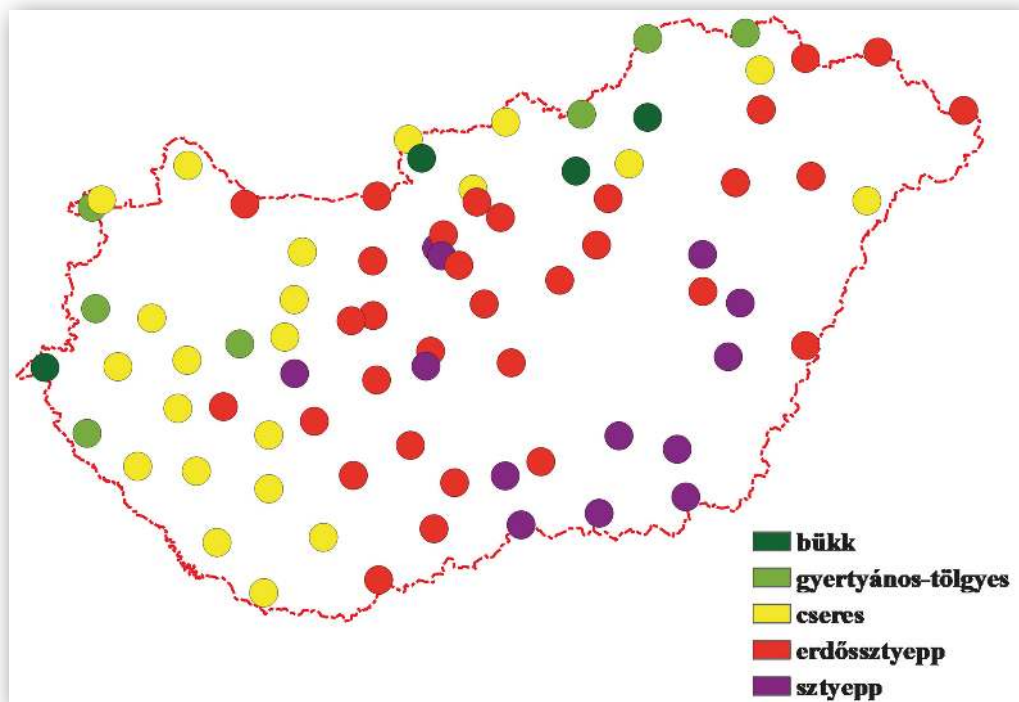
53. ÁBRA

Erdészeti klímabesorolás az RCP4.5 klímaprognózisból az OMSZ mérőállomások helyein, 2012–2015 között. (Forrás: Kottek et al. 2024)

A klímaváltozáshoz történő adaptáció szempontjából a historikus mérési adatok elemzése mellett kiemelten fontos a klímaprognózisok vizsgálata is. A SiteViewer 3.0 alkalmazás a Climate EU (Hamann et al. 2013, Marchi et al. 2020) klímaváltozási előrejelzéseit használja a jövő időszakokra vonatkozóan, melyek az RCP4.5 és RCP8.5 scenáriókon alapulnak.

Az RCP rövidítés (Representative Concentration Pathway) az IPCC által meghatározott kibocsátási forgatókönyveket jelöli. Az optimistább RCP4.5-ös scenárió esetében a sugárzási kényszer 4,5 Watt/m² értéken stabilizálódik 2100-ban. Az RCP8.5-ös scenárió ennél pesszimistább 8,5 Watt/m²-es sugárzási kényszert állapít meg.

Kottek és munkatársai (2024) elvégezték az RCP4.5 klímaprognózis validálását a HungaroMet Zrt. 2000 és 2023 közötti mérési adatai alapján. A validáláshoz kiszámították a FAI indexet a mért adatok alapján, majd azt vizsgáltuk, hogy a mérési adatok szerinti erdészeti klímabesorolás milyen mértékben egyezett meg az RCP4.5 szerinti klímaprognózis alapján történt besorolással. A vizsgált állomások 63%-ában az RCP4.5-ös scenárió pontos előrejelzést adott. Azokban az esetekben, ahol az RCP4.5 előrejelzés nem egyezett meg pontosan a mért adatok szerinti klímabesorolással, ott döntően a mérési eredmények kedvezőtlenebb képet, azaz a klíma gyorsabb szárazodását és nagyobb mértékű melegedését mutatták (53. ábra, 54. ábra).



Kottek és társai (2024) eredményeiből arra következtethetünk, hogy az RCP4.5-ös klímaprognózis jól írja le a hazánkban tapasztalható klímaváltozás irányát és mértékét, noha egyes régiók esetében az előrejelzés inkább optimistának mondható, és a ténylegesen megvalósuló szárazodás és melegedés nagyobb mértékű. Ezekben a régiókban különösen fontos az adaptáció és a klímaváltozás kedvezőtlen hatásaira történő mielőbbi felkészülés, melyre a SiteViewer 3.0 döntéstámogatási eszköz kiváló lehetőséget nyújt. Az új körülményekhez alkalmazkodott szaporítóanyag alkalmazása gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos. Az ültetvényszerűen termeszthető fafajok esetében a nemesítés is segítségünkre lehet az adaptáció elősegítésében. Például az akác szelekciós nemesítésével, szelektált klónok termesztési technológiai fejlesztésével kapcsolatos kutatások ma is zajlanak (Ábri et al. 2021, Keserű et al. 2021). A molekuláris nemesítés szintén az alkalmazkodást segítő technológia, melyet például a nemesnyár esetében teszteltek (Köbölkuti et al. 2021).

54. ÁBRA

Erdészeti klímabesorolás az OMSZ mérési eredmények alapján, 2012–2015 között. (Forrás: Kottek et al. 2024)

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

7. fejezet: A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlege

Magyarország erdőállománya egyre idősebbé válik: 1980 óta az erdők átlagkora közel 10 évvel nőtt, elérve a 45 évet. Ez a tendencia – hasonlóan más európai országokhoz – a szénmegkötési képesség csökkenéséhez vezet, mivel az idősebb állományok növekedési dinamikája gyengül és folyónövedéke csökken. Különösen látványos az átlagkor emelkedése a fenyő, lágylombos és fűzfajcsoportok esetében, ami a jövőbeli szénmérlegre is jelentős hatással lehet.

A nemzeti üvegházhatásúgáz-leltár az egyik legfontosabb adatforrás a szénmegkötési és -kibocsátási folyamatok megértéséhez. Az erdészeti szektorra vonatkozó adatok elsősorban az Országos Erdőállomány Adattárra épülnek, a jelentés véglegesítése minden évben szigorú nemzetközi ellenőrzés mellett történik. A jelentés pontos képet ad az erdők és a faipar szénforgalmáról, ezzel megalapozva a klímapolitikai döntéseket.

Az erdők és a fatermékek által elnyelt szén-dioxid a hazai kibocsátások mintegy 10%-át ellensúlyozza, így a szektor kulcsszereplő a klímasemlegesség elérésében. A legnagyobb szénmegkötés az erdők élőfakészletében történik, de az avar, a holtfa és a talaj is fontos széntárolók. A jövőbeni technológiai fejlesztések, mint a hosszú élettartamú fatermékek vagy a kaszkád-termékláncok tovább fokozhatják a mitigációs potenciált – különösen akkor, ha az erdőt nem statikus tárolóként, hanem aktív szénáramlási rendszerként kezeljük.

Hazánk éghajlati sajátosságai miatt fafajaink gyakran klímaturésük határán élnek, így az erdők különösen érzékenyek a klímaváltozásra. A klímamodellek előrejelzései szerint jelentősen csökkenhet a fenyők, a bükk és tölgyek számára kedvező termőhelyek aránya.



**FÁBÓL KÉSZÜLT TÉGLÁVAL ÉPPEN ÚGY LEHET ÉPÍTKEZNI,
MINTHA LEGO KOCKÁKAT TENNÉNK EGYMÁSRA**

A termékhelyettesítési hatás azt fejezi ki, hogy a faalapú termékek és energiaforrások milyen mértékben járulnak hozzá az ipari és energetikai kibocsátások elkerüléséhez, vagyis egy fatégla használata mennyivel kedvezőbb klímavédelmi szempontból egy lényegesen nagyobb energiaigénnyel előállított hagyományos téglánál.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

FÁBÓL ÉPÍTKEZNI

Faipari innováció révén az eddig alulhasznosított fafajokból is esztétikus, egészséges és klímavédelmi szempontból is figyelemre méltó megoldások alakíthatók ki.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

**AZ ERDŐIPARI
SZÉN MODELL (FICM)
LÉTREHOZÁSA**

8.

8.1 A MAGYAR ERDŐKRE PARAMÉTEREZETT ERDŐÁLLOMÁNY- PROGNÓZIS MODELLEK

AZ ERDŐALAPÚ

mitigációs és adaptációs stratégiák tervezéséhez elengedhetetlenül szükséges eszköz az erdőállomány-prognózis. Egy jó előrejelzés információt ad a várható erdőállomány-szerkezetéről, a potenciálisan feldolgozható faanyag mennyiségéről és minőségéről, és ezzel becsülhetővé teszi a várható szén-dioxid-megkötés mértékét is. Hazánkban a CASMOFOR-modell (Somogyi 2023) a legelső és széleskörűben használt modell, amely erdőállományok szénmegkötését prognosztizálja. A modell fejlesztése 1997 óta zajlik és legújabb változatának felhasználásával készült például hazánk új erdő-referenciaszintje, melynek a szén-dioxid-megkötések elszámolásában van szerepe (Somogyi 2020).

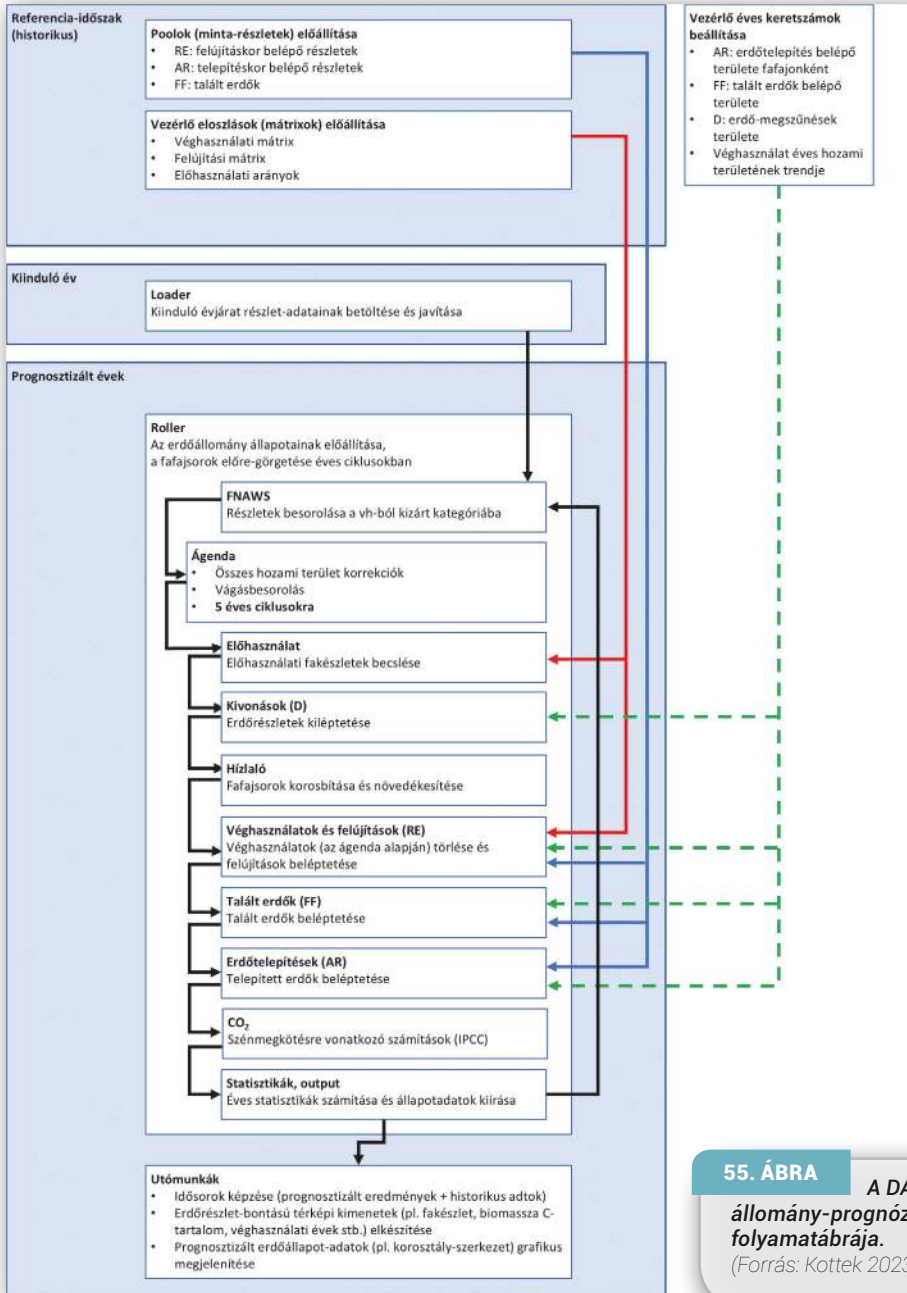
A DAS (*Distributions Applied on Stands*) erdőállomány-prognózis modell egy erdőrésztlet-alapú modell, mely az Országos Erdőállomány Adattár erdőrésztleteinek várható jövőbeli fejlődését modellezi (Kottek 2017, Kottek 2023). A modell a historikus adatok 10–25 éves idősorainak részletes vizsgálata során levezetett felújítási, véghasználati és erdőnevelési mátrixokat használja az erdőállomány jövőbeli szerkezetének előrejelzésére. A modell alkalmas az élőfakészlet, a növedék, a kitermelt elő- és véghasználati fatérfogat és az erdei biomassa szénmegkötésének előrejelzésére erdőrésztlet szinten, valamint regionális és országos szinten is. A modell alkalmas térben explicit input-paraméterek pl. klímaváltozási előrejelzések fogadására, valamint az eredmények georeferált térképi interpretációjára, térinformatikai feldolgozására. A modell közel 600 ezer erdőrésztlet és 1,2 millió fafajsort adatait kezeli. A szabályzó paramétersorok a referencia-időszak ténylegesen tapasztalt folyamatain alapulnak.

A modell újra-paraméterezése a 2016–2021 időszak historikus adatainak felhasználásával az ErdőLab-projekt keretében valósult meg (Kottek 2022, 2023). A modell működését és aleggységeit az 55. ábra mutatja be.

A termőhelyi viszonyok mellett azonban a jogi környezet is változhat. Az erdőtörvény 2017-es módosítása például már jelenleg is érezteti hatásait a vágáskorok alakulásában (Kottek 2022). A mitigációs cselekvési tervek kidolgozása során ezért nagyon fontos, hogy minél aktuálisabb előrejelzésekből indulhassunk ki.

8.2 AZ ERDŐIPARI SZÉN MODELL (FICM)

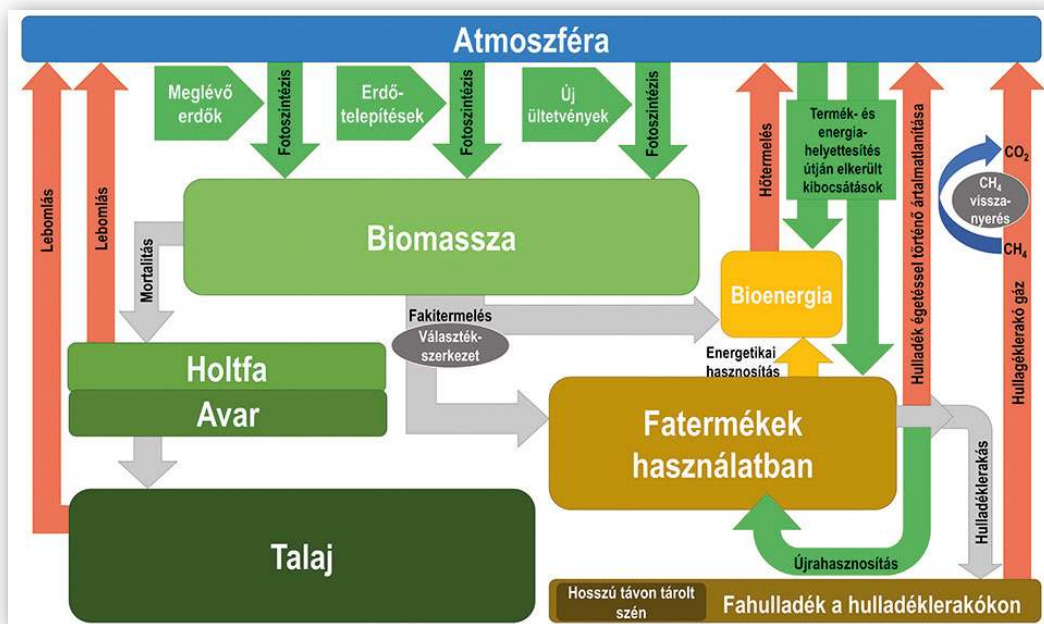
Az ErdőLab-projekt keretében létrehoztunk egy új szénforgalmi modellt, az Erdőipari Szén Modellt (Forest Industry Carbon Model, FICM, Borovics et al. 2024), amely az erdei biomassa, az elhalt szerves anyagok, a talaj és a fatermékek szénegyenlegét, valamint a termék- és energiahelyettesítések útján elkerült kibocsátásokat számszerűsíti lefedve a teljes fagazdasági szektort (56. ábra).



55. ÁBRA

A DAS erdő-
állomány-prognózis modell
folyamatábrája.

(Forrás: Kottek 2023)



56. ÁBRA

A Forest Industry Carbon Model (FICM) folyamatábrája. (Forrás: Borovics et al. 2024)

Az új modell alapját a DAS erdőállomány-prognózis modell (Kottek 2023) képezte. Mivel a DAS erdőállomány modell a korábbiakban csak a biomassza-széntároló szénkészlet-változását vizsgálta, ezért azt holt szervesanyag- és talajmodullal egészítettük ki.

Emellett kidolgoztunk egy fatermék (HWP) szénforgalmi modellt is (Király et al. 2024), amelyet szintén az FICM-modellbe integráltunk. Ilyen módon létrejött egy komplex országspecifikus fagazdasági szénforgalmi modell, amely már minden fontos széntárolót és szénáramot lefed (56. ábra).

Az FICM-modell a teljes erdőipari termékláncot lefedi az alábbi modulok segítségével:

8.2.1 AZ ERDŐ MODUL

Az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján térben explicit módon tudja megjeleníteni az erdőállományok prognosztizált szénegyenlegét. Az Országos Erdőállomány Adattárból levezetett véghasználati és felújítási mátrixokat alkalmaz. Képes új erdőtelepítések, új ültetvények és agrárerdészeti rendszerek szénmegkötésének modellezésére is. Számszerűsíti az erdei biomassza, a holtfa, az avar és a talaj szénegyenlegét.

8.2.2 A FATERMÉK (HWP) MODUL

A fatermék modul modellezi a használatban lévő fatermékek szénegyenlegét, illetve az újrahasznosítás hatásait a szénegyenlegre. Emellett számítja a tűzifa eltüzelése során keletkező kibocsátásokat

is. A részmodell paraméterezéséhez az üvegházhatásúgáz-leltárjelentés és a Központi Statisztikai Hivatal adatait használtuk fel.

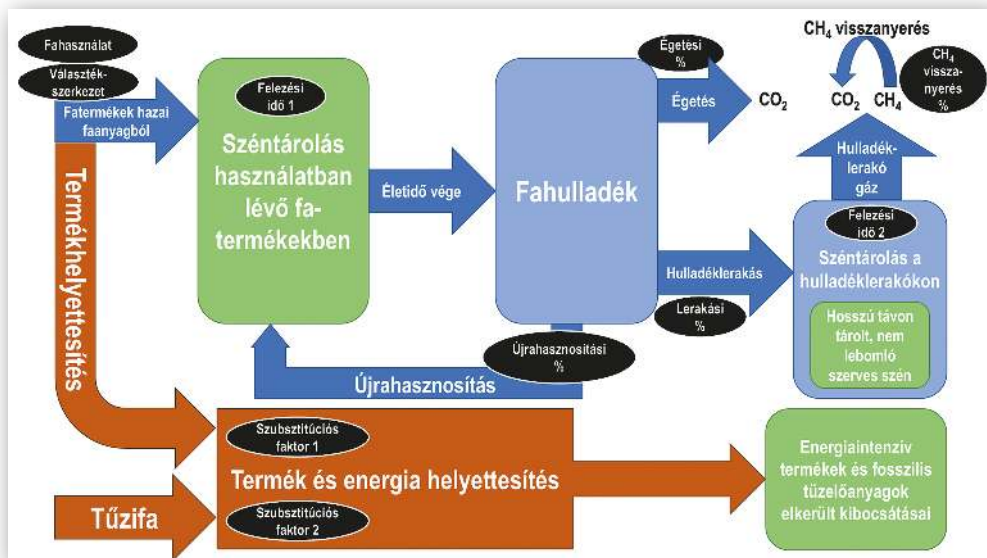
8.2.3 A HULLADÉK MODUL

A hulladék modul számítja a bioenergetikai felhasználásból származó emissziókat, valamint a fa-hulladék hulladéklerakással történő ártalmatlanítása során keletkező szén-dioxid- és metán emissziókat. Számolni tud a hulladéklerakón történő metánvisszanyerés mértékének változásaival is. A részmodell paraméterezéséhez az üvegházhatásúgáz-leltár, az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer és a Központi Statisztikai Hivatal adatait használtuk fel.

8.2.4 A TERMÉKHELYETTESÍTÉSI MODUL

A termékhelyettesítési modul számszerűsíti a termék- és energiahelyettesítés útján az ÜHG-leltárak ipar- és energiaszektoraiban elkerült kibocsátásokat. Ezek mértéke a fatermékek termelésének növekedésével nő, illetve minél magasabb a nagy hozzáadott értékű, hosszú élettartamú fatermékek gyártásának aránya, annál nagyobb termékhelyettesítési hatások érhetőek el. A termékhelyettesítési modul paraméterezése az Európai Erdészeti Intézet európai szintű átfogó elemzését (Leskinen et al. 2018) alapul véve történt meg.

Az FICM-modell faipari moduljai külön is alkalmazhatóak, ezek összességét szemlélteti a 57. ábra.



57. ÁBRA

Az FICM fatermék moduljainak

folymatábrája. (Forrás: Király et al. 2024)

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

8. fejezet: Az Erdőipari Szén Modell (FICM) létrehozása

A hazai erdők szénmegkötésének előrejelzéséhez elengedhetetlenek a megbízható erdőállomány-prognózis modellek. Magyarországon a korábbiakban két fontosabb modellt használtak: A CASMOFOR modellcsalád az üvegházhatásúgáz-lettárhoz kapcsolódó szénegyenleg modellezés legfontosabb eszköze, amely a szénmegkötési potenciál országos szintű előrejelzésére alkalmas. A DAS-modell pedig az Országos Erdőállomány Adattár adatszerkezetéhez adaptált modell, amely erdőrésztlet-szintű, térben explicit előrejelzést képes nyújtani az élőfakészlet, a növedék, és az ehhez kapcsolódó szénáramok várható alakulásáról.

Az ErdőLab-projekt keretében elvégeztük a DAS-modell újra-paraméterezését, hogy a változó termőhelyi és jogi környezethez (pl. az erdőtörvény módosítása) is igazodni tudjon. E modellel építve jött létre az Erdőipari Szén Modell (FICM) – egy komplex, országspecifikusan paraméterezett szénforgalmi modell, amely a teljes fagazdasági szektor szénmérlegét számszerűsíti. A FICM az élő- és holt biomassza, a talaj, a fatermékek, valamint az energia- és termékhelyettesítés révén elkerült kibocsátások értékelését is integrálja.

A modell négy fő modulból épül fel:

- » *Az erdő modul* az élőfakészlet, a talaj, és a holtfa szénmérlegét képes modellezni, már meglévő erdők esetében, emellett új erdőtelepítések vagy ültetvények várható szénmegkötését is képes előrejelezni.
- » *A fatermék modul* a használatban lévő fatermékek élettartama és újrahasznosítási arányai alapján számítja ki a fatermékek széntárolását és szénegyenlegét.
- » *A hulladék modul* a fahulladékból keletkező szén-dioxid- és metánkibocsátásokat méri, figyelembe véve a bioenergetikai hasznosítást, az égetéssel történő ártalmatlanítást, illetve a hulladéklerakás módozatait.
- » *A termékhelyettesítési modul* becslést ad arra, hogy a faalapú termékek és energiaforrások milyen mértékben járulnak hozzá az ipari és energetikai kibocsátások elkerüléséhez.

Az FICM tehát egy egyedülálló, hazai fejlesztésű eszköz, amely képes dinamikusan és területileg specifikusan modellezni a faalapú szénáramokat, ezzel segítve a stratégiai klímadöntések előkészítését és a hazai fagazdaság fenntartható irányba terelését.



A TÚLTARTÁS NEM MEGOLDÁS

A fenntartható erdőgazdálkodás során a fakitermeléssel és hasznosítással a lebontást végző fogyasztók elől csapoljuk meg a szénforrást ügyelve egyúttal arra is, hogy az ökoszisztéma-működéshez és biodiverzitás fenntartásához szükséges mennyiségű holtfat is hagyjunk az erdőben.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



HOLTFA ÉS A BIODIVERZITÁS

A biodiverzitás növelése érdekében álló és fekvő holtfa helyszínen hagyása része lehet a klímabarát megoldásoknak, és hozzájárulhat az ökoszisztéma ellenálló-képességéhez.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

9.

**AZ ERDŐKEZELÉSI
FORGATÓKÖNYVEKET
MEGALAPOZÓ
HOZAMVIZSGÁLAT**

MIUTÁN

könyvünk előző fejezeteiben áttekintettük az erdőalapú klímamitigáció eszköztárát, globális és európai szintű lehetőségeit, illetve megvizsgáltuk a hazai erdők jelenlegi szénmegkötési szintjét, most áttérünk a magyar erdő-alapú szektor jövőbeli lehetőségeinek vizsgálatára.

Először megvizsgáljuk, hogy a tartamos, azaz fenntartható erdőgazdálkodás keretein belül nyílik-e lehetőség a hazai fahozamok növelésére. Meghatározzuk a várható maximális fakitermelési potenciál mértékét. Ezt követően a hozamvizsgálat eredményei alapján megfogalmazzunk három eltérő megközelítést modellező fagazdasági forgatókönyvet, és megvizsgáljuk ezek várható szénegyenlegét az FICM-modell segítségével, a 2050-es céldátumig.

9.1 A HOZAMVIZSGÁLAT MÓDSZERTANA

A maximális fakitermelési potenciál vizsgálata során adatforrásként az Országos Erdőállomány Adattárat (továbbiakban OEA) használtuk, amely az erdészeti igazgatás hivatalos adatbázisa, és a faállományok leíró adatai mellett tartalmazza a körzeti erdőtervezés során javasolt fahasználati lehetőségeket is. Az OEA-ban minden erdőrészlet minden fafajorsárhoz tartozik vágásérettségi kor, ezt az információt használtuk a hozamvizsgálat során. A vágásérettségi kort az erdőtervezési munkában a jogszabályi keretek, a szakmai gyakorlat, a rendeltetések, a védelettségi státusz, a felújítási kockázatok stb. figyelembevételével, erdőrészletenként állapítják meg, ebből következően a vágásérettségi korokból levezetett várható hozamokat egyfajta lehetséges hozammaximumnak tekintjük, ami a tartamosság követelményének is megfelel.

Egyszerű hozamvizsgálati módszerünk a „30 éven belül vágásérett állományok” elnevezésű beépített OEA-riport kiterjesztése, amely címéhez híven megadja a 30 éven belül vágáséretté váló erdőrészletek területét és élőfakészletét. Vizsgálatunkban e lekérdezés időablakát terjesztettük ki 80 évre, és számoltunk az ezen idő alatt egynél több alkalommal is véghasználati lehetőséget nyújtó rövid vágásfordulójú állományok ismétlődő hozamaival. A vizsgálat kiindulópontja az OEA 2020. évi statisztikai állapota volt.

Azokat az állományokat, melyek már a 2020. évi statisztikai állapotban idősebbek voltak a tervezői vágásérettségi koruknál (túltartott állományok) nem vettük figyelembe a vizsgálat további részében. Ez egy technikai jellegű egyszerűsítés: a túltartott állományok várható hozamainak becslése csak egy jóval bonyolultabb módszertannal lenne megoldható. Ezeket az állományokat ebben a vizsgálatban fakitermelésre nem elérhetőnek tekintettük, és feltételeztük, hogy rendezetlen tulajdonviszonyaik, vagy egyéb akadályozó tényező miatt nem történik meg a kitermelésük.

A vizsgált állományokban a prognosztizált véghasználat időpontját az erdőtervi vágásérettségi kor és az állomány aktuális kora alapján határoztuk meg. A véghasználat időpontjára előrevetített fakészletet Gál (1988) fatermési függvényeivel becsültük.

A rövid vágáskorú állományok esetében modelleznünk kellett az állományok felújítását annak érdekében, hogy realisabb becsléseket kapjunk a vizsgált 80 éves periódusra. Így a modellben feltételeztük minden állomány identikus felújítását, azaz a véghasználatokat követő ciklusokban az állományokat azonos fafajjal, azonos fatermőképességgel és sűrűséggel, a véghasznált állománnyal megegyező területtel és vágásérettségi korrall visszahelyeztük a modellbe. Tehát egy erősen leegyszerűsített módszert követve azt feltételeztük, hogy minden véghasználatl érintett állományt ugyanolyan állomány követ, ugyanolyan vágásérettségi korrall és ugyanolyan véghasználati fakészlettel. Így vizsgálatunk

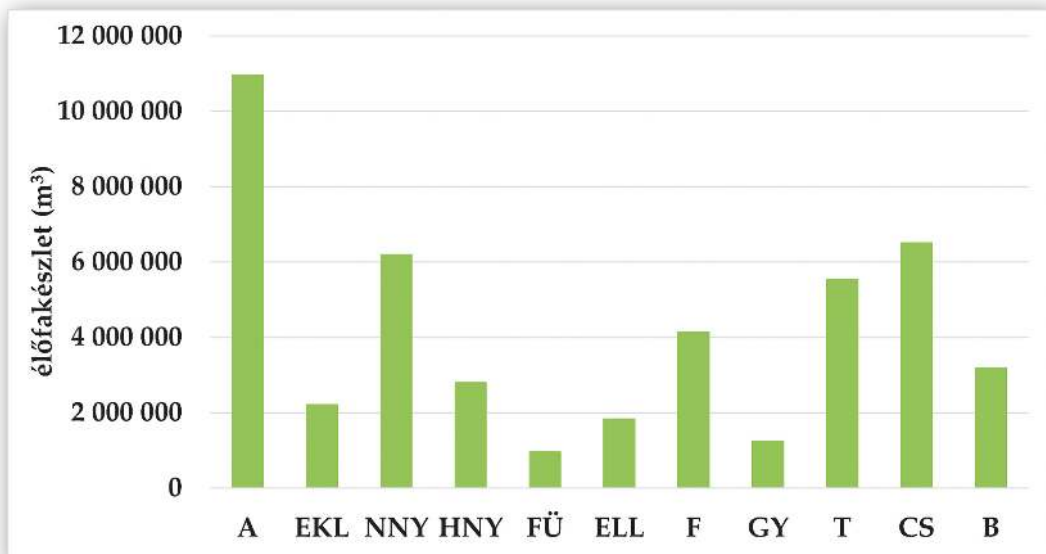
módszertanában nem vettük figyelembe a klímaváltozás hatásait, ami az eddigi legvalószínűbb forgatókönyvek szerint csökkenő produktíót és megnövekedett mortalitást eredményez az erdőkben a vizsgálati időszakban, de valószínűsíthetünk további extrém biotikus, vagy abiotikus eseményeket is, amelyek gyakorisága és intenzitása növekedhet, ezáltal megzavarva a széntárolásból származó várható nyereséget az erdei ökoszisztémában, bizonytalan mértékben csökkentve egyúttal az ipar által feldolgozható fa mennyiségét, versenyképességét. Ennek időben változó hatásai azonban jelenleg még nem kellően feltártak. Ezért hozamvizsgálatunkban az erdőfelújítások során nem számoltunk a megváltozó termőhelyi tényezők miatt szükségessé váló fafajcserékkel és változó produktóival sem. Másrészt a 2020 utáni években telepítendő új erdők sem képezték a vizsgálat tárgyát, melyek viszont növelnék a prognosztizált hozamokat. Az évenkénti véghasználati fakészletek meghatározását követően a fakészleteket fafajcsoportok és évek szerint összegeztük. Az előrejelzett fakészlet-adatokon semmilyen adatsimitási eljárást nem alkalmaztunk.

Az előhasználatokat a 2017–2021 évek átlaga alapján prognosztizáltuk az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program (OSAP 2023) adatai alapján. A választékszerkezet előrejelzésére szintén az OSAP-adatokat használtuk. A fafajcsoportonkénti választékszerkezetet ugyancsak a 2017–2021 időszak statisztikai adatainak átlaga alapján prognosztizáltuk.

A véghasználati hozami lehetőségek időbeli alakulásának tanulmányozása céljából a létrehozott hozamvizsgálati modellt az OEA 1980-as, 1990-es, 2000-es, illetve 2010-es állapotából kiindulva is lefuttattuk, az adott időállapotban nyilvántartott erdőterület és vágásérettségi korok figyelembevételével. Erre azért volt szükség, hogy képet kapjunk a hozami lehetőségek időbeli változásairól, illetve az időközben telepített erdők hatásairól.

9.2 A TÚLTARTOTT ÁLLOMÁNYOK ÉS A KEZELETLEN ERDŐTERÜLETEK JELLEMZŐI

Az 58. ábra fafajcsoportonként mutatja be a túltartott állományok élőfakészlet adatait az OEA 2020. évi statisztikai állapotában. 2021-ben összességében 45,62 millió m³ volt a túltartott erdők élőfakészlete, területük pedig több mint 160 000 hektár. A jelenség részben azzal magyarázható, hogy jelentős (összesen közel 340 000 hektár, lásd 64. ábra) erdőterület van, amely problematikus tulajdonosi szerkezete miatt kezeletlen, és a véghasználatok ezeken a területeken gyakran elmaradnak. Ehhez járulhat hozzá a gazdasági küszöb alatti erdők növekvő aránya, amelyek esetében a kitermelt faanyag értéke már nem fedezi a kitermelés és felújítás költségeit. A túltartott akácok kiugróan magas arányát magyarázhatja a fenti érveken túl a védett akácok őshonos erdővé történő átalakítási kötelezettsége, ami miatt a tulajdonosok egy része inkább lemond a véghasználatról. A gyengébb termőhelyi adottságú nemesnyárasok korábbi kötelező mesterséges felújítási technológiája miatt is kiaknázatlanul maradhatott jelentős mennyiségű véghasználati faanyag, 2023 óta a jogszabályok megengedik a nemesnyárasok sarjaztatását, így a jövőben ez már nem gátolja a faanyag mobilizálását. Ebben az esetben például a sokkal olcsóbb és biztosabb sikerességű sarjaztatás engedélyezése azonnali megoldást jelenthet a folyamatosan romló műszaki állapotú fakészlet mobilizálása érdekében. A túltartott erdők jelentősége óriási, mivel a hozami lehetőségek kiaknázatlan tartalékát jelentik, ami a tulajdonviszonyok rendezése esetén rendelkezésre állhatna a megnövekvő fa iránti igények kielégítésére. A túltartott állományok élőfakészletének, illetve fafajso-

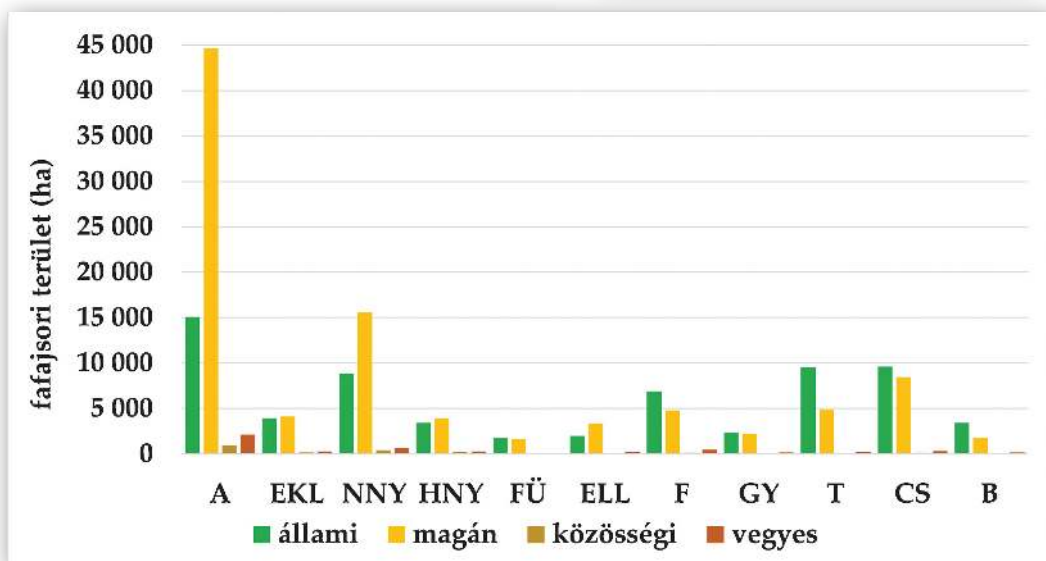


58. ÁBRA

A túltartott állományok élőfakészlete az OEA adatai szerint (2021).

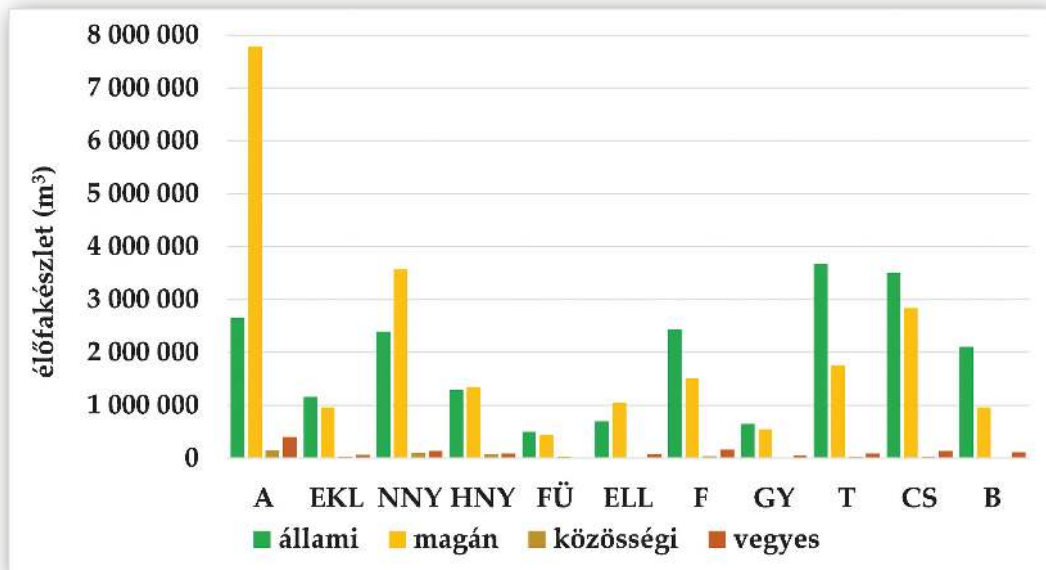
A túltartott állományok fajfajori területének megoszlása tulajdonforma szerint a 2021-es évben az OEA adatai alapján.

59. ÁBRA



Borovics A., Király É., Mertl T., Kottek P.

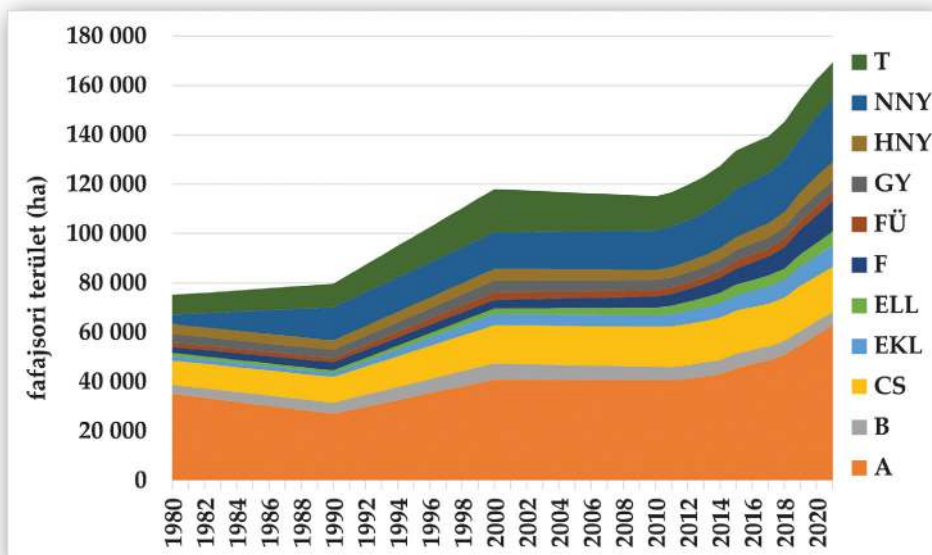
területének tulajdonformák szerinti megoszlását az 59. ábra és a 60. ábra szemléltetik. Feltűnően nagy a túltartott állományok között a magántulajdonú akácosok területe és fakészlete. Ezen kívül viszonylag nagy élőfakészletek akumulálódtak nemesnyár állományokban a magán- és az állami erdőkben is. A fenyők, illetve a hosszú vágáskorú fafajcsoportok esetében elsősorban az állami szektorban jellemzőek a túltartott állományok.



A túltartott állományok területének 1980 és 2021 közötti növekedését az 61. ábra és az 62. ábra szemlélteti. Az elmúlt évtizedben a túltartott állományok területe drasztikusan megemelkedett. Ezzel összefüggésben az élőfakészletük is egyre nagyobb ütemben növekszik, míg 1980-ban kevesebb, mint 17 millió m³ volt, addig 2021-ben már meghaladja a 45 millió m³ értéket (63. ábra). A véghasználatok elmaradása miatt a túltartott állományokban jelentős élőfakészlet halmozódik fel. Az így létrejövő tartalékok mobilizálása azonban az idő előrehaladtával egyre nehezebbé válik, és fennáll a veszélye annak, hogy a faanyag minősége leromlik, elkorhad, és egyfajta holttökévé válik, mely elveszti piacképességét. Ezt a tendenciát csak súlyosbítja az, hogy az előhasználatok is rendszerint elmaradnak, az állományok a véghasználat előtt is kezeletlenek, fejlődésük a későbbi faanyag-kihozatal szempontjából sem optimális.

60. ÁBRA

A túltartott állományok élőfakészletének megoszlása tulajdonforma szerint a 2021-es évben az OEA adatai alapján.

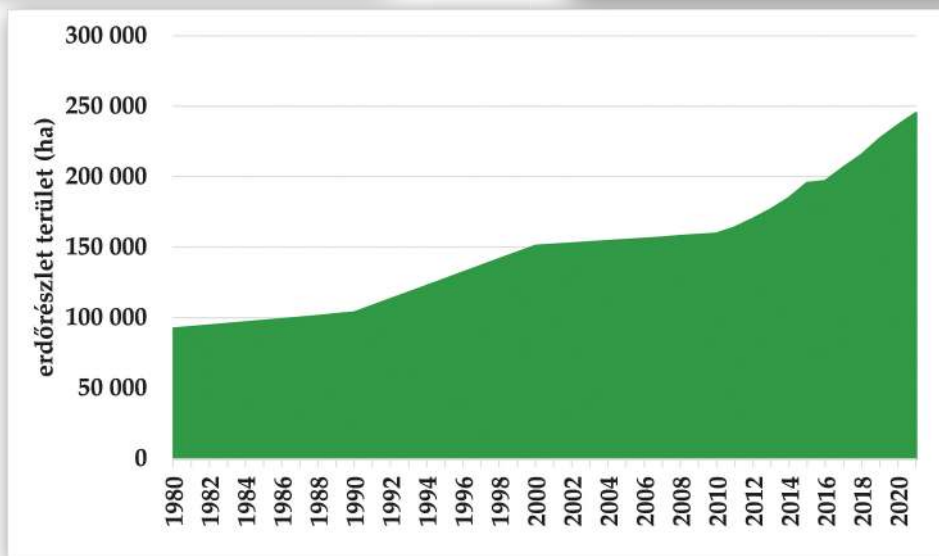


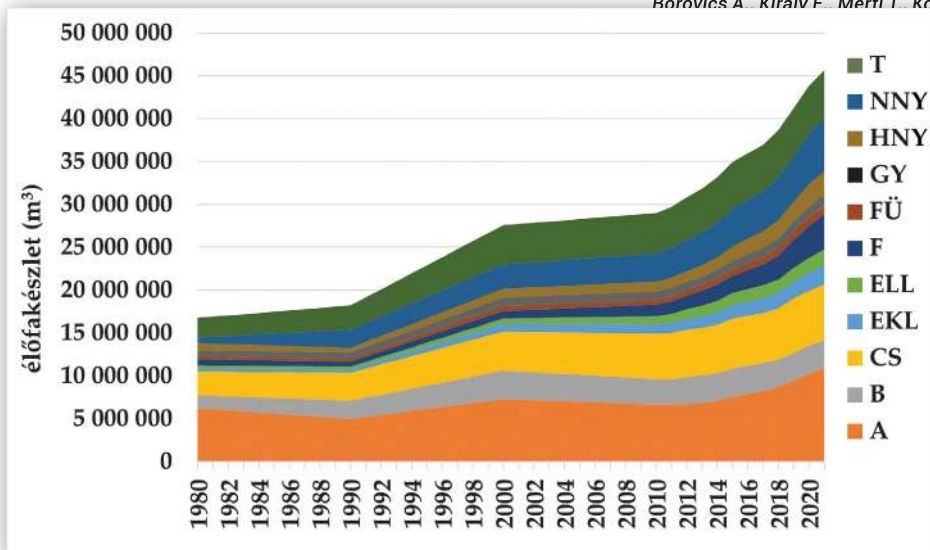
61. ÁBRA

A túltartott állományok fajfajrosi területének változása az 1980–2021 időszakban az OEA adatai szerint.

A túltartott állományokhoz tartozó erdőrészek területe az 1980–2021 időszakban az OEA adatai alapján.

62. ÁBRA



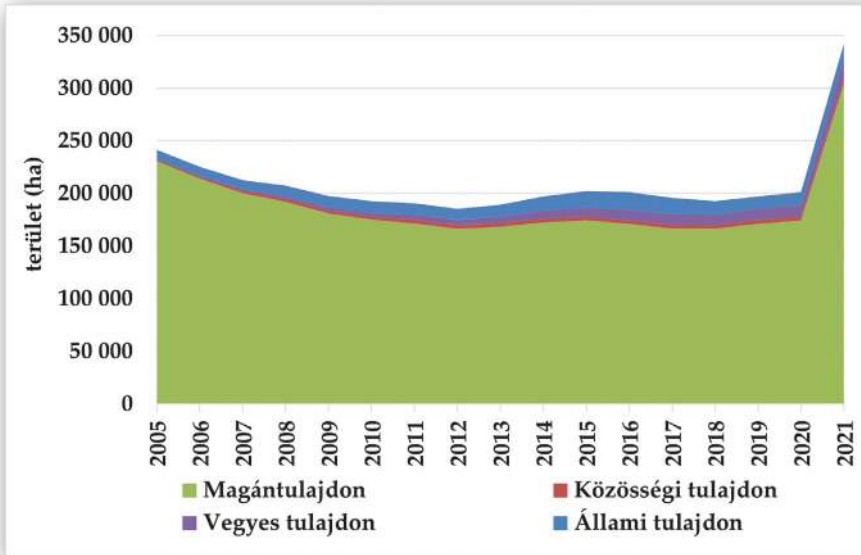


Az erdeink jelenleg az erdőnevelési modell-táblákhoz képest sűrűbben tartottak, magas az öngyérülés aránya és az erdőkben felhalmozódó holtfaanyag mennyisége. Az ökoszisztéma-működéshez szükséges mértéken túli holt faanyag erdőben történő lebomlása ugyanakkor olyan CO₂-kibocsátással jár, amit jobb lenne elkerülni a ki-termelt faanyag tartós beépítésével.

63. ÁBRA

A túltartott állományok élőfakészletének változása az 1980–2021 időszakban az OEA adatai alapján.

Az 64. ábra mutatja be a gazdálkodó nélküli erdők területének alakulását a 2005–2021 közötti időszakban. A gazdálkodó nélküli területek 2021-ben tapasztalható hirtelen növekedése a jogi szabályozás változásához köthető, az erdőgazdálkodási megbízási szerződések kivezetésének eredménye.



64. ÁBRA

A gazdálkodó nélküli erdők területének változása a 2005–2021 időszakban az OEA szerint.

A túltartott állományok és kezeletlen erdőterületek jelentős mennyisége számos hatás együtteseként jött létre, ahogy területnövekedésük is komplex

folyamat eredménye. A gazdálkodó nélküli területek kialakulása a magánerdőbirtokok sajátos privatizációjának eredménye. A kárpótlási jegy alapú privatizáció ozstatlan közös tulajdoni viszonyokat hozott létre. A tulajdonviszonyok rendezése mindmáig kihívás.

A problémás tulajdonviszonyokon túl a fakitermelést sokszor az egybefüggő vágásterületre vonatkozó, jogszabályban foglalt területi korlátozás gátolja. Egyebek mellett a klímaváltozásnak is negatív hatása van a felújítások elhúzóására, és az elhúzó felújítások blokkolják a szomszédos erdőrészekben a véghasználatok megkezdését. Emiatt sok vágásérett állomány nem kap fakitermelési engedélyt és esetenként műszakilag le is romlik az állapota, mielőtt a kitermelésére sor kerülhetne. A nagy területen egyszerre telepített nemesnyár állományok esetében is sok esetben alkalmazzák ezt a területi korlátot, holott ezen állományok egyszerre lesznek vágásérettek és egyszerre is kell őket felújítani. Itt egy-két év kitermelési korlátozás jelentős értékvesztést eredményezhet.

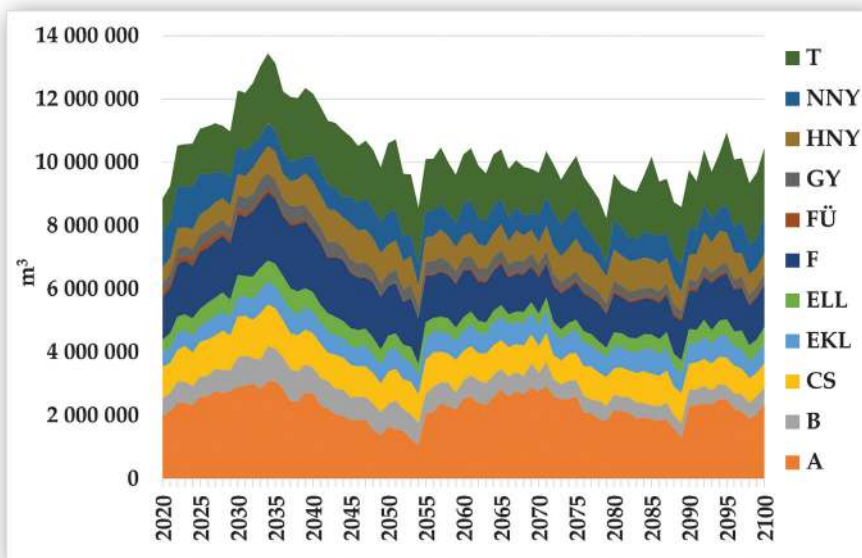
A vágáskorok emelkedésének, illetve az állományok túltartottá válásának további oka lehet a természetvédelmi oltalom és a hozzá kapcsolódó előírások, korlátozások. A túltartott állományok arányának növekedése mellett az őshonos fafajú erdőkben megfigyelhető a vágáskorok fokozatos növekedése is. Ennek egyik fő oka a természetközeli erdőgazdálkodás iránti társadalmi igény, ami az egyre idősebb erdők fenntartását eredményezi. A másik ezzel összefüggő ok az, hogy az erdőgazdál-

codók a vágáskorok fokozatos emelése mellett döntenek a hozamok kiegyenlítése és a felújítási kapacitások időbeli egyenletes elosztása érdekében. Ez a tendencia valószínűleg mindaddig folytatódni fog, amíg az idősebb korosztályok túlsúlya fennáll. A tendenciát tovább erősíti az, hogy a felújítások egyre nagyobb erőfeszítéseket igényelnek a klímaváltozás erősödő hatásai miatt, egyre kockázatosabbá válnak, ami a vágáskorok további emelkedését eredményezi.

9.3 AZ ELÉRHETŐ MAXIMÁLIS HOZAMOK ELŐREJELZÉSE 2100-IG

9.3.1 A FAFAJCSOPORTONKÉNTI HOZAMOK BEMUTATÁSA

A 65. ábra a fakitermelésre elérhetővé váló elő- és véghasználati fatérfogatokat mutatja fafajcsoportonként a prognosztizált időszakban. Az alkalmazott egyszerű hozamvizsgálati módszer továbbviszi a korosztályszerkezet örökölt hatásait, és a korosztályok mechanikus előretolódásán kívül nem kalkulál a jövőbeni korosztályszerkezeti és fajösszetétel-változásokkal. Az ábrán megfigyelhető egyenlőtlenességek a tervezői vágásérettségi korok és a korosztályszerkezet egyenlőtlenégeinek együttes hatását mutatják.



A 65. ábra által bemutatott évenkénti hozamok a maximálisan elérhető teljes hozami lehetőséget szemléltetik. A vizsgálatban az évenként a vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló teljes hozami lehetőség letermelését és identikus felújí-

65. ÁBRA

A vágásérettségi korok alapján 2020 és 2100 között elérhetővé váló véghasználati fakészlet az átlagos előhasználatokkal kiegészítve.

tását feltételeztük. Ugyanakkor hangsúlyozni szükséges, hogy a jelenlegi gyakorlatban a tendencia pontosan ellentétes. A túltartott állományok területe és élőfakészlete is folyamatosan növekszik, és ha a jelenlegi gyakorlat nem változik drasztikusan, akkor a továbbiakban sem várható ennek a trendnek a megfordulása. Ezt erősíti az is, hogy az őshonos erdőkben a végrehajtott véghasználatokból levezethető vágáskorok is növekvő tendenciát mutatnak. Emellett egyes esetekben a túltartottá váló állományok erdőtervi vágásérettségi korát a következő erdőtervezéskor megemelik, ami azt eredményezi, hogy az állományok a statisztikákban nem jelennek meg túltartottként, hanem a 10–20 éven belül véghasználatra elérhető hozami lehetőség mennyiségét növelik, feltorlódnak, és a prognosztizált hozami lehetőségekben jelennek meg. Más korosztályszerkezeti hatások mellett ez is oka a 2025–2045 közötti időszakra előrejelzett kiugró mértékű hozami lehetőségeknek, melyeket azonban jelentősen befolyásolhat a klímaváltozás és a kapcsolódó erdőkárok által kiváltott, előre nem ütemezett egészségügyi fakitermelések nehezen prognosztizálható hatása (Mátyás et al. 2018).

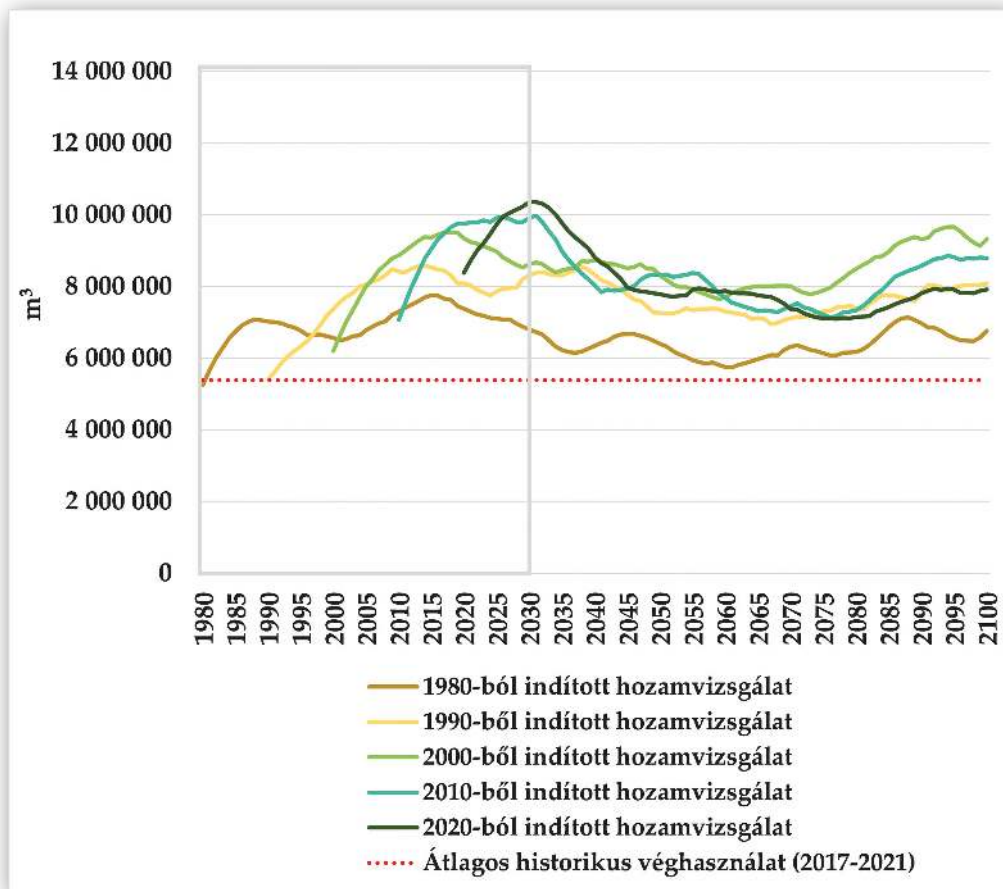
A fakitermelés jelenlegi volumenének növelése, valamint a jelenlegi erdőgazdálkodási gyakorlat újraértékelése és átalakítása nélkül esély sincs arra, hogy a faanyag erdőkben történő egyre nagyobb mértékű akkumulációját lassítsuk, és a jelenleg holttőkeként a minőségromlás veszélyével fenyegetett favagyont mobilizáljuk. A 2025–2045 között elérhetővé váló kiemelten magas, az évi 10–12 milliárd m³-t is meghaladó hozami lehetőségek mobilizálására csak a gazdálkodási gyakorlat alapvető megváltoztatása esetén nyílna lehetőség.

Az előrejelzett időszakban a kitermelésre elérhető évenkénti fakészlet mennyisége nem csökken a 2017–2021 közötti fakitermelés szintje alá. Ugyanakkor a rendelkezésre álló fakészletek fajcsoportonként eltérően alakulnak. Egyes fajcsoportoknál (nemesnyár, bükk, fűz, fenyő, egyéb lágylomb) a prognosztizált időszak második felére jelentős csökkenés mutatkozik a kitermelhető fakészletek mennyiségében. Ezek az időbeli egyenlőtlenések a hazai erdők korosztályszerkezetére vezethetők vissza. Míg a 2020–2040-es időszakban az előbb említett fajcsoportok állományai aránylag nagy területen érik el a vágáskorukat, addig a 2050–2100-as időszakban kisebb lesz a vágáséretté váló állományok területi aránya, és így a várható fahozamuk is lecsökken. Ugyanakkor más fajcsoportokban (egyéb keménylomb, hazai nyár, tölgy) a kitermelhető mennyiség az előrejelzett időszakban folyamatosan növekszik. Ennek mértékét azonban jelentősen befolyásolhatja a klímaváltozás, valamint a biotikus károsítók által kiváltott, előre nem ütemezett egészségügyi fakitermelések nehezen prognosztizálható hatásai (Mátyás et al. 2018).

A hosszú vágáskorú őshonos fajok koreloszlása meglehetősen egyenetlen a magyar erdőkben. A jelenleg 70–100 éves korosztályok erősen felülreprezentáltak. Ennek az az oka, hogy sok erdőt a két világháború alatt és közvetlenül utána termeltek ki, majd újítottak fel. Ezek az erdők mára (a jelenlegi normák szerint) megközelítették vágásérettségi korukat. A gyakorlatban megvalósuló vágáskorok azonban változnak: egyes őshonos fajok vágáskora a korosztályszerkezet fenti egyenlenségével összefüggésben növekvő tendenciát mutat (Kottek et al. 2023).

A hozamvizsgálatot az OEA 1980-as, 1990-es, 2000-es és 2010-es állapotából kiindulva is elvégeztük, az adott időállapotban nyilvántartott erdőterület és vágásérettségi korok figyelembevételével. A 66. ábra mutatja be a különböző időpontokból indított modellfutások eredményeit, összevetve az átlagos véghasználat mértékével.

Az OEA 1980-as állapota alapján prognosztizált véghasználati hozami lehetőségek is meghaladják az utóbbi öt év véghasználati fakitermelésének szintjét, holott 1980-ban még csak 1,6 milliárd hektár volt az erdőrészek területe hazánkban, ami több, mint 300 ezer hektárral kevesebb napjaink

**66. ÁBRA**

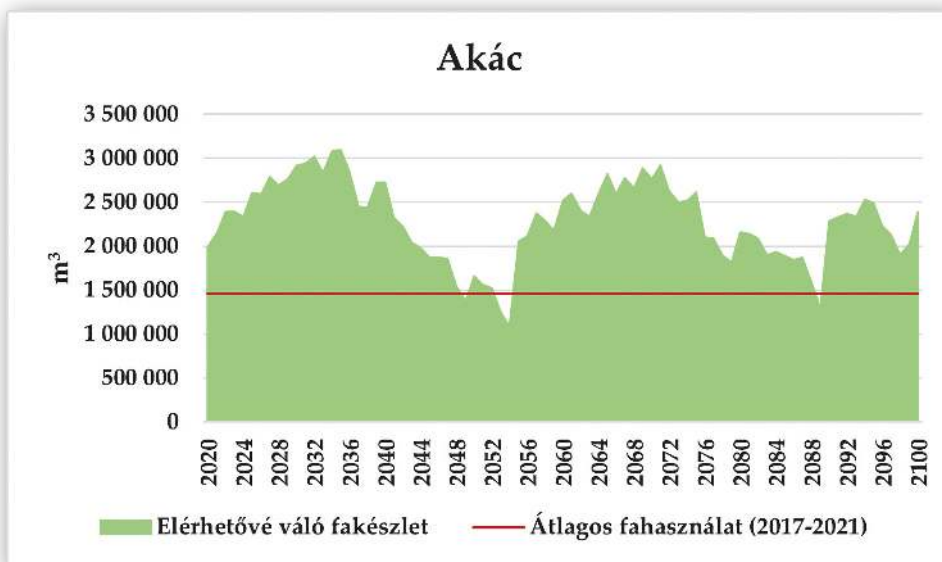
Az OEA 1980-as, 1990-es, 2000-es, 2010-es, illetve 2020-as statisztikai állapotából indított hozamvizsgálatok által előrejelzett véghasználati hozami lehetőségek mértéke, összevetve az átlagos (2017–2021) historikus véghasználat volumenével.

(Az áttekinthetőség miatt ezen a grafikonon kivételesen a prognosztizált hozamok simított adatsorait ábrázoltuk, melyeket 10 éves mozgóátlagok alkalmazásával készítettünk.)

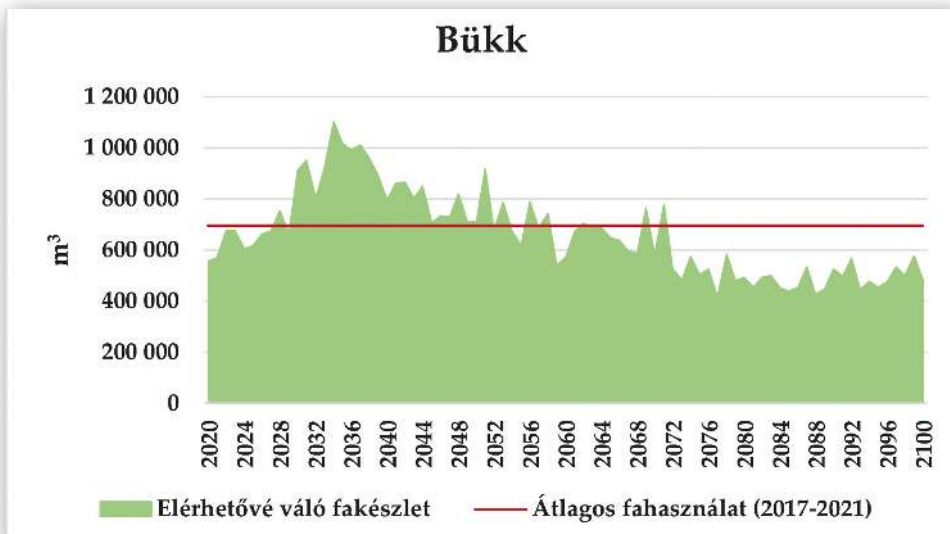
erdőterületénél. Az 1980-ból indított előrejelzés kizárólag ennek a területnek a hozamait veszi számításba.

A későbbi időpontokból indított előrejelzések esetében a véghasználati hozami lehetőségek fokozatos emelkedését figyelhetjük meg. A véghasználatra elérhető fatérfogat növekedése részben az időközben kivitelezett erdőtelepítéseknek köszönhető. Ugyanakkor megfigyelhető az a jelenség is,

hogy a vágásérettségi korukat elérő, meghaladó állományok esetében a tervezői vágásérettségi kort utólag megnövelik, ilyen módon elhalasztva az állomány kitermelését. Ezek az állományok nem kerülnek be a túltartott állományokra vonatkozó statisztikákba, ugyanakkor az eredetileg tervezett vágásérettségi korukat már meghaladták, a vágásérettségi koruk módosításával kitermelésüket elodázzák. Tehát a túltartott állományokban képződő jelentős fakészlet-akkumuláció mellett megfigyelhetünk egy másik fajta akkumulációt is, mely az ún. „elhalasztott” állományok esetében valósul meg. A korosztályszerkezeti hatások mellett ennek a jelenségnek eredményeképpen alakul ki fokozatosan az 1990–2020 közötti OEA-állapotokból indított hozam-előrejelzésekben a 2025–2045 közötti időszakra prognosztizált, fokozatosan megjelenő megemelkedett szintű hozami lehetőség (mely a 65. ábra és 66. ábra esetén szembeötlő púpként jelenik meg). A 67–77. ábrák fajokcsoportonként mutatják be a prognosztizált időszakban évenként véghasználatra és előhasználatra elérhetővé váló fakészleteket.

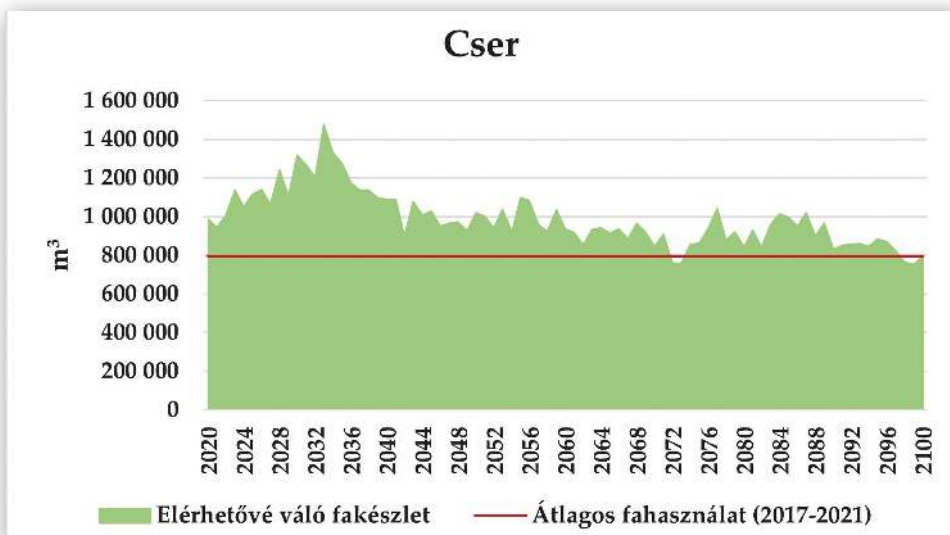
**67. ÁBRA**

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló akác véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



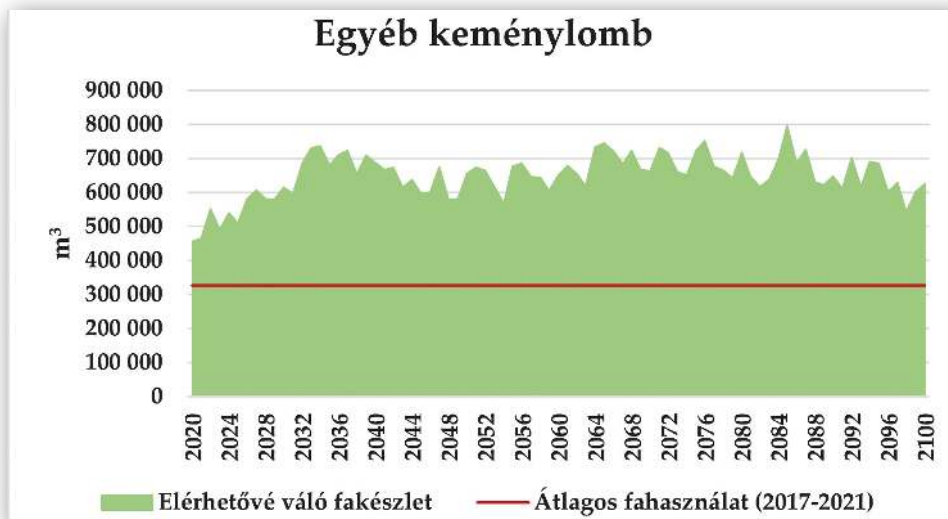
68. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló bükk véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



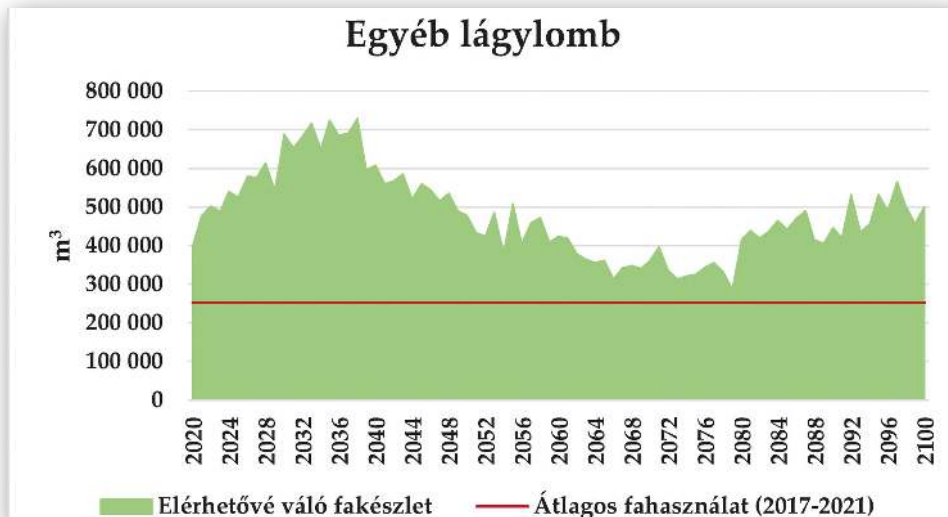
69. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló cser véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



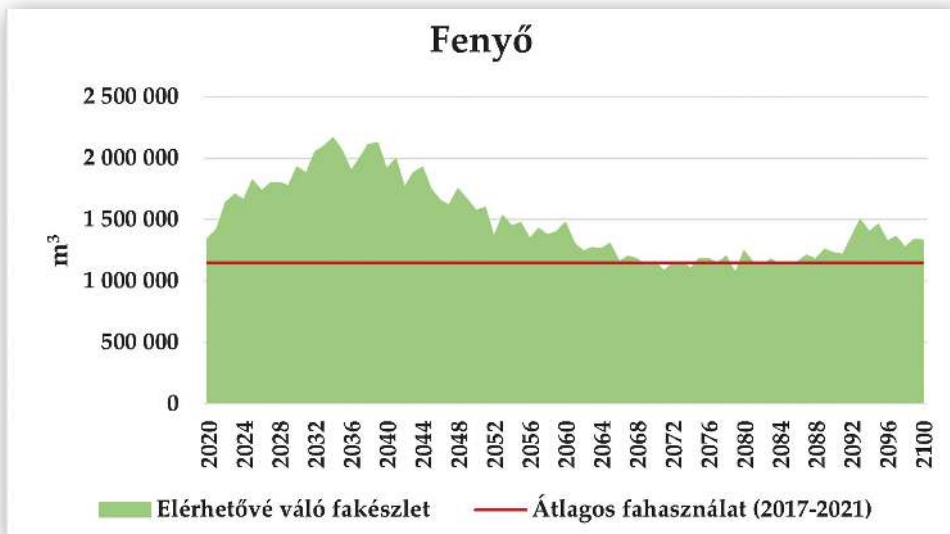
70. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló egyéb keménylomb véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



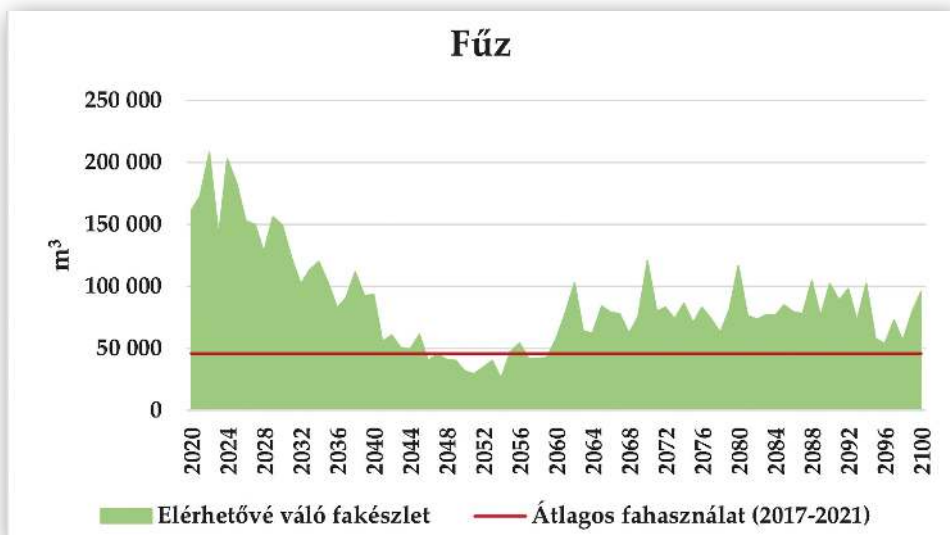
71. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló egyéb lágylomb véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



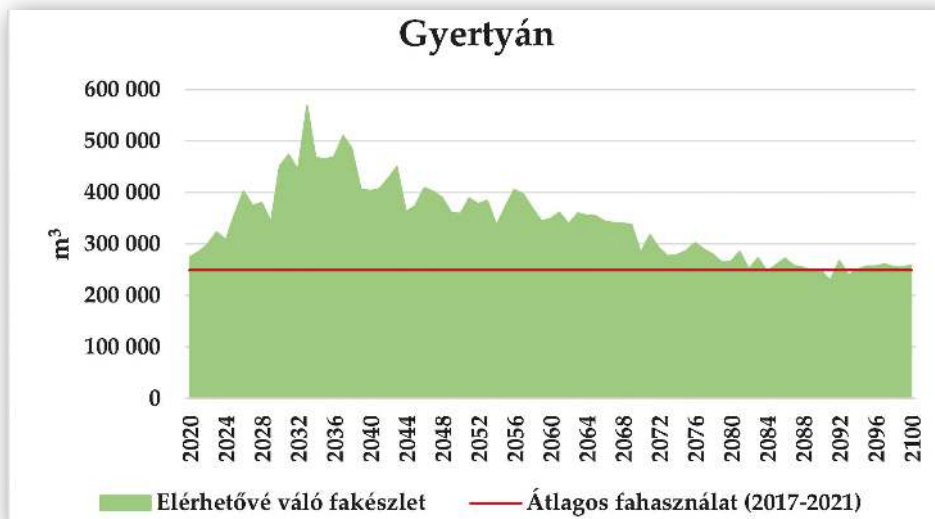
72. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló fenyő véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



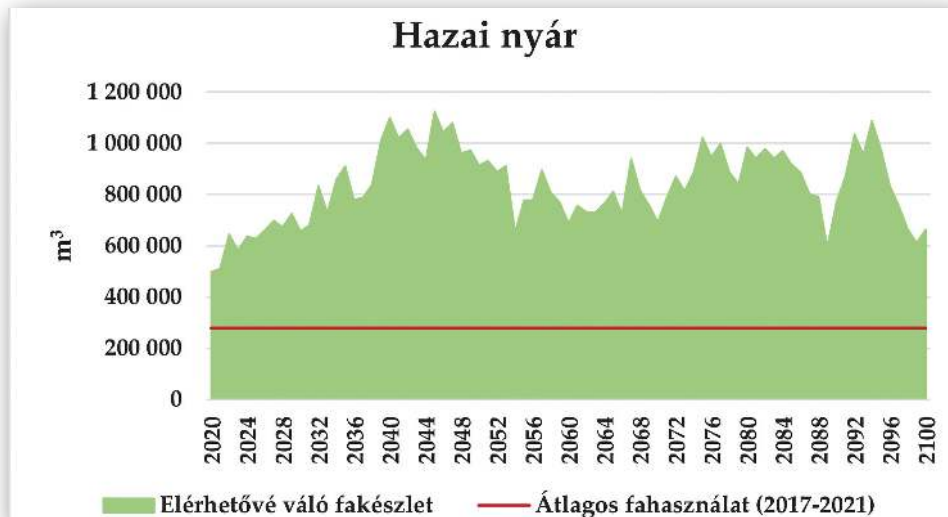
73. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló fűz véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



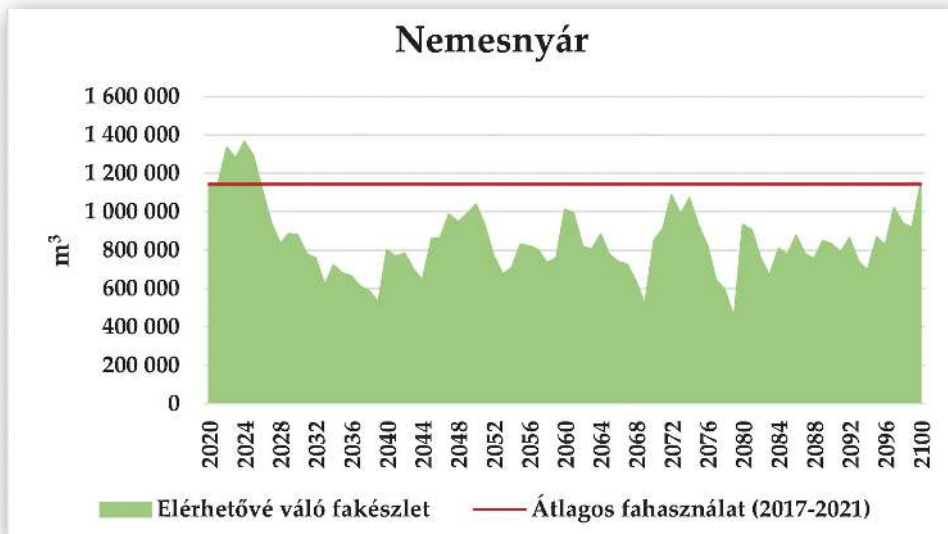
74. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló gyertyán véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



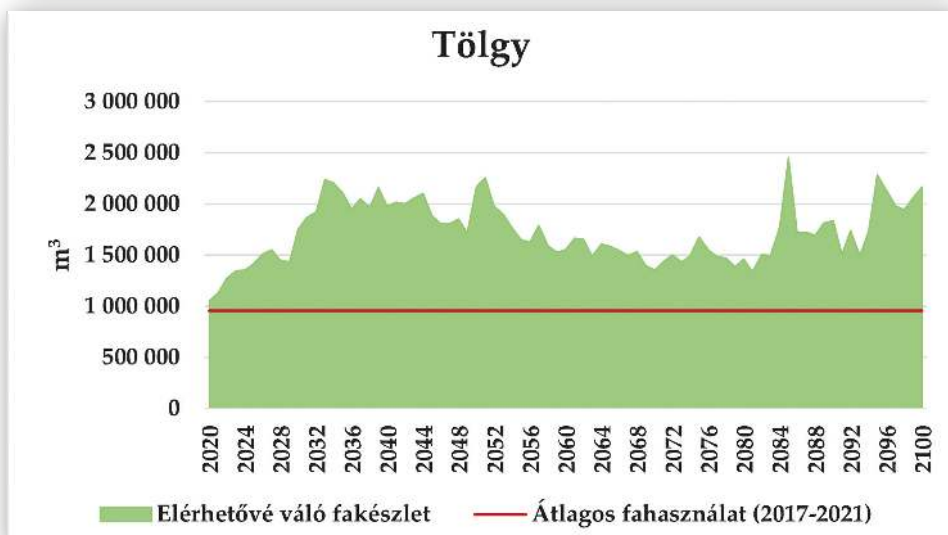
75. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló hazai nyár véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



76. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló nemesnyár véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.



77. ÁBRA

2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló tölgy véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve.

9.3.2 A KOROSZTÁLYSZERKEZET HATÁSAI

A véghasználatra elérhetővé váló élőfakészlet időbeli alakulását nagymértékben befolyásolja az egyes fafajcsoportok jelenlegi korosztály szerkezete. Az alkalmazott hozamvizsgálat módszertana a jelenlegi korosztály szerkezet öröklött hatásait teljes mértékben megőrzi az egész prognosztizált időszakban, nem célozott meg hozamkiegyenlítést.

Az OEA 2020-as statisztikai állapotának korosztály szerkezetét és a véghasználati hozami területek alakulását az alábbi 78. ábra–88. ábra szemlélteti. Az ábrákon a korosztály teljes területét a kék terület jelöli, míg a véghasználati hozami terület korosztály-eloszlását a narancssárga vonal szemlélteti.

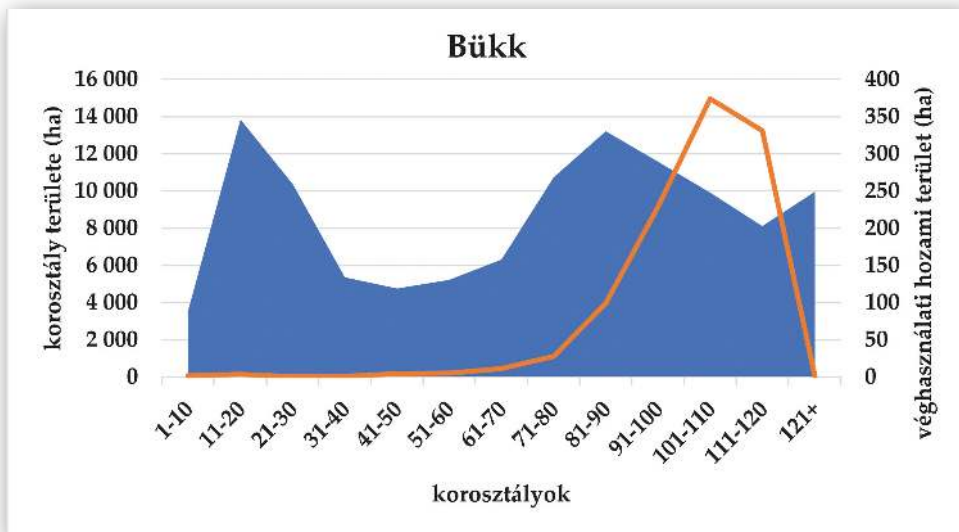
A historikus véghasználati vágáskor-eloszlásokra vonatkozó adatok az OEA 2016–2020 közötti, valós véghasználati adataiból (F-lapok) származnak, az ábrák az ötéves periódus egy évre jutó átlagos hozami területeit mutatják. A véghasználati hozami terület meghatározása során csak azokat a véghasználatokat vettük figyelembe, ahol tarvágás, fokozatos felújítógátás vagy – a fahasználati nyilvántartás szerint – egyéb termelésnek nevezett véghasználat történt.



78. ÁBRA

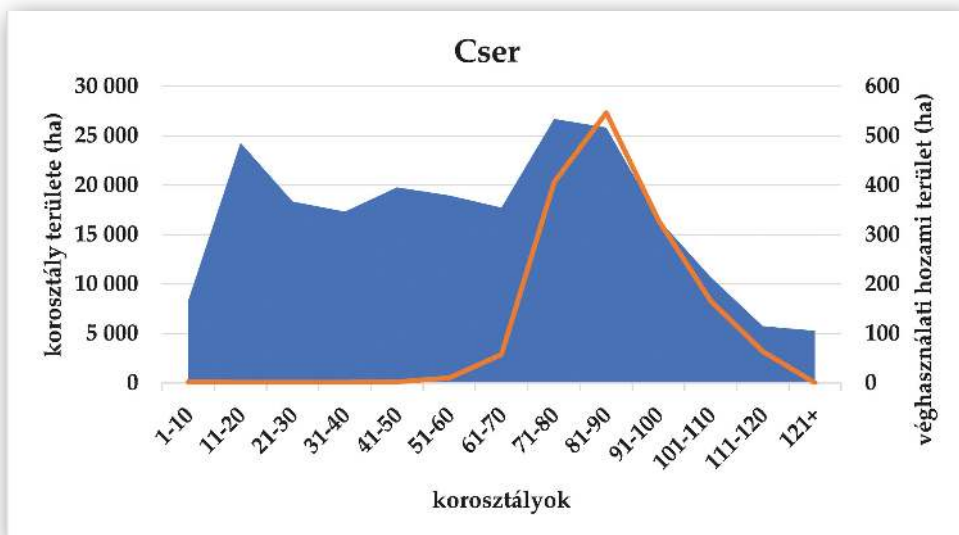
Az akác fafajcsoport teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.

(Kék: a korosztály területe hektárban. Narancssárga: véghasználati hozami terület hektárban.)



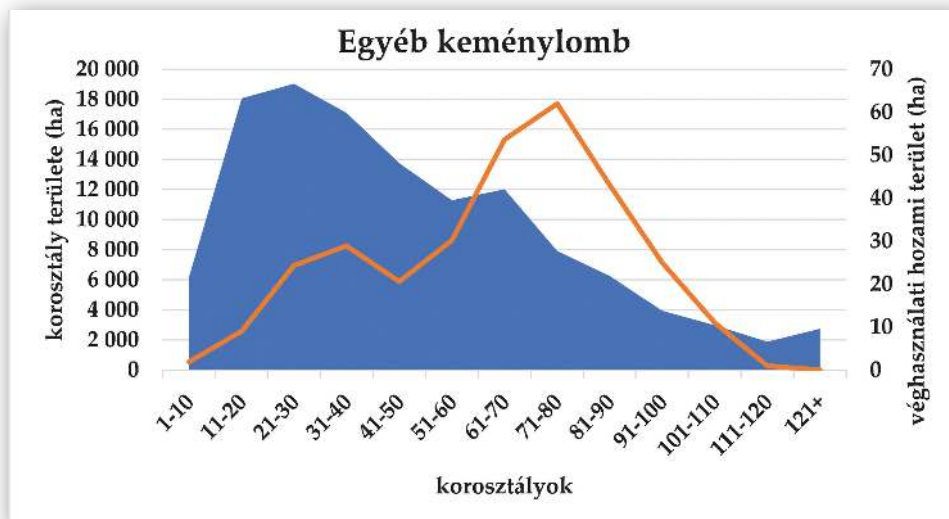
79. ÁBRA

A bükk fajtársók teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



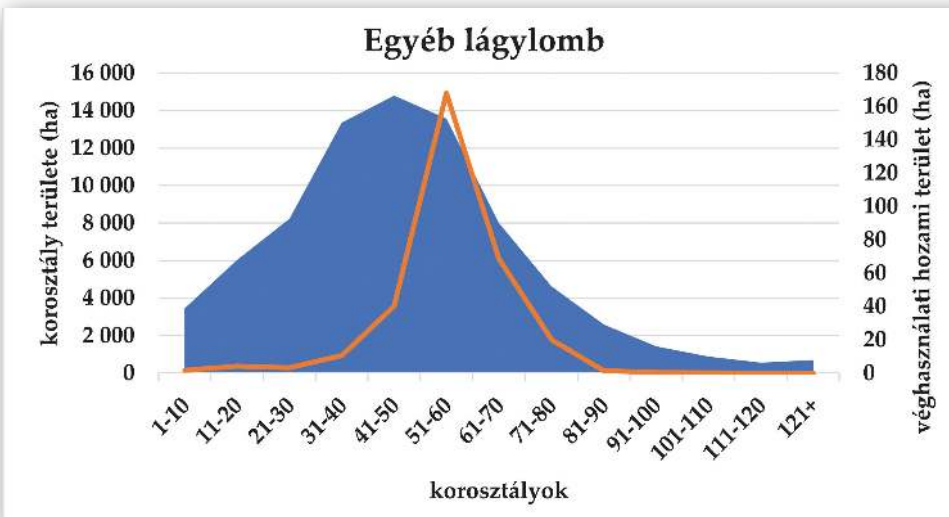
80. ÁBRA

A cser fajtársók teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



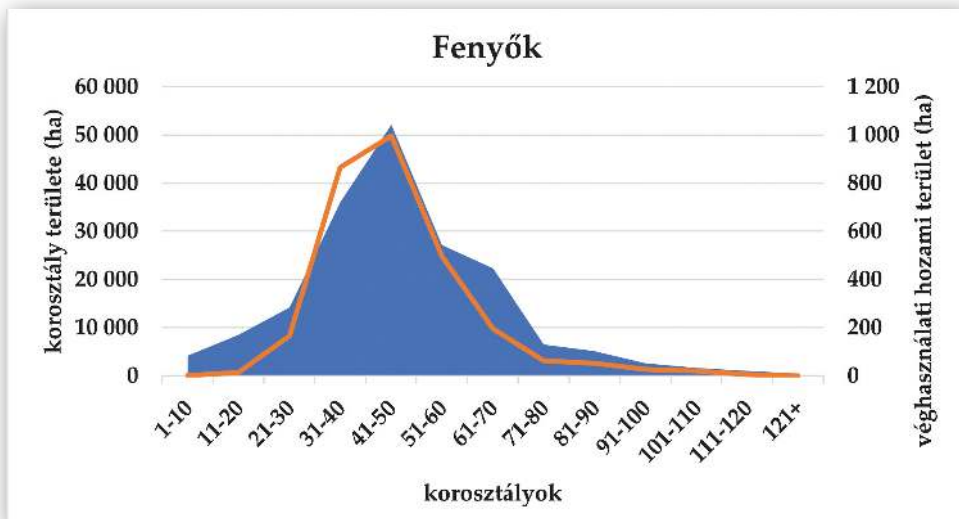
81. ÁBRA

Az egyéb keménylomb fafajsortok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztálonként.



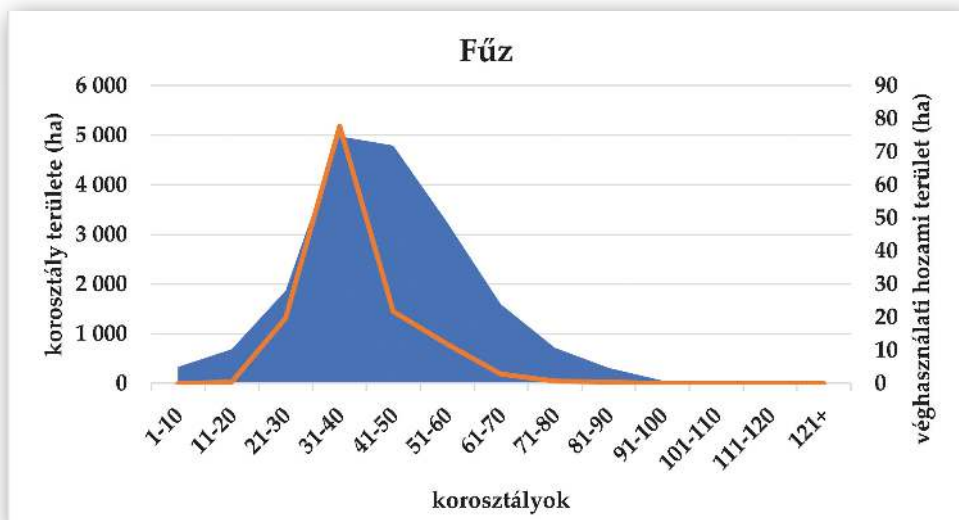
82. ÁBRA

Az egyéb lágylomb fafajsortok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztálonként.



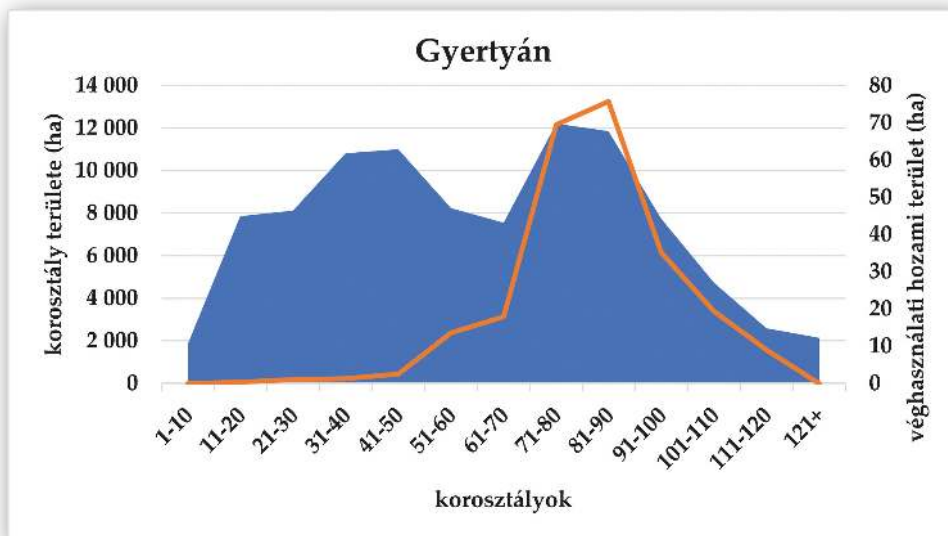
83. ÁBRA

A fenyő fafajsortok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



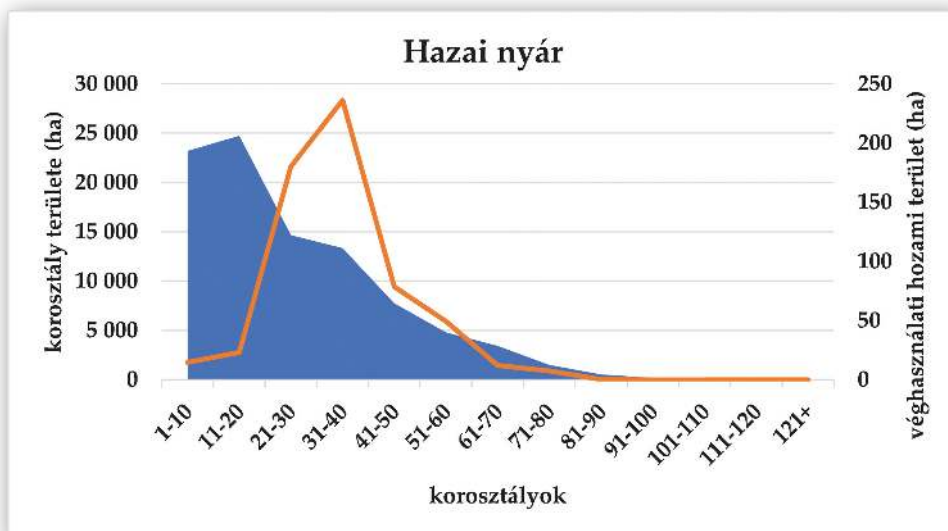
84. ÁBRA

A fűz fafajsortok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



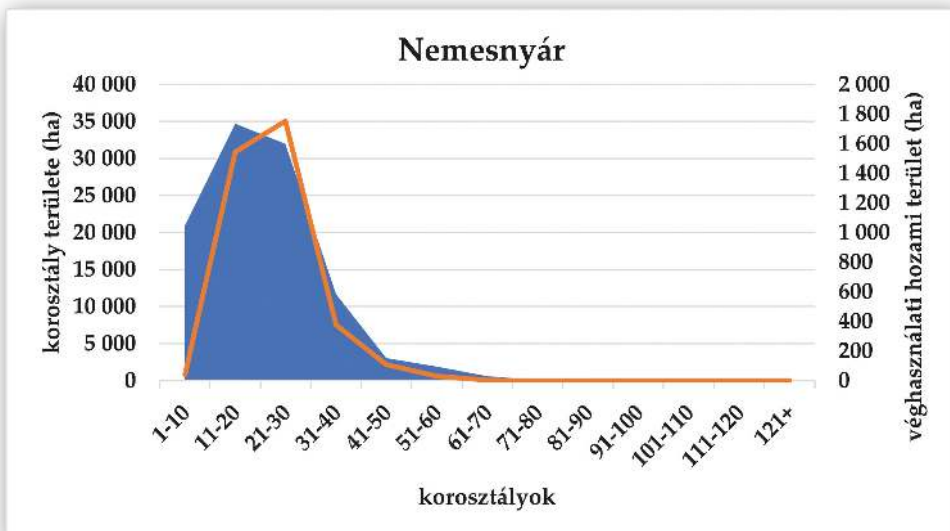
85. ÁBRA

A gyertyán fajfajok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



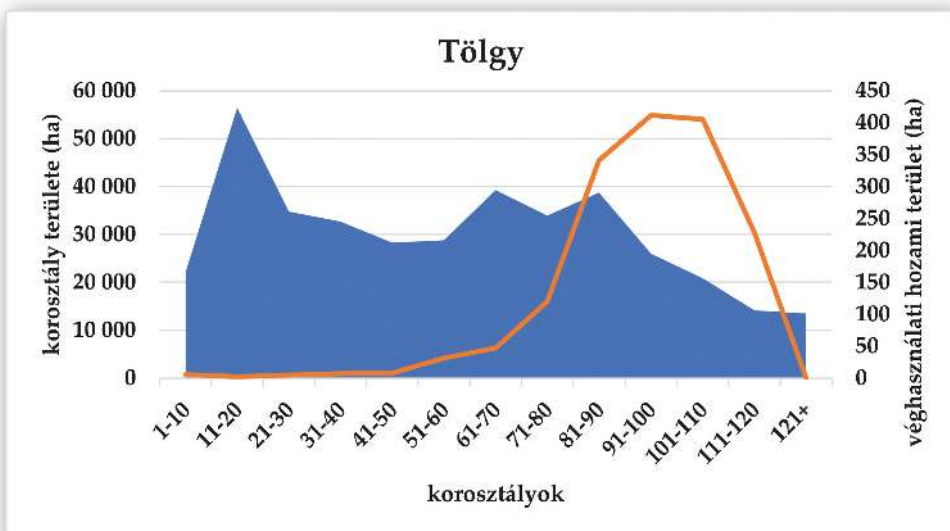
86. ÁBRA

A hazai nyár fajfajok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.



87. ÁBRA

A nemesnyár fajfajcsorok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.

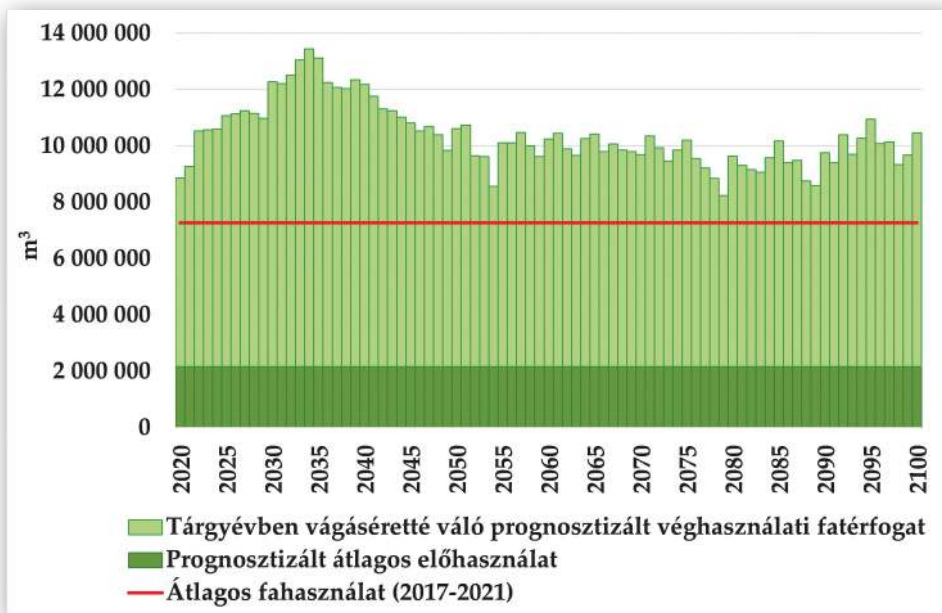


88. ÁBRA

A tölgy fajfajcsorok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként.

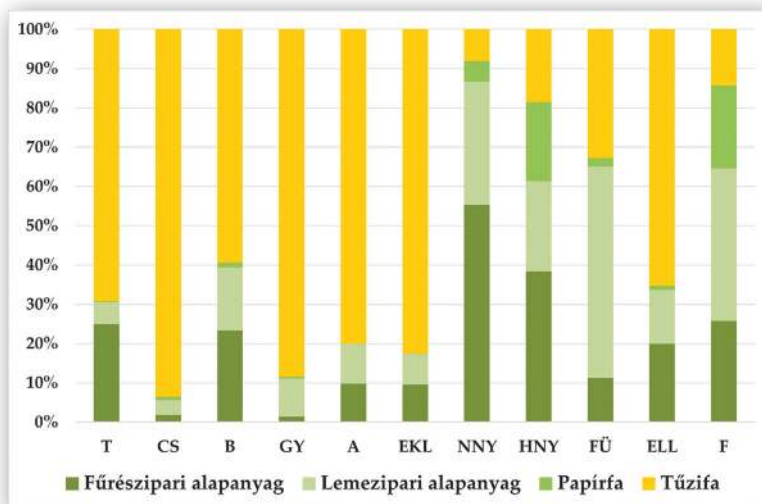
9.3.3 AZ ELŐ- ÉS VÉGHASZNÁLATI HOZAMOK, ILLETVE AZ IPARIFA KIHUZATAL ELŐREJELZÉSÉNEK EREDMÉNYEI

A 89. ábra elkülönítve mutatja be az elérhetővé váló elő- és véghasználati fakészleteket, illetve viszonyítási alapként az ábrán egy piros vonal jelzi a 2017–2021 közötti időszak átlagos fakitermelését. A prognosztizált időszakban a fakitermelésre évente rendelkezésre álló fakészletek mindvégig a historikus fakitermelés szintje feletti értékek. Az ábrán a 2020-as állapotban már túltartott állományok fakészlete nem szerepel. Így megállapítható, hogy a túltartott állományok felhasználása nélkül is több fa áll majd rendelkezésre évenként, mint a 2017–2021 közötti öt évben átlagosan kitermelt mennyiség.



89. ÁBRA

2020 és 2100 között a tervezői vágásérettségi korok alapján elérhetővé váló véghasználati fakészlet az átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve, és a 2017–2021 közötti átlagos fahasználat értékével összevetve.

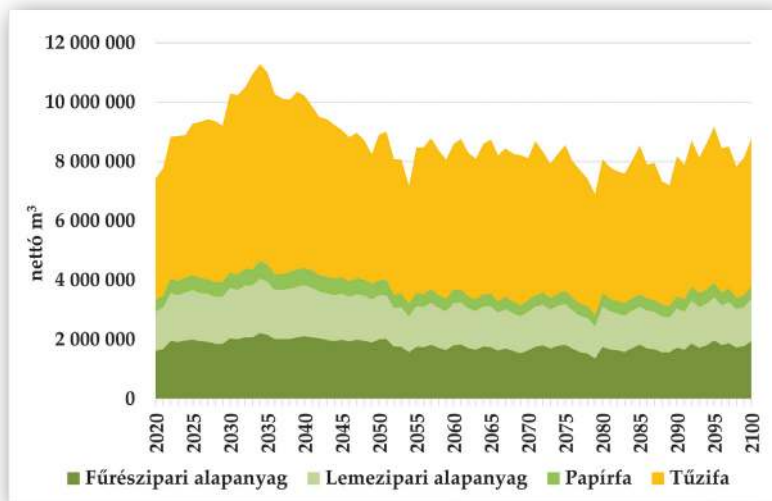


90. ÁBRA

2017–2021 közötti átlagos választékszerkezet az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program adatai alapján.

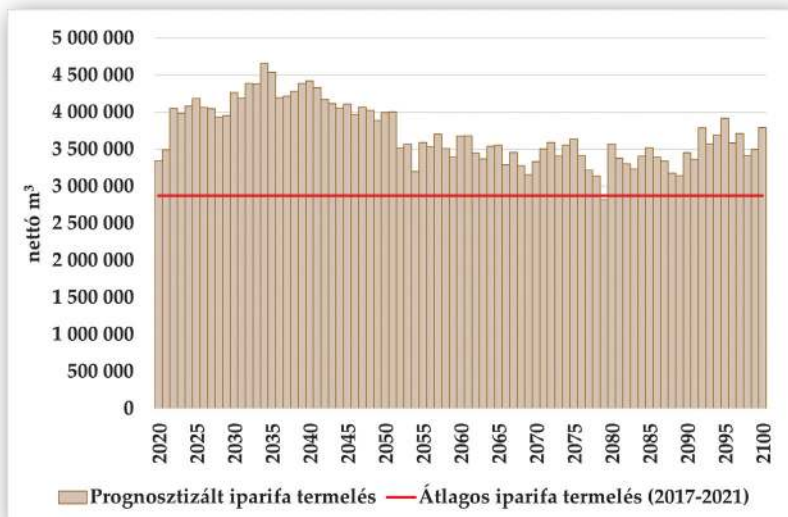
A 90. ábra a 2017–2021 közötti időszakban jellemző átlagos fajcsoportonkénti választékszerkezet alakulását mutatja az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program (OSAP, 2023) adatai alapján.

A 91. ábra a 2020–2100 közötti időszakra előrevetített választékszerkezetet mutatja be. Míg a kitermelésre rendelkezésre álló összes faanyag a teljes előrejelzési időszakban a 2017–2021-es kitermelési szint felett marad, addig az iparifa-választékok esetében a tendencia nem ugyanilyen. Az iparifa részaránya az előrejelzési időszakban csökkenő tendenciát mutat. A 92. ábra a prognosztizált nettó iparifa-termelés mennyiségét mutatja a 2017–2021-es időszak átlagos nettó iparifa-termeléséhez viszonyítva.



91. ÁBRA

A 2017–2021 közötti fajcsoportonkénti választékszerkezet adatai alapján prognosztizált választékszerkezet a 2100-ig tartó időszakban.

**92. ÁBRA**

A 2020 és 2100 közötti időszakra prognosztizált iparifa mennyisége a 2017-2021 közötti átlagos iparifa-termelés értékével összevetve.

Az időszak első részében (azaz 2020–2050 között) a kitermelésre rendelkezésre álló iparifa mennyisége az iparifa-termelés utóbbi években jellemző átlagos szintje felett várható. Azonban a prognosztizált időszak második felében az iparifa-hozam csökkenő tendenciát mutat, sőt egyetlen év esetében (2079-ben) a 2017–2021-es átlag alá esik.

A csökkenő iparifa-hozam oka az, hogy több olyan fafajcsoport esetében, melyeknél az ipari választékok aránya magas (pl. bükk, nemesnyár és fenyő) a korosztályszerkezet úgy alakul, hogy az előrejelzett időszak második felében ezekben a fafajcsoportokban kevés állomány éri majd el a vágásérettségi kort. Igaz, hogy más fafajcsoportok esetében (pl. akác, gyertyán, hazai nyár) a kitermelésre rendelkezésre álló faanyag növekvő vagy változatlan mennyiségben áll rendelkezésre, ez azonban nem kompenzálja az iparifa-hozamot, mivel ezekben a fajcsoportokban lényegesen alacsonyabb az ipari választékok aránya, és főként a tűzifatermelés a jellemző.

9.3.4 A HOZAMVIZSGÁLAT KÖVETKEZTETÉSEI

Az OEA 2021. évi statisztikai állapotában 45,6 millió m³ a túltartott állományok élőfakészlete, mely 1980 óta folyamatosan növekszik, és növekedése az utóbbi évtizedben különösen felgyorsult. A túltartott állományok fakészlete egyfajta holttőkét képez, melyet a minőségromlás fenyeget. Annak érdekében, hogy ez az erőforrás mobilizálhatóvá váljon, az erdőgazdálkodási gyakorlat drasztikus megváltoztatása szükséges.

Eredményeink szerint a túltartott állományok letermelése nélkül is potenciálisan több kitermelhető fa áll rendelkezésre évente az előrejelzés időszakában, mint az elmúlt öt év átlagos fakitermelésének mértéke. A 2025–2045 közötti években kiemelten magas, az évi 10–12 millió m³-t is meghaladó hozami lehetőségek nyílnak meg, azaz jelentős többlet vágásérett fakészlet fog rendelkezésre állni a 2017–2021-ben tapasztalt fakitermelés volumenéhez képest. Ez lehetővé teszi igény esetén a kitermelt mennyiségek fenntartható növelését, ugyanakkor a többlethozami lehetőségek mobilizálására csak a gazdálkodási gyakorlat alapvető megváltoztatása esetén nyílnak lehetőségek.

A 2025–2045 közti időszakban várható megnövekedő kitermelési lehetőségek egyszerre jelentenek hozami lehetőséget, de ugyanakkor felújítási feladatot is, amit a magyar erdőgazdálkodásnak a klímaváltozás kritikus periódusában kellene megoldania. A nagyobb volumenű véghasználatok ezzel együtt lehetőséget adnak fajajcserére, előalkalmazkodott és klímarezisztens szaporítóanyag használatára, illetve más adaptációs lehetőségek nagyterületű gyakorlására, melyek segítségével a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás nagy területen felgyorsítható.

Az időszak első részében (azaz 2020–2050 között) a kitermelhető iparifa mennyisége is jóval a jelenlegi átlagos iparifa-termelés szintje felett várható. A prognosztizált időszak második felében azonban az iparifa-hozam csökkenő tendenciát mutat, sőt egy évben a 2017–2021-es évek átlaga alá esik. Ez a jelenség a hazai erdők korosztályszerkezetének öröklött hatása, amely több, hagyományosan magas iparifa-kihozattal jellemezhető fajcsoportban a kitermelhető faanyag mennyiségének csökkenéséből adódik.

Az iparifa-kihozatal prognosztizált csökkenése a 2050 utáni időszakban rámutat a faipari innováció fontosságára, hiszen még így is csökken a hagyományosan ipari célra használt fajokból kitermelhető mennyiség, hogy a klímaváltozás miatti fajajcserék és fatermőképesség-változások hatásait a bemutatott vizsgálatban figyelembe sem vettük. Azonban a folyamatban lévő klímaváltozás hatására számos faj elterjedési területe csökkenni fog hazánkban (Verkerk et al. 2022; Illés és Móricz 2022). Magyarországon jelenleg a bükk és a lucfenyő a klímaváltozás negatív hatásai által leginkább érintett fajok. Az európai bükkpopulációk hazánkban érik el elterjedési területük szárazsági határát, így az alacsonyan fekvő bükkösök nagy része a század második felére eltűnhet a felmelegedés következtében (Mátyás et al. 2010). Az előrejelzések szerint a lucfenyő szinte eltűnik Közép-, Kelet- és Dél-Európa alacsony és közepes magasságú területeiről (Verkerk et al. 2022). Az elmúlt évtizedekben a magyarországi lucfenyvesekben egyre nagyobb károkat figyeltek meg (Lakatos 1999, Ujvári-Jármay et al. 2016, Mátyás et al. 2018). Az érintett erdőterületek átalakítása folyamatban van gyertyános-tölgyes és egyéb szárazságtűrőbb célállományokká. A jövőben ezeken a területeken olyan szárazságtűrő fajok fognak nagy arányban megjelenni, melyek jelenleg alacsony iparifa-választékokkal jellemezhetők. Ilyen például a cser, a gyertyán vagy az akác. Fentiek miatt nagyon fontos, és hosszabb távon elkerülhetetlen a szárazságtűrő fajok bevonása a jó minőségű fatermékek előállításába, amihez innováció és új eljárások kidolgozása szükséges. Javasolt új terméktípusok tervezése és új gyártási eljárások kidolgozása annak érdekében, hogy a manapság ipari célra kevésbé használható fajok is felhasználhatóak legyenek hosszú élettartamú, nagy hozzáadott értékkel bíró fatermékek előállítására.

Az utóbbi években a minőségi faanyag és a fenntartható építőanyagok iránti kereslet növekedése és a kínálat visszaesése miatt Európa-szerte megújult az érdeklődés a különféle hőkezelési eljárások iránt (Boonstra 2008, Esteves és Pereira 2009). Számos tanulmány elemzi a szárazságtűrő fajok technológiai tulajdonságainak javítására szolgáló módszereket, és felmerül az igény az ipari felhasználásra kevésbé alkalmas, kevésbé tartós faanyag felhasználhatóságának további vizsgálatára (Esteves és Pereira 2009, Todaro 2012). A csertölgy ipari felhasználására vonatkozóan ígéretes eredmények születtek, melyek a hidrotermikus kezelés kedvező hatásairól számolnak be (Todaro et

al. 2012, 2013, Cetera et al. 2016). Az innovatív, újfajta fatermékek előállításával mellett a technológiai fejlődés elősegítheti a feldolgozás hatékonyságát, minimalizálhatja a hulladéktermelést (Li et al. 2022), valamint elősegítheti az újrahasznosítás minél szélesebb körű alkalmazását is (Wilson 2010, Király et al. 2023).

A jelen fejezetben bemutatott hozamvizsgálaton alapuló különböző fakitermelési intenzitású erdőkezelési forgatókönyvek bemutatására könyvünk 11. fejezetében fog sor kerülni.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

9. fejezet: Az erdőkezelési forgatókönyveket megalapozó hozamvizsgálat

A fejezet célja, hogy tudományosan megalapozza a jövőbeli erdőkezelési forgatókönyvek fakitermelési előrejelzéseit és szénmérleg-elemzéseit az elérhető hozamok modellalapú előrejelzésével. Ehhez egy egyszerű, de átfogó hozamvizsgálati modellt alkalmaz, amely az Országos Erdőállomány Adattár adataira és a körzeti erdőtervekben szereplő vágásérettségi korokra alapozva modellezi a hazai fakitermelési lehetőségeket 2020 és 2100 között. A vizsgálat fő tanulsága, hogy még új erdőtelepítések nélkül is több faanyag válik évente kitermelhetővé ebben az időszakban, mint az elmúlt öt év átlagában – különösen a 2020–2050 közötti időszakban, ahol a potenciális fakitermelés a jelenlegi szint 156%-ára emelkedhet.

A számítások szerint ez évi akár 4 millió köbméter többletet is jelenthet a meglévő állományokból, anélkül, hogy hozzányúlnánk a túltartott erdők tartalékaihoz. Ez hangsúlyozza az ágazat kiaknáztatlan lehetőségeit. Az iparifa-termelés az időszak első felében még meghaladhatja a historikus átlagot, de a század második felére csökkenő trend várható – akár a 2017–2021-es szint alá is süllyedhet. Ez a kilátás a faipari innovációt és az alulhasznosított, szárazságtűrő fajok nagyobb arányú bevonását teszi szükségessé a hosszú élettartamú termékek előállításába.

A túltartott állományok vizsgálata alapján megállapítható, hogy a magyar erdőterület 11,5%-a túltartott, ezen állományok élőkészlete pedig az elmúlt 40 évben megduplázódott, és 2021-re elérte a 45 millió köbmétert. Ez hatalmas, de egyre inkább veszélyeztetett tartalékot jelent: ha nem változtatunk a jelenlegi gazdálkodási gyakorlatokon, ezeknek az állományoknak a fakészlete elértéktelenedhet, piacképessége csökkenhet. Ennek az erőforrásnak a mozgósításához jogszabályi és szakmai reformokra, valamint célzott beavatkozási stratégiákra lenne szükség.



ÚJ ERDŐK ÉS VÁLTOZATOS FAFAJÖSSZETÉTEL

Új erdők telepítése, valamint a jövő termőhelyi feltételeit figyelembe vevő és sok fajfajjal történő szerkezetátalakítások jelentős föbblet-szénmegkötést tesznek lehetővé.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





**A FAKITERMELÉS LEÁLLÍTÁSA CSAK EGY RÖVID TÁVON ÉRVÉNYESÜLŐ
SZÉNAKKUMULÁCIÓVAL JÁRÓ HATÁS**

A fakitermelés teljes leállítása rövid távon tűnhet hatásos eszköznek a szénmegkötés azonnali növelésére, de a következő fejezetben bemutatott elemzések szerint már 2065-re CO₂ kibocsátóvá tenné ez a gyakorlat a hazai erdőket. A fakitermelés leállítása tehát nem lehet klímavédelmi megoldás.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



A FÁBÓL KÉSZÜLT ÉPÜLETEK KLÍMAVÉDELMI ESZKÖZÖK

A fajpári innovációk, például a hosszú élettartamú fatermékek arányának növelése, az újrahasználati és újrahasznosítási technológiák fejlesztése jelentős javulást eredményezhet a szénmérleg alakulásában.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

10.

**MITIGÁCIÓS
INTÉZKEDÉSEK
EGYEDI HATÁSAINAK
ÉRTÉKELÉSE
A HAZAI ERDŐALAPÚ
SZEKTORBAN**

A HAZAI

erdőalapú szektor klímamitigációs lehetőségeinek átfogó vizsgálata során célunk három illusztratív klímamitigációs forgatókönyv megalkotása volt. Ennek érdekében végeztük el a maximális hozamok előrejelzését, melyet könyvünk előző fejezetében mutattunk be. Emellett szükség volt a lehetséges intézkedések egyedi vizsgálatára is, hogy megismerjük azok hatásainak irányát és nagyságrendjét. Ezek az egyedi vizsgálatok szolgáltatották aztán az alapját a komplex intézkedéscsomagok összesített hatásait leíró három illusztratív mitigációs scenárió megkomponálásának.

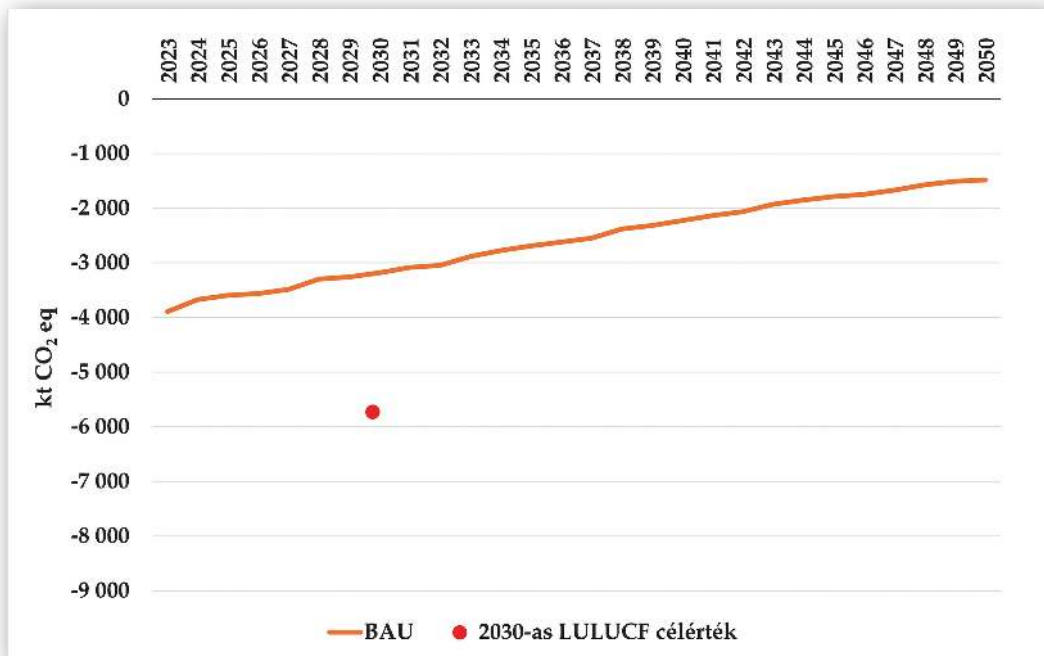
Könyvünknek ebben a fejezetében ízelítőt adunk az egyes mitigációs intézkedések egyedi vizsgálatának legfontosabb eredményeiből.

10.1 A MEGLÉVŐ ERDŐK ÉS AZ EZEKRE ALAPULÓ FAIPAR BAU SZÉNMERLEGÉNEK ELŐREJELZÉSE

Vizsgálatunk során viszonyítási alapként (BAU – *Business as Usual*, azaz a jelenlegi gyakorlat folytatásán alapuló forgatókönyv) előrejeleztük a hazánkban már 2023-ban is létező erdők szénegyenlegét az FICM-modell segítségével. Emellett modelleztük a meglévő erdőkhöz kapcsolódó fahasználatokból származó fatermékek (HWP) szénegyenlegét is. Ebben az esetben átlagos szintű fakitermelési volument tételeztünk fel, amelyet az utolsó tíz év (2014–2023) fahasználatainak átlaga alapján 7,5 millió m³-re állítottunk be.

Eredményeink szerint (93. ábra) új erdőtelepítések nélkül a hazai erdők szénmegkötése egyértelműen csökkenő tendenciát mutat, és 2050-re a jelenlegi 4 millió tCO₂-egyenérték/év szintről mindössze 1,5 millió tonna CO₂-egyenérték/év-es szintre csökken le. Ennek a csökkenő trendnek az oka elősorban erdeink korosztályszerkezete és fokozatos elöregedése, összhangban az egész Európára jellemző hasonló tendenciával.

A modellezés során a 2030-as LULUCF-célérték elérhetőségét is megvizsgáltuk. Hazánk esetében a LULUCF-rendelet által meghatározott célérték 5,7 millió tonna CO₂ egyenérték/év-es szénmegkötési szint elérése a 2030-as évre. Ezt az értéket a teljes földhasználati szektor nettó megkötései kellene, hogy elérjék, de a LULUCF-szektoron belül az erdők és a fatermékek szénmegkötése a meghatározó, hiszen a LULUCF-szektor többi alszektora nettó szénkibocsátó. Ahhoz, hogy a célérték reálisan elérhető legyen, az erdőalapú szektornak valamilyen mértékben túl is kellene teljesítenie az előírt megkötési szintet, hogy ily módon kompenzálni tudja a szántóföldi gazdálkodáshoz kapcsolódó emissziókat, és így a teljes LULUCF nettó egyenleg a célértéknek megfelelően alakuljon. Ezzel szemben láthatjuk a prognózis alapján, hogy pusztán meglévő erdeinkre alapozva a célérték elérése gyakorlatilag lehetetlen. A mezőgazdasági szektorban hatalmas mértékű emissziócsökkentésre, vagy nagyarányú innovatív szénmegkötési megoldásokra lenne szükség ahhoz, hogy a meglévő erdők szénmegkötési szintje mellett a 2030-as célérték teljesíthető legyen.

**93. ÁBRA**

A hazai erdőalapú szektor szénmérlegének előrejelzése új erdőtelepítések nélkül, kizárólag a meglévő erdők, illetve az ezekből származó fatermékek alapján 2050-ig (BAU szénmérleg).

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

10.2 ERDŐTELEPÍTÉS, ILLETVE FAJAJCSERE MITIGÁCIÓS HATÁSÁNAK ELŐREJELZÉSE

Vizsgálatunk következő lépéseként arra voltunk kíváncsiak, hogy egy közepes ambíciószintű erdőtelepítési program mekkora mitigációs hatással bír, és hogyan támogatja a célérték elérését.

Ebben az esetben 5000 ha/év-es erdőtelepítési szintet feltételeztünk. A telepített erdők fajajösszetételének meghatározása során tartottuk magunkat a jelenlegi trendekhez, azaz olyan fajok telepítését feltételeztük, melyek az utóbbi években a telepítések fajajösszetételében jelentős arányban szerepeltek. A telepített fajajokat és a feltételezett területüket a 4. táblázat részletezi.

4. TÁBLÁZAT

*A telepítések fajajösszetétele
a 2024–2050 időszakban*

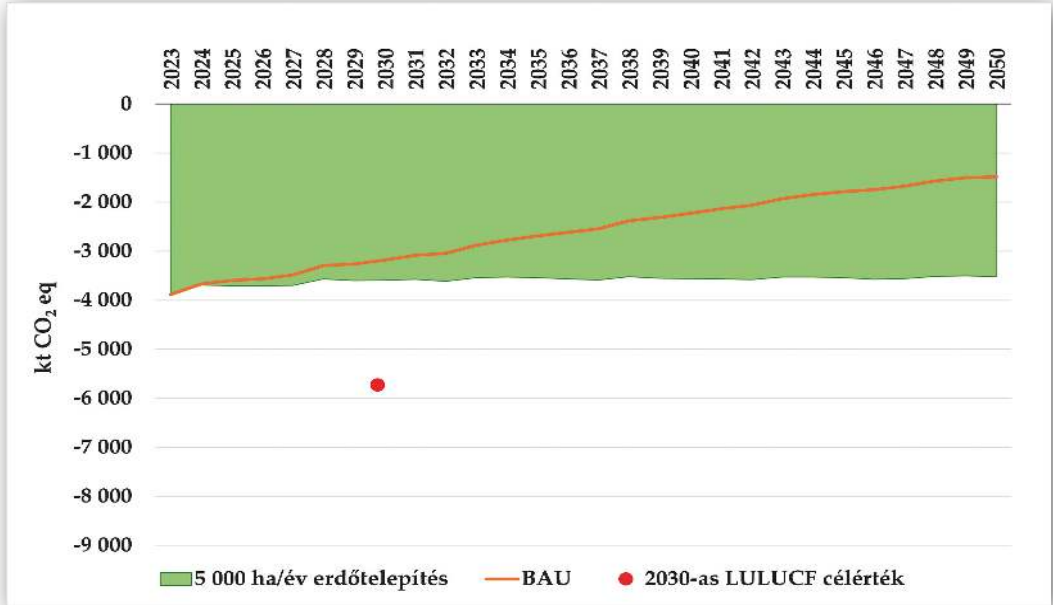
Fajajcsoport	A telepített terület nagysága a 2024–2050 években (ha/év)
T	1 250
CS	750
A	1 500
NNY	500
HNY	1 000

A 94. ábra szemlélteti az 5000 ha/év erdőtelepítési szint hatását a szénmérleg alakulására. Láthatjuk, hogy a szénmegkötések csökkenő tendenciája ebben az esetben megszűnik, és a szénmegkötés valamivel a 4 millió tonna CO₂-egyenérték/év-es szint alatt stabilizálódik. Ez az eredmény azonban a 2030-as célérték elérését önmagában nem teszi lehetővé.

Érdemes itt kiemelni, hogy a 2020–2022-es években a hazai erdők rekord mértékű, a 6 millió tonna CO₂-egyenérték/év szintet meghaladó szénmegkötést produkáltak. Ugyanakkor a modellezési eredmények arra engednek következtetni, hogy ez a magas szénmegkötési szint hosszú távon nem fog fennmaradni. Valószínűsíthető, hogy az elmúlt években tapasztalt jelenség több átmeneti hatás, pl. a COVID-pandémia hatásai, illetve az erdők szénmegkötésének inherens változatossága eredőjeként állhatott elő.

Az erdőtelepítés mitigációs hatásának vizsgálata mellett elemeztük a gyors növekedésű, hengeres iparifa ültetvények létesítésének lehetőségét is. Ezek az ültetvények jogi szempontból nem minősülnek erdőknek, hanem a szántó művelési ág megtartása mellett teszik lehetővé magas minőségű faipari alapanyag termelését rövid időtávon belül. Ezzel fontos nyersanyagforrást jelenthetnek a körkörös biogazdaság számára, illetve elősegítik a fa hosszú távú, nagyarányú beépítését is épületekbe, illetve hosszú élettartamú és nagy hozzáadott értékű fatermékekbe.

A modellezés során 5000 ha/év-es telepítési szintet feltételeztünk a hengeresfa ültetvények esetében is, a feltételezett fajajösszetételt pedig a 5. táblázat mutatja be.



94. ÁBRA

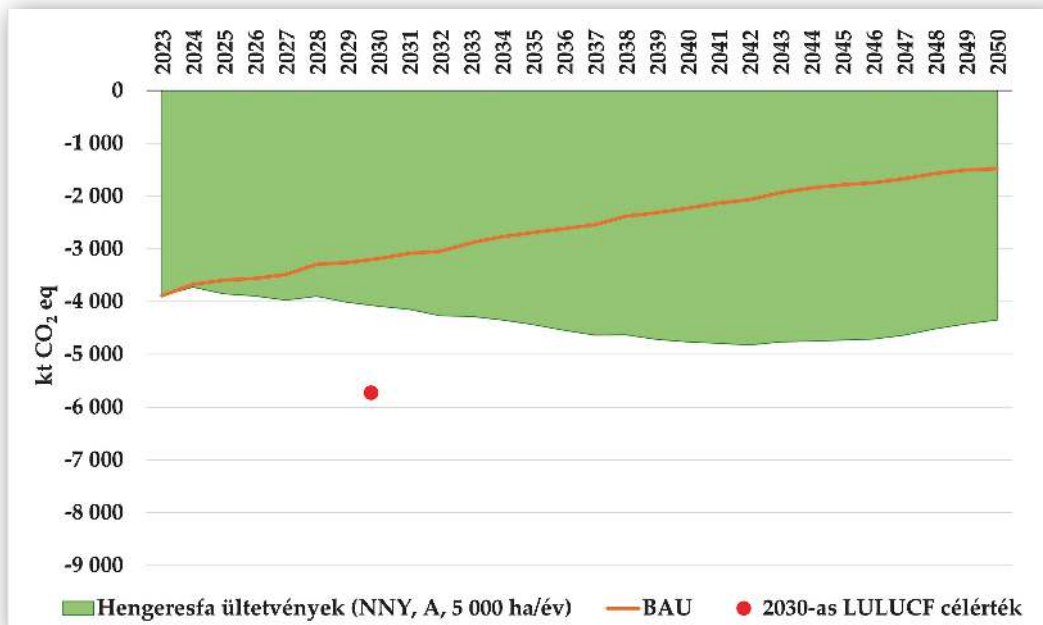
5000 hektár/év mértékű erdőtelepítés hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

5. TÁBLÁZAT

A létesített hengeresfa ültetvények fajösszetétele a 2024–2050 időszakban

Fajcsoport	A telepített terület nagysága a 2024-2050 években (ha/év)
A	2 500
NNY	2 500



95. ÁBRA

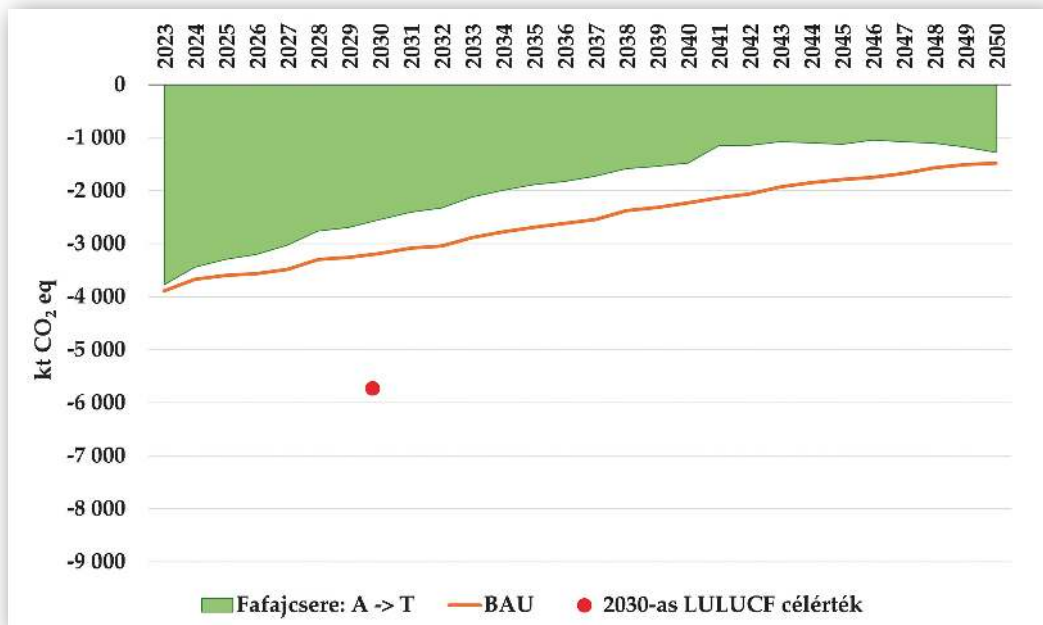
5000 ha/év gyors növekedésű, hengeres iparifa ültetvény telepítése hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

A 95. ábra szemlélteti a hengeresfa ültetvények mitigációs potenciálját a 2050-ig terjedő időszakban. Bár szénmegkötésük jelentősebb, mint a hagyományos erdőtelepítésekhez társítható megkötések, még ez sem teszi lehetővé a 2030-as célérték elérését.

Az új erdők és ültetvények létesítésének hatásvizsgálata mellett elemeztük különböző fafajcserék hatásait is. Erre példaként az akác–tölgy fafajcserét mutatjuk be, melyre vonatkozó eredményeinket a 96. ábra szemlélteti.

Ebben az esetben egy olyan szélsőséges esetet mutatunk be, melyben minden véghasználati korú akácállományt egységesen tölgy fafajcsoportú állományokra cserélünk le, ilyen módon fokozatosan, teljes egészében felszámolva az akácállományokat. Azért mutatunk be egy ennyire szélsőséges példát, mert a kevésbé drasztikus fafajcserék hatása a szénmérlegre kisebb mértékű, és a 2050-es céldátumig alig kimutatható. A választott szélsőséges és életszerűtlen példa azonban jól rámutat arra, hogy a természetvédelmi szempontból kedvezőnek ítélt akác–tölgy fafajcsere klímamitigációs szempontból kontraproduktív, hiszen az intenzív és gyors növekedésű akác szénmérlege rövid távon mindenképpen kedvezőbb, mint a lassú növekedésű tölgy fafajoké. Így az ilyen fafajcserék végrehajtása esetén erdeink mitigációs potenciálja jelentősen lecsökkenne.



96. ÁBRA

Akácállományok véghasználatát követő akác–tölgy fafajcsere hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

10.3 A FAIPARHOZ KAPCSOLÓDÓ MITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK HATÁSBECSLÉSE

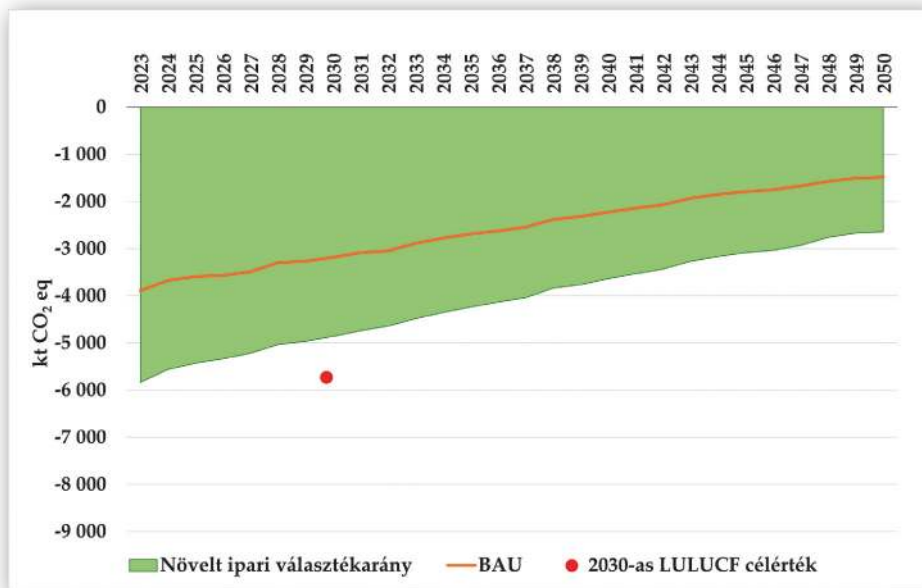
A faiparhoz kapcsolódó mitigációs intézkedések hatásait Király et al. (2024c) átfogóan elemezték. Ennek során megvizsgálták a favasztékok arányának különböző mértékű módosításaihoz kapcsolódó mitigációs hatásokat. Az iparifa arányának növelése a körkörös biogazdasági szemlélettel összhangban kedvezően befolyásolja a fatermékek élettartamát és a széntárolás életidejét, így mindig kedvezőbb, mint az azonnali energetikai célú felhasználás.

A választékarányok módosítása mellett jelentősen javíthatja a faalapú szektor szénmérlegét a termékek életidejének meghosszabbítása, valamint az újrahasznosítás mértékének növelése, illetve a kedvezőbb hulladékgazdálkodási megoldások.

Nagyon jelentős hatása van még annak, ha exportra termelés helyett a hazai feldolgozást részesítjük előnyben. Ennek oka, hogy az elszámolás szabályai szerint a hazai termékek sokkal kedvezőbben érvényesülnek, mint az exportált faanyag. Exportálás esetén a fa további sorsa nem ismert minden kétséget kizáróan, így az ÜHG-leltárkészítést szabályozó IPCC-előírások szerint az exportált faanyag széntartalma nem számolható el széntárolásként. Ezzel szemben a hazánkban feldolgozott fatermékekben tárolt szén elszámolható, és kedvezően befolyásolja országunk szénmérlegét.

Könyvünkben eltekintünk a faiparhoz kapcsolódó egyes mitigációs intézkedések részletekbe menő elemzésétől. Ehelyett két jellemző esetet mutatunk csak be, melyekben a fakitermelés nagyságának növelése nélkül vizsgáljuk a faipari mitigációs intézkedések mozgásterét.

Az első esetben a fakitermelés mértékét 7,5 millió m³-es szinten tartjuk, azonban megnöveljük az ipari faválasztékok arányát a 6. táblázat szerint, továbbá azt feltételezzük, hogy a kitermelt faanyagot teljes egészében hazánkban dolgozzuk fel. Ebben az esetben közel 2 millió tonna CO₂-egyenérték/éves mitigációs potenciállal számolhatunk a 2050-ig terjedő időszakban, ahogyan azt a 97. ábra mutatja.



97. ÁBRA

A kitermelt fa ipari választékarányának növelése és 100%-os hazai ffeldolgozás hatása összevetve a meglévő erdők és faipar BAU szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC konvencióknak megfelelően.

6. TÁBLÁZAT

A modellezés során használt megnövelt ipari faválaszték arányok fafajcsoportonként

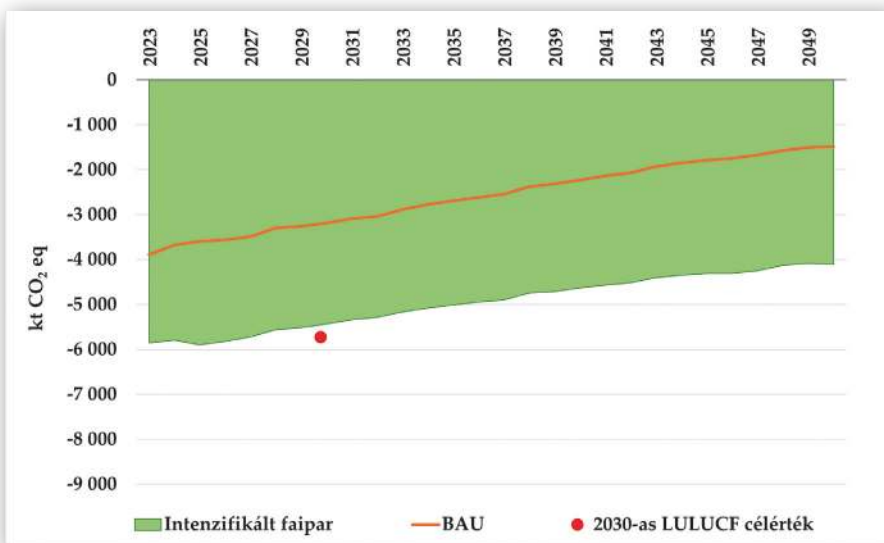
	T	CS	B	GY	A	EKL	NNY	HNY	FÜ	ELL	F
Fűrészipari rönk	50%	40%	40%	20%	40%	30%	50%	50%	20%	40%	40%
Rostfa	20%	20%	30%	30%	10%	30%	40%	30%	60%	30%	40%
Papírfa	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%	5%	5%	10%
Tűzifa	25%	35%	25%	45%	50%	35%	5%	15%	15%	25%	10%

Második lehetőségként bemutatjuk azt az esetet, melyben a fakitermelés mértékét továbbra is változatlan, 7,5 millió m³-es szinten tartjuk, és a favalasztékok arányát a 6. táblázat szerint állítjuk be, illetve továbbra is azt feltételezzük, hogy a kitermelt faanyagot teljes egészében hazánkban dolgozzuk fel – azonban ezen intézkedések kiegészítésekként még optimalizált hulladékgazdálkodási stratégia bevezetését is feltételezzük (7. táblázat, 98. ábra). Ez alatt azt értjük, hogy növeljük a termékek életidejét újrahasználat segítségével. Emellett megnöveljük az újrahasznosítás mértékét, és csökkentjük a fahulladékok hulladéklerakással történő ártalmatlanításának arányát. A hulladéklerakás helyett az innovatív bioenergetikai felhasználást részesítjük előnyben, illetve emellett növeljük a hulladéklerakással ártalmatlanított fahulladékok esetében a metánvisszanyerés mértékét is.

7. TÁBLÁZAT

Az optimalizált hulladékgazdálkodási stratégiához kapcsolódó modell paraméterezés

Paraméter	Érték
Fűrészáru felezési ideje (év)	50
Laptermékek felezési ideje (év)	35
Papír és karton felezési ideje (év)	2
Hulladéklerakóra kerülő fahulladék %	2
Hulladéklerakóra kerülő papírhulladék %	2
Újrahasznosított fűrészáru %	60
Újrahasznosított laptermékek %	60
Újrahasznosított papír és karton %	90
Metánvisszanyerés %	60



98. ÁBRA

A kitermelt fa ipari választékarányának növelése és 100%-os hazai fafeldolgozás, valamint optimalizált hulladékgazdálkodási stratégia feltételezésével, az eredményeket összevetve a meglévő erdők és faipar BAU-szénmérlegével.

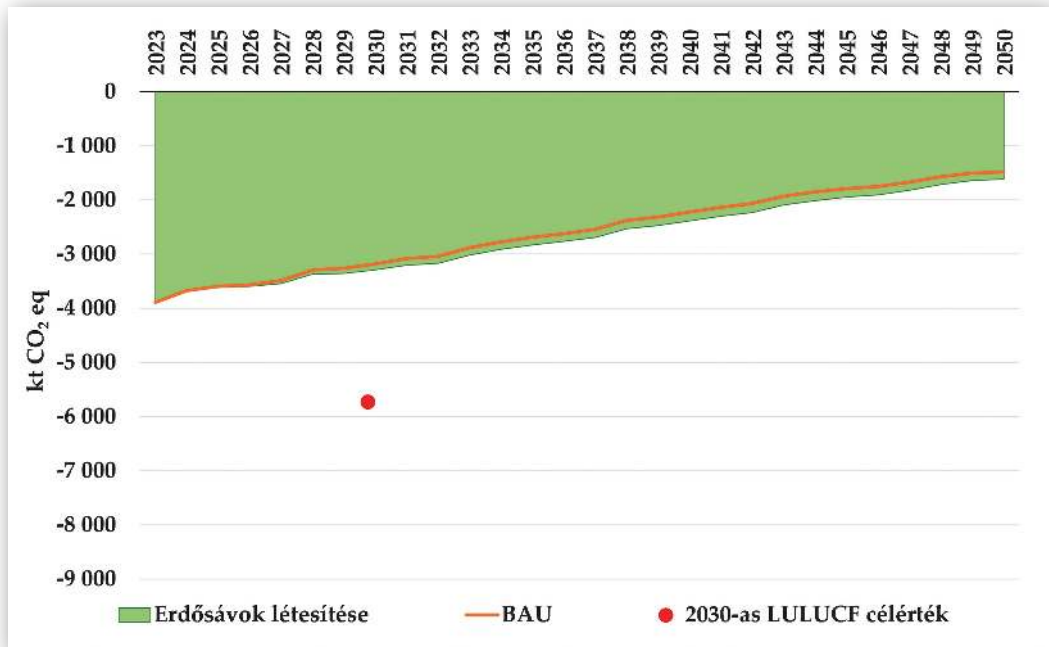
A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

Borovics A., Király É., Szabó O., Keserű Zs.

Ebben az esetben a faalapú szektorhoz kapcsolódóan 2050-re már 2,5 millió tonna CO₂-egyenérték/év-es mitigációs potenciállal számolhatunk. A 2030-as célérték eléréséhez ebben a scenárióban már mindössze 0,3 millió tonna CO₂ többletmegkötés hiányzik, hiszen a scenárió prognosztizált szénmegkötése 2030-ra 5,4 millió tonna CO₂-egyenérték/év. Mindez arra enged következtetni, hogy a faipari intenzifikáció, illetve a hulladék keletkezését minimalizáló kaszkád-rendszerek nagyon kedvező klímamitigációs lehetőségek hazánk esetében, melyek egyben a körkörös biogazdaság fejlesztése szempontjából is elengedhetetlenül fontosak.

10.4 AGRÁRERDÉSZETI MEGOLDÁSOK MITIGÁCIÓS POTENCIÁLJÁNAK ELŐREJELZÉSE

Mivel vizsgálataink arra engednek következtetni, hogy meglévő erdőink klímamitigációs potenciálja korlátozott, ezért a LULUCF-célérték elérését nem feltétlenül célszerű kizárólagosan a szűken értelmezett erdőkre terhelni. Itt jelenthetnek kiváló alternatívát az agrárerdészeti megoldások, mint például a köztes termesztési rendszerek, fasorok, facsoportok, fás legelők és mezővédő erdősávok.



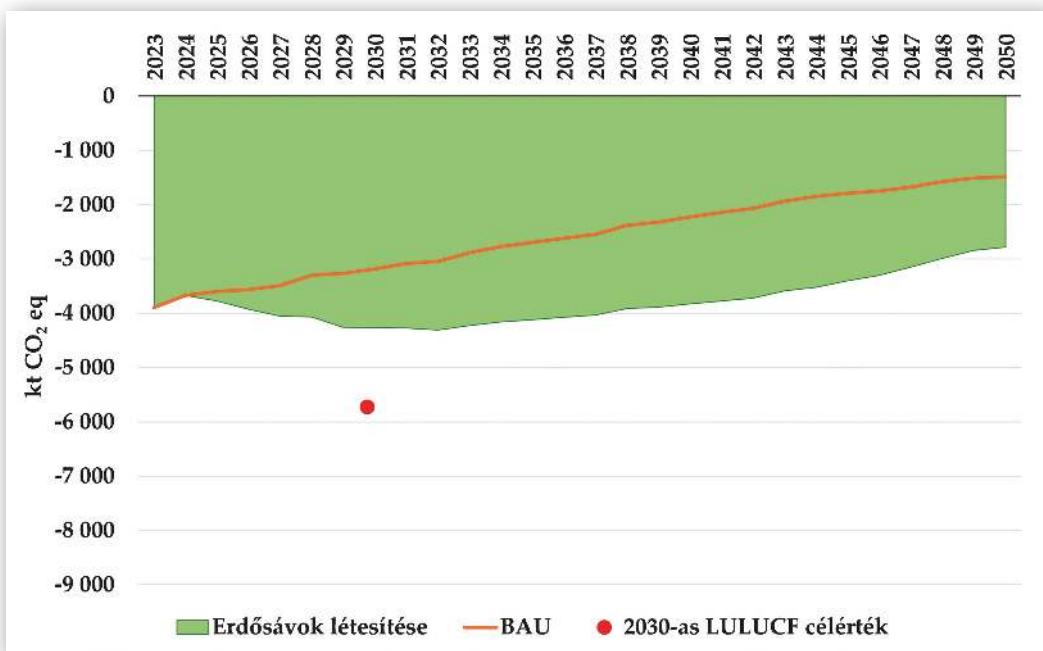
99. ÁBRA

A hazai mezővédő erdősávok területének megkötésével elérhető szénmegkötés összevetve a meglévő erdők BAU-szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

Egyik példánkban Király et al. (2024a) alapján mutatjuk be a hazai mezővédő erdősávok területének megkétszerezéséből adódó mitigációs potenciált (99. ábra). Ebben a példában az erdősávok összterületét 14 ezer hektáros szintről 28 ezer hektárra emeljük. Ez az intézkedés önmagában a 2024-2050-es időszakban átlagosan 144 ezer tonna többlet CO₂ megkötését teszi lehetővé. Ez azt jelenti, hogy a meglévő erdőkhöz kapcsolódó, a 2050-ig terjedő időszakra prognosztizált szénmegkötési szint 5%-kal növekedhet.

Tekintettel arra, hogy a mezővédő erdősávok számos pozitív ökoszisztéma-szolgáltatással jellemezhetőek, például csökkentik a széleroziót, illetve segítenek megőrizni a talaj nedvességtartalmát, ezáltal kedvező mikroklimatikus feltételeket teremtve és megnövelve a szántóföldi terméshozamokat. Mindezek miatt kívánatos lenne területük sokkal jelentősebb mértékű növelése is, mely egy fenntarthatóbb és a klímaváltozás kedvezőtlen hatásaihoz sokkal jobban alkalmazkodó mezőgazdasági szektort eredményezhetne. Fentiek okán megvizsgáltuk azt a lehetőséget is, hogy a mezővédő erdősávok területét drasztikusan megemeljük, 150 ezer hektár összterületűre. Az ehhez az intézkedéshez kapcsolódó igen jelentős mitigációs potenciál alakulását a 100. ábra szemlélteti.



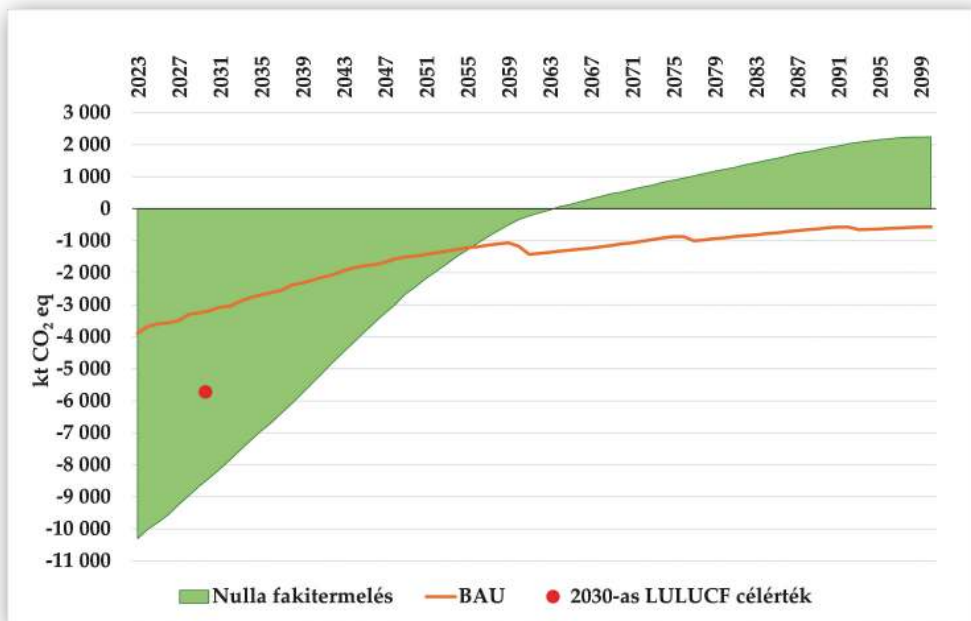
100. ÁBRA

A hazai mezővédő erdősávok területének megnövelése 150 ezer hektárra összevetve a meglévő erdők BAU-szénmérlegével.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

10.5 A FAKITERMELÉS TELJES ELHAGYÁSÁNAK HATÁSA A MITIGÁCIÓS POTENCIÁLRA

Végezetül megvizsgáltuk mitigációs szempontból azt a szélsőséges esetet is, melyben a fakitermelést teljes mértékben megszüntetjük, ezzel teret engedve a természetes folyamatoknak erdeinkben (101. ábra). Ebben az esetben a modellezés eredményei szerint a szénmegkötés szintjének azonnali és drasztikus megemelkedését tapasztaljuk, noha mindeközben a faipar szénkibocsátóvá válik. Azonban kezdetben az erdők szénmegkötése ellensúlyozza a faiparhoz kapcsolódó kibocsátásokat és nettó 10 millió tonna CO₂-egyenérték/év szintű, azaz minden eddiginél nagyobb szénmegkötést produkál. Ugyanakkor a modellezés arra is rámutat, hogy a szénmegkötés az idő előrehaladtával rohamosan csökken, és 2055-re eléri a 10.1-es fejezetben bemutatott, szokásos mértékű fakitermelést feltételező BAU-szenárióban előrejelzett megkötési szintet. Ráadásul ezt követően a megkötések tovább csökkennek, sőt 2063 után a magukra hagyott erdők egyenesen szénkibocsátóvá válnak.



101. ÁBRA

A fakitermelés teljes elhagyásának hatása az erdőalapú szektor szénmérlegére 2100-ig.

A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

Ez az eredmény rámutat arra, hogy erdeink magára hagyása és az erdőgazdálkodás feladása nem jelent megoldást. Bár rövid távon kedvezőnek tűnik, hosszabb távon klímamitigációs katasztrófát idéz elő. A klímaváltozás emberi hatásra bekövetkezett folyamat. Mi okoztuk a bajt, tehát a megoldásban is részt kell vennünk. Csak okos megoldásokkal és aktív beavatkozásokkal tarthatjuk fent vagy növelhetjük hosszú távon és fenntartható módon az erdőalapú szénmegkötés szintjét.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

10. fejezet: Mitigációs intézkedések egyedi hatásainak értékelése a hazai erdőalapú szektorban

A fejezetben szénegyenleg-modellzés segítségével vizsgáltuk különféle mitigációs intézkedések hatásait az erdőalapú szektor szénmérlegére. A magyar erdők és faipar jelenlegi folyamatait tovább vivő BAU-előrejelzés szerint az ágazat nettó szénmegkötése csökkenő tendenciát mutat, a várható szénmegkötés nem elegendő a hosszú távú klímacélok teljesítéséhez. Az olyan klímamitigációs intézkedések, mint az új erdők telepítése és a jövő feltételeire tervezett fajajcserék jelentős többlet-szénmegkötést tesznek lehetővé. Ez különösen igaz a szárazságtűrő fafajok elegyes alkalmazására, melyek az éghajlatváltozás mellett is fenntartható szénmegkötést biztosíthatnak.

A faipari innovációk – például a hosszú élettartamú termékek arányának növelése, az újrahasználati és újrahasznosítási technológiák fejlesztése szintén jelentős javulást érhetnek el a szénmérleg alakulásában. Emellett a szénforgalmi modell-előrejelzések szerint az agrárerdészeti megoldások is nagy szénmegkötési potenciállal bírnak hazánkban.

A fakitermelés teljes leállításával ugyan rövid távon megnöveli a nettó szénmegkötést, azonban közép- és hosszabb távon ellentétes hatást eredményez a holt biomassza bomlása és a faalapú termékek kieső szénmegkötése révén. A fakitermelések leállításával számoló forgatókönyv szerint 2063 után a magukra hagyott hazai erdők nettó szénkibocsátóvá válnának.

A modellezési eredmények azt mutatják, hogy egy-egy mitigációs intézkedés alkalmazása önmagában nem lesz elegendő a hazánk által vállalt klímacélok eléréséhez. A legnagyobb mitigációs hatás a különféle beavatkozások összehangolt alkalmazásával érhető el, amely lehetővé teszi a klímacélok elérését is. A kiegyensúlyozott, tervezett faanyagtermelés, a klímaváltozás hatásait tekintetbe vevő erdőtelepítés és az innovatív faipar együttesen biztosíthatja a hazánk klímavédelmi célkitűzéseinek elérését.





**AZ ERDÉSZET ÉS FAIPAR INTEGRÁCIÓJA,
AZ ERDŐALAPÚ GAZDASÁG MEGOLDÁSAI JÁRULNAK LEGNAGYOBB
MÉRTÉKBEN HOZZÁ A SZÉNMEGKÖTÉS TARTÓS NÖVELÉSÉHEZ**

Az alkalmazkodó erdőkezelés olyan állományokat céloz meg, amelyek a leginkább érzékenyek a klímaváltozás okozta hatásokra a biotikus és abiotikus károkkal szemben, vagy amelyek esetében a fatermőképesség csökkenése a legdrasztikusabb. Ily módon csökkenthetőek az erdőkárok, és az alkalmazkodás folyamata felgyorsítható. Egy intenzívebb gazdálkodási forgatókönyv esetében az erdőgazdálkodók aktívan befolyásolhatják a fafajösszetételt, ezzel segítve az erdők hosszú távú fennmaradását és növelve ellenállóképességüket a változó éghajlattal szemben. A klímacélok elérésében ezt követően kulcsszerepet játszik az, hogy a kitermelésre kerülő faanyag a faipari innováció révén hosszú élettartamú fatermékek formájában hasznosuljon, illetve a fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatásai is érvényesüljenek.

Foto és szöveg: Borovics Attila

11.

**A HAZAI ERDÉSZETI
ÉS FAIPARI SZEKTOR
SZÉNMEŔLEGÉNEK
ELŐREJELZÉSE 2050-IG
HÁROM SZCENÁRIÓBAN**

MAGYARORSZÁGON

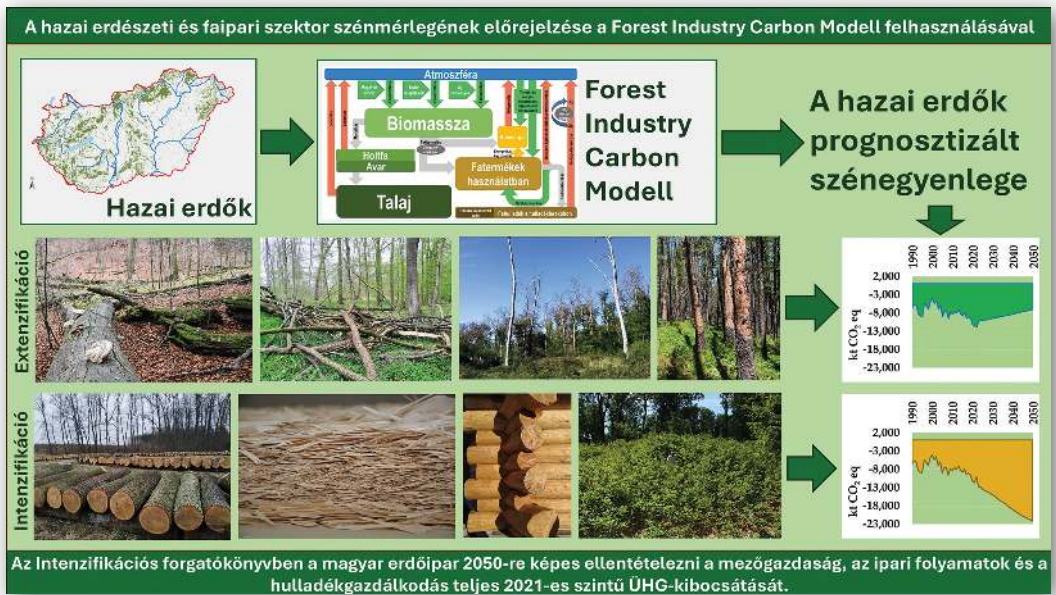
az éves fakitermelés volumene hosszú ideje stabilan 7–8 millió m³ körül alakul, amely jelentősen elmarad az ország erdeinek éves folyónövedékétől. Ugyanakkor könyvünk 9. fejezete rámutatott arra, hogy a hazai erdők fakitermelési potenciálja lényegesen magasabb: több mint 45 millió m³ élőkészlet található olyan állományokban, amelyek már meghaladták az erdőtervezés által meghatározott vágásérettségi kort, így elvileg kitermelhetők lennének (Borovics et al., 2023). Ezeket az állományokat nevezjük túltartottnak, mivel tényleges koruk meghaladja az erdőtervezők által előírt vágásérettségi kort és a törvényi előírásoknak megfelelően kitermelhetőek lennének. Fontos hangsúlyozni, hogy sosem tekintjük túltartottnak azokat a területeket, amelyek magas természetvédelmi értékkel bírnak – például az erdőrezervátumokat, az örökerdő-gazdálkodás alá vont területeket, illetve a faanyagtermelést nem szolgáló erdőket.

Könyvünk 9. fejezete előrevetítette, hogy 2024 és 2100 között a vágáskort elérő állományok növekvő területi aránya következtében a hazai fahasználati potenciál bővülni fog. A 10. fejezetben pedig arra a következtetésre jutottunk, hogy a faipari termelés intenzifikálása, valamint az újrafelhasználáson alapuló kaszkád-rendszerek kialakítása érdemben növeli az éghajlatváltozás mérséklésének lehetőségeit. Király és munkatársai (2024) eredményei szerint a fakitermelés növelése – megfelelő ipari kapacitásokkal és hatékony feldolgozással párosulva – nemcsak jelentősebb szénmegkötést és -tárolást eredményez a faipari termékekben, hanem hozzájárul az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentéséhez is a fosszilis energiaforrásokat és szén-dioxid-intenzív anyagokat helyettesítő fatermékek révén.

A fentiek ismeretében ennek a fejezetnek a célja három eltérő erdőkezelési stratégia felállítása és ezek klímamitigációs hatásainak elemzése hazánk vonatkozásában. A vizsgált stratégiák a következők:

1. Fokozott természetvédelmi oltalom, és az erdei szénkészletek helyszíni megőrzése a fahasználatok csökkentése és minden más emberi beavatkozás mérséklése útján. (extenzifikáció, EXT)
2. Intenzív erdőgazdálkodás fokozott fakitermeléssel, intenzív erdősítéssel, új fás ültetvények létesítésével kiegészítve, a hazai fafeldolgozó ipar felpörgetése faipari innovációk és kapacitásbővítés útján. (intenzifikáció, INT)
3. Az erdőgazdálkodási gyakorlatok változatlan folytatása, azaz a szokásos ügymenet. (*Business as Usual*, BAU) A BAU-scenárió ebben a vizsgálatban az előző fejezetben szereplő BAU-scenárióval ellentétben feltételezi a szokásos mértékű erdőtelepítési szint változatlan fennmaradását is.

A három stratégiához kapcsolódó nettó szénegyenleget az Erdőipari Szén Modell felhasználásával (Forest Industry Carbon Model, FICM: Borovics et al. 2024, Kottek et al. 2023, Kottek 2023, Király et al. 2023) az OEA adatai alapján prognosztizáljuk, felhasználva az OKIR (2023), valamint a Központi Statisztikai Hivatal (OSAP 2023) fatermékekre és hulladékkezelésre vonatkozó adatait is.



102. ÁBRA

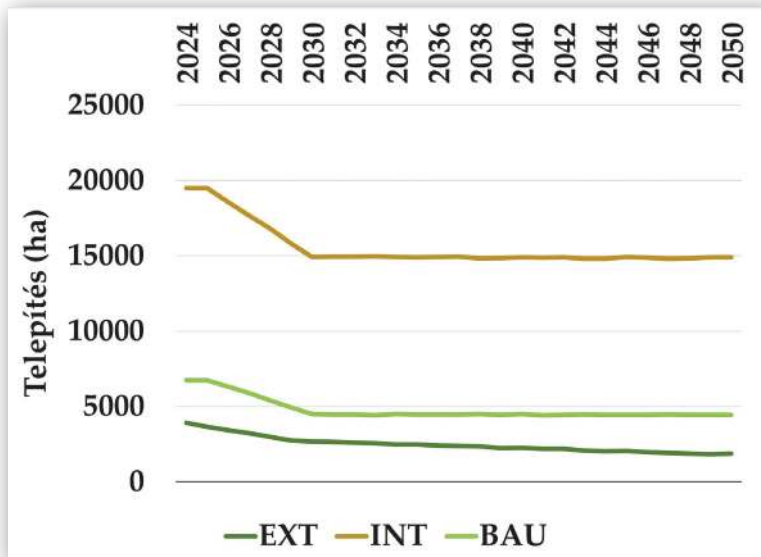
A modellezést összefoglaló infografika.

11.1 A HÁROM ERDŐIPARI KLÍMAMITIGÁCIÓS SZCENÁRIÓ FELÉPÍTÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A modellezés kiindulási adatai az OEA 2020. évi statisztikai állapota szerinti erdőrészek és fajcsoportok voltak (Tobisch és Kottek 2013, Kottek et al. 2023). Az erdők és fatermékek szénmegkötésének, tárolásának és kibocsátásának előrejelzése az Erdőipari Szén Modell (56. ábra) segítségével történt, mely a térben explicit DAS (*Distributions Applied on Stands*)-erdőmodell (Kottek et al. 2023, Kottek 2023) továbbfejlesztett változata. A modell továbbfejlesztése az ErdőLab (Borovics 2022)-projekt keretében valósult meg, melynek során a modellt talaj- és holtszervesanyag-modulokkal, valamint HWP-, termék- és energiahelyettesítési modulokkal egészítettük ki (Király et al. 2023, Király et al. 2024). Az Erdőipari Szén Modell egy erdőrészet-alapú modell, amely alkalmas az élőfakészlet, a folyónövények és a szénmérleg előrejelzésére erdőrészet szintjén, illetve regionális és országos szinteken is. A HWP-szénkészlet és szénegyenleg előrejelzése az IPCC-módszertanon (IPCC 2006, 2013, 2019), míg a fahulladék-gazdálkodási előrejelzések az OKIR (2023) adatain és a magyar üvegházhatásúgáz-leltáron (NIR 2023) alapulnak. A termék- és energiahelyettesítési hatásokat Leskinen és munkatársai (2018) tanulmányából kiindulva a Király és munkatársai (2024) által ismertetett módszertan szerint prognosztizálja a modell. A modellt a 2006–2015 közötti időszakot lefedő historikus OEA-adatok alapján validáltuk. A validáló futások eredményei az élőfakészlet-adat tekintetében országos szinten 1,1%-os eltérést mutattak a historikus élőfakészlet-adatokhoz képest (Kottek 2023).

Borovics A., Király É., Kottek P.

Munkánk során három forgatókönyvet dolgoztunk ki. Az Extenzifikációs (EXT) scenárióban a fakitermelés csökkentése és a beavatkozások minimalizálása jellemző (103. ábra és 104. ábra), mely a természetvédelmi célok túlsúlyba kerülésével magyarázható.

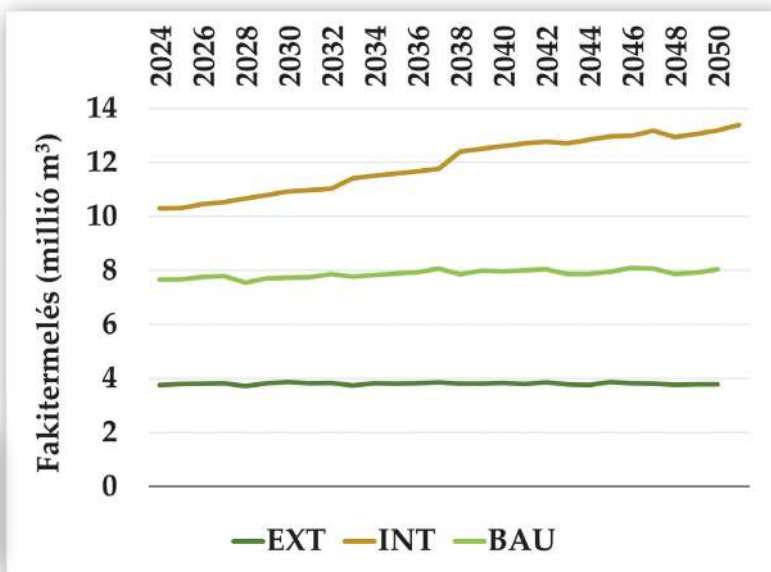


103. ÁBRA

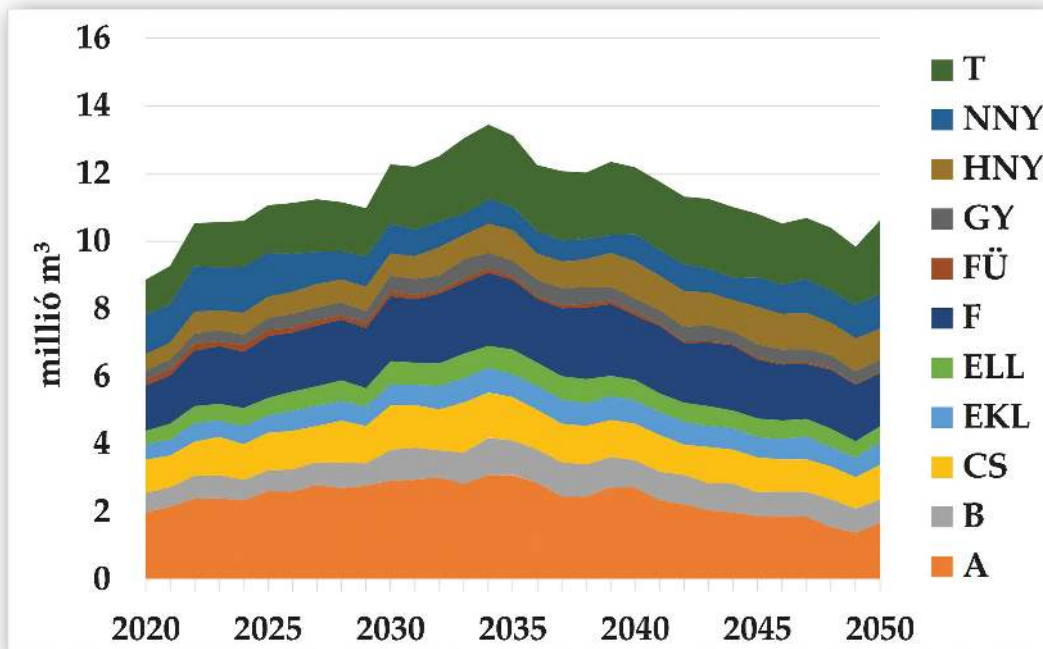
Az erdőtelepítések területe a három vizsgált scenárióban.

104. ÁBRA

A fakitermelés alakulása a három vizsgált scenárióban.



Az EXT-forgatókönyvben a fakitermelés csökkenésével arányosan csökkenést feltételeztünk a faipari termékek gyártásának volumenében is. Az intenzifikációs forgatókönyvet (INT) az intenzív erdőgazdálkodás, fokozatosan emelkedő fakitermelési szint, valamint intenzív erdőtelepítés jellemzi (103. ábra és 104. ábra). A fakitermelés növelésének fenntartható bázisát a Borovics és munkatársai (2023) által prognosztizált maximális fahasználati potenciál jelenti (105. ábra), mely új erdőtelepítések nélkül is jelentős többlet fakitermelési lehetőséget jelez előre a 2050-ig terjedő időszakra.



105. ÁBRA

Az erdőtervezői vágásérettségi korokból levezetett maximális fahasználati potenciál, további erdőtelepítések figyelembevétele nélkül.

Az INT-szenárióban feltételezett magas erdőtelepítési szint szintén hozzájárul a jövőbeli hozami lehetőségek bővüléséhez. Az INT-szenárióban feltételeztük, hogy új, rövid vágásfordulójú ipari fás szárú ültetvényeket is nagy arányban létesítenek az elkövetkező években. A másik lényeges feltételezés az INT-forgatókönyvben a magyar fafeldolgozó ipar gyors kapacitásbővítése, és

új, innovatív technológiák széles körű térhódítása. Feltételeztük, hogy az országból nem exportálnak faanyagot, hanem minden alapanyagot belföldön dolgoznak fel, és növelik a jó minőségű, tartós fa-termékek gyártását. E feltételezés leképezésére megváltoztattuk a modellezett választékszerkezetet oly módon, hogy az ipari faválasztékok arányát növeltük (8. táblázat). A harmadik modellezett forgatókönyvben azt feltételeztük, hogy a jelenlegi erdőgazdálkodási gyakorlatok és a faipar helyzete

változatlan marad a 2050-ig terjedő időszakban (Business as Usual, azaz BAU-scenárió). Az alkalmazott főbb modellparamétereket a 9. táblázat tartalmazza.

A három modellezett forgatókönyv fakitermelési szintjeit illetően fontos hangsúlyozni, hogy a modellezési keretrendszer biztosítja, hogy az erdőrezervátumok, valamint a magas természetvédelmi értékű állományok, és a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú területek ki legyenek zárva a fakitermelésből.

8. TÁBLÁZAT

A három scenárió prognosztizált faválaszték arányai

A BAU- és EXT-választékarányok a 2017–2021-es időszak átlagos faválaszték adatain alapulnak (OSAP, 2023), míg az INT-választékarányokat szakértői becsléssel határoztuk meg.

	T	CS	B	GY	A	EKL	NNY	HNY	FÜ	ELL	F
BAU és EXT											
Fűrészipari rönk	25%	2%	23%	2%	10%	10%	55%	38%	11%	20%	26%
Rostfa	6%	4%	16%	10%	10%	8%	31%	23%	54%	14%	39%
Papírfa	0%	1%	1%	0%	0%	0%	5%	20%	2%	1%	21%
Tűzifa	69%	93%	59%	88%	80%	82%	8%	18%	33%	65%	14%
INT											
Fűrészipari rönk	50%	40%	40%	20%	40%	30%	50%	50%	20%	40%	40%
Rostfa	20%	20%	30%	30%	10%	30%	40%	30%	60%	30%	40%
Papírfa	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%	5%	5%	10%
Tűzifa	25%	35%	25%	45%	50%	35%	5%	15%	15%	25%	10%

A modellezés során azt is megvizsgáltuk, hogy az EU által Magyarország számára a földhasználati szektorra (LULUCF) vonatkozóan 2030-ra kitűzött klímacél (azaz -5724 k tonna CO_2 -egyenérték szintű szénmegkötés elérése) megvalósul-e. Ehhez csak az erdők és a fatermékek szénmérlegét vettük figyelembe, mivel a termék- és energiahelyettesítés nem része a LULUCF-elszámolásnak (Martes és Köhl 2022). Bár a LULUCF-célt a teljes LULUCF-szektorban kell elérnie, ideértve a szántóföldeket, gyepeket, vizes területeket, településeket, erdőket és fatermékeket, mi csak az erdők és a fatermékek nettó szénegyenlegének célértékhez való viszonyát vizsgáltuk. Ezt az egyszerűsítést azért alkalmaztuk, mivel Magyarországon jelenleg az egyetlen szénnyelő a LULUCF-szektoron belül az erdőipar, így nagy valószínűséggel abban az esetben, ha az erdőalapú ágazat nem éri el a kitűzött célt, akkor a teljes LULUCF-szektor is deficites marad.

9. TÁBLÁZAT

A modell faiparhoz és hulladékkezeléshez kapcsolódó paraméterezése

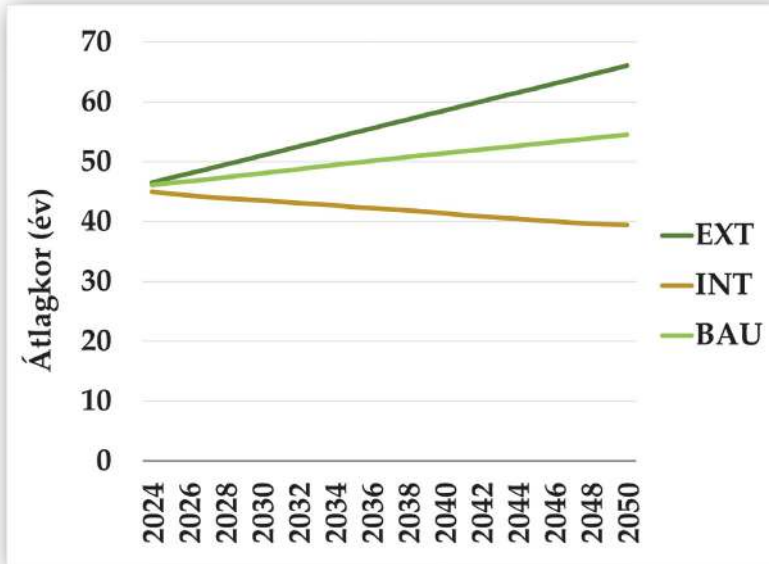
(A 2024-es évre a BAU-paramétereket használtuk mindegyik szcénárióban, az intenzifikációs szcénárióban a paramétereket fokozatosan változtattuk a 2024–2050 időszakban.)

	BAU 2050	EXT 2050	INT 2050
Fatermék termelés	Az utolsó 5 év historikus adatainak átlaga	Az utolsó 5 év historikus adatai átlagának fele	A prognosztizált fokozatosan növekvő fakitermelési szint szerint növekvő faipari termelés
Fűrészáru felezési ideje	35	35	50
Laptermékek felezési ideje	25	25	35
Papír és karton felezési ideje	2	2	2
Hulladéklerakóra kerülő fahulladék %	6	6	2
Hulladéklerakóra kerülő papírhulladék %	10	10	2
Újrahasznosított fűrészáru %	25	25	60
Újrahasznosított laptermékek %	25	25	60
Újrahasznosított papír és karton %	71	71	90
Metánvisszanyerés %	7	7	60
Szubsztitúciós faktor fatermékekre	1.2	1.2	1.2
Szubsztitúciós faktor bioenergetikai felhasználásra	0.67	0.67	0.67

11.2 A HÁROM VIZSGÁLT SZCÉNÁRIÓ MITIGÁCIÓS POTENCIÁLJA

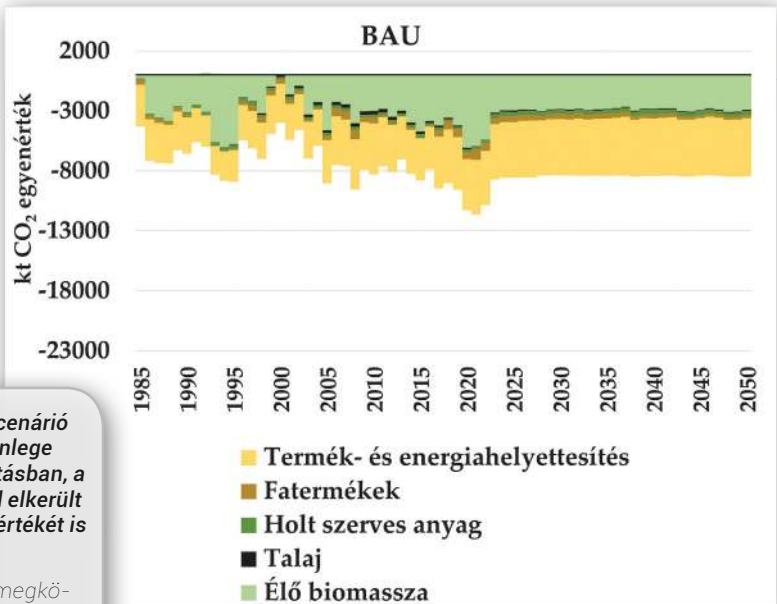
Eredményeink szerint a prognosztizált korosztályszerkezetben jelentős eltérések mutatkoznak a három szcénárió között (106. ábra). A BAU-forgatókönyvben erdeink előregedésének folyamata változatlanul folytatódik, míg az EXT-forgatókönyvben a hazai erdők átlagéletkora radikálisan nő, a jelenlegi 45,5 évről 2050-re 66,1 évre emelkedik. Ezzel szemben az INT-forgatókönyv esetén a folyamat megfordul, és erdeink átlagéletkora 2050-re 39,5 évre csökken.

A három forgatókönyv szénmérlegét tekintve azt állapíthatjuk meg, hogy a BAU- és az EXT-szcénáriókban a legfontosabb szénnyelő az erdei élő biomassza (föld feletti és föld alatti), míg az INT-szcénárióban az élőfakészlet mellett a fatermékek is azonos nagyságrendű elnyelést mutatnak. A BAU-forgatókönyvben a termék- és energiahelyettesítési hatások hasonló nagyságrendűek, mint az erdei szénelnyelők (107. ábra). Az EXT-forgatókönyv esetén a helyettesítési hatások kevésbé jelentősek (108. ábra), míg az INT-forgatókönyv esetében a helyettesítési hatásokhoz köthető a legnagyobb kibocsátás-csökkentési eredmény (109. ábra).



106. ÁBRA

A hazai erdőállomány átlagkorának alakulása a három prognosztizált scenárióban.



107. ÁBRA

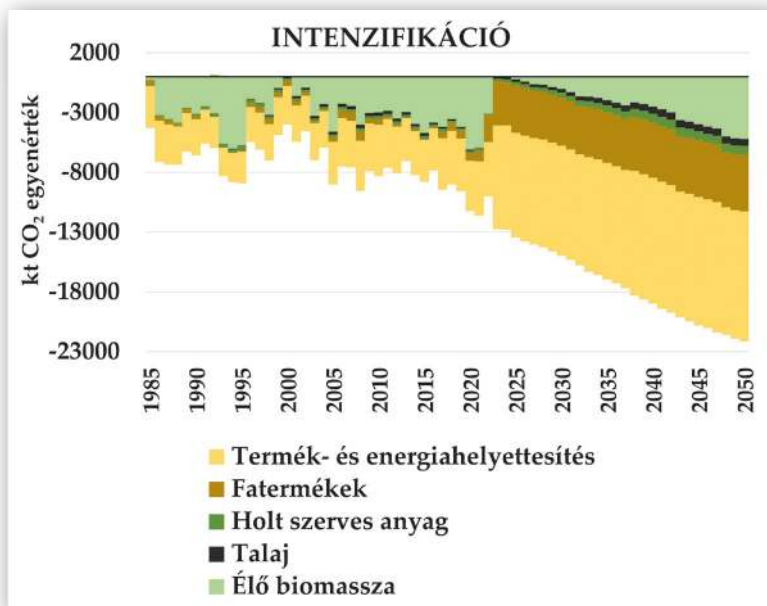
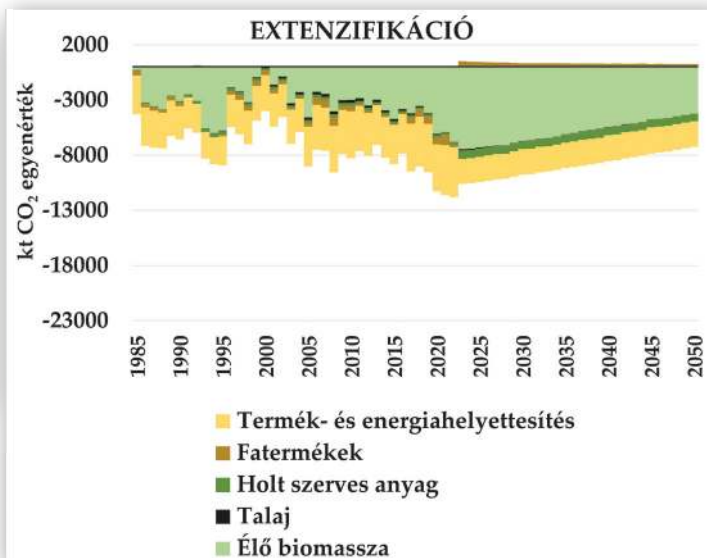
A BAU-szenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve.

A negatív értékek szénmegkötést (illetve elkerült kibocsátást) jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

108. ÁBRA

Az extenzifikációs scenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve.

A negatív értékek szénmegkötést (illetve elkerült kibocsátást) jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.



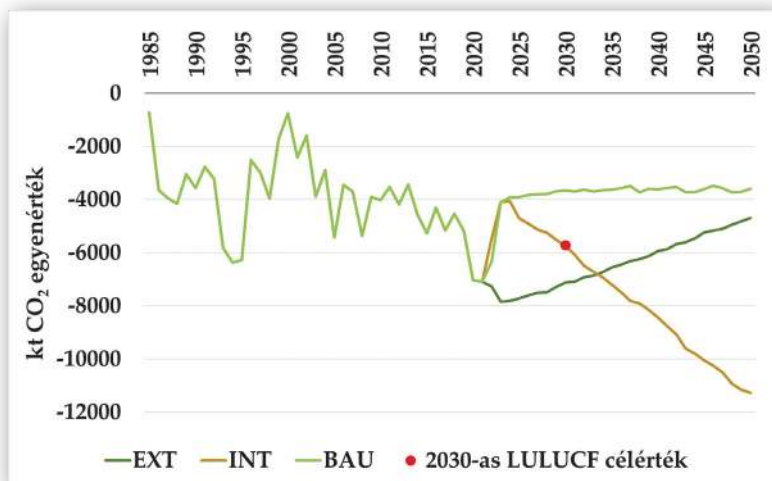
109. ÁBRA

Az intenzifikációs scenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve.

A negatív értékek szénmegkötést (illetve elkerült kibocsátást) jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.

Borovics A., Király É., Kottek P.

A 110. ábra a három vizsgált forgatókönyv nettó erdő- és fatermék-szénegyenlegét szemlélteti Magyarország 2030-as LULUCF szénmegkötési célértékéhez (–5724 k tonna CO₂-egyenérték) viszonyítva. A BAU-forgatókönyv esetében az erdőalapú szektor 2030-as nettó szénmegkötése a prognózis szerint –3659 k tonna CO₂-egyenérték lesz. Ez azt jelenti, hogy a célérték csak akkor lenne elérhető, ha nagyon jelentős szénmegkötések valósulnának meg a szántó, a gyepek, a települések vagy a vizes élőhelyek LULUCF-alszektorokban, aminek valószínűsége igen kicsi. Az EXT-forgatókönyv esetén a prognosztizált szénelnyelés 2030-ban –7121 k tonna CO₂-egyenérték, míg az INT-forgatókönyvben –5754 k tonna CO₂-egyenérték, ami azt jelenti, hogy az EU-jogszabály által felállított cél mindkét forgatókönyvben teljesül.



110. ÁBRA

Az erdei széntárolók és a fatermékek szénegyenlege a három vizsgált scenárióban összevetve a Magyarország számára előírt 2030-as LULUCF-célértékkel.

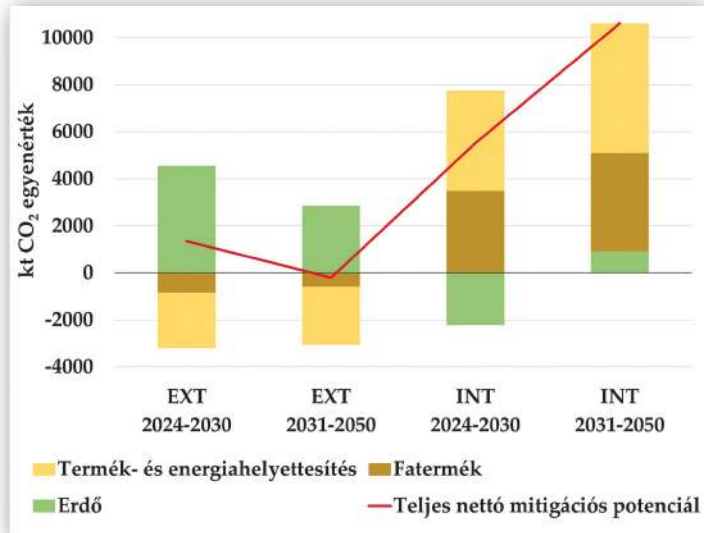
(A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC-konvencióknak megfelelően.)

A 111. ábra szemlélteti az INT- és EXT-forgatókönyvek klímamitigációs potenciálját a BAU nettó szénfelvételi szinthez viszonyítva. A 2024–2030 közötti időszakban az EXT-forgatókönyv éves átlagos klímamitigációs potenciálja 1347 k tonna CO₂-egyenérték, míg az INT-forgatókönyv esetében eléri az 5520 kt CO₂-egyenértéket. A 2031–2050 közötti időszakban az EXT-forgatókönyv –206 k tonna CO₂-egyenérték negatív mitigációs potenciált produkál, ami azt jelenti, hogy ebben az időszakban az EXT-szenárió már többletkibocsátó a BAU-forgatókönyvhöz képest.

111. ÁBRA

Az extenzifikációs és az intenzifikációs szenáriók átlagos éves mitigációs potenciálja a BAU-szenárióhoz viszonyítva a 2024–2030 és a 2031–2050 időszak vonatkozásában.

(Az ábra nem nettó szén-egyenleget, hanem a BAU-forgatókönyvhöz viszonyított mitigációs potenciált szemléltet, ezért itt a pozitív számok többlet-szénmegkötést jelölnek a BAU-szenárióhoz képest, míg a negatív számok többletkibocsátást jelölnek.)



Ugyanebben az időszakban az INT-forgatókönyvben modellezett intenzív erdőipar 10 606 k tonna CO₂ egyenérték éves átlagos mitigációs potenciált ér el a BAU-szintjéhez képest. Az EXT-forgatókönyvben mindkét időszakban a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások többletkibocsátók a BAU-szenárióhoz viszonyítva, ugyanakkor az erdei széntárolók többlet megkötők a BAU-val történő összehasonlításban. Az INT-forgatókönyvben a 2024–2030-as időszakban az erdők kevesebb szén-dioxidot kötnek meg, mint a BAU-forgatókönyv esetében, míg a fatermékek és a helyettesítési hatások többletszén-megkötést produkálnak. A 2031–2050-es időszakban az INT-forgatókönyvben minden széntároló, valamint a termék- és energiahelyettesítési hatások is többletszénmegkötést produkálnak a BAU-szenárióhoz viszonyítva.

11.3 AZ ERDŐKÉNY ÉS A TECHNOSZFÉRÁBAN TÁROLT SZÉN EGYÜTTES SZEREPE A BIOGAZDASÁG FELÉ Vezető ÚTON

Vizsgálatunk BAU-forgatókönyvében feltételeztük a hazai erdőgazdálkodási gyakorlat és a fakitermelési szintek változatlanosságát. Előrejelzésünk szerint e gyakorlatok változatlan fenntartása csökkenő erdőalapú szénlekötést eredményez a 2050-ig terjedő időszakban, míg a termék- és energiahelyettesítési hatások

szintje konstans marad. Az erdei szénlekötés csökkenése nagy valószínűséggel a hazai erdők korosztály-szerkezetének tudható be, az erdők átlagkorának folyamatos emelkedése ugyanis a folyónövedék fokozatos csökkenéséhez vezet. Ez az eredmény azért jelentős, mert rámutat arra, hogy további intézkedések nélkül a Magyarország számára kitűzött 2030-as LULUCF-célérték valószínűleg nem lesz teljesíthető.

Az INT-forgatókönyv szénmérlegének elemzése azt támasztja alá, hogy Magyarországon a kitermelt fa mennyisége növelhető úgy, hogy ez egyben a szénlekötés növelését is eredményezze. Ez összhangban van Köhl és Martes (2023) megállapításaival, akik szerint az erdészeti ágazat sokkal nagyobb mértékben tud hozzájárulni a klímacélok megvalósulásához a fa kitermelésével és alacsony károsanyag-kibocsátású feldolgozásával, valamint hosszú távú beépítésével, mint *in situ* erdei szénraktározás útján. Moreau és munkatársai (2022) a LANDIS-II térben explicit erdőmodell, illetve a Forest Carbon Succession és a Carbon Budget Model for Harvested Wood Products modellek felhasználásával prognosztizálták egy északi mérsékelt égövi erdő szénmérlegét különböző erdőkezelési forgatókönyveket feltételezve. Megállapították, hogy a terület termelékenységét főként a fakitermelés serkenti, és a legintenzívebb gazdálkodással jellemzett forgatókönyvek eredményezték a legmagasabb folyónövedéket és a legnagyobb szénmegkötést. Fiorese és Guariso (2013) eredményei is összhangban vannak a mi megállapításainkkal. E szerzők regionális elemzést végeztek az olasz erdőalapú ágazat szénmérlegére vonatkozóan, melynek keretében megállapították, hogy a vizsgált területen a fakitermelés maximalizálása bizonyult az optimális forgatókönyvnek négy erdőtípusból három esetben. Ezzel szemben Heinonen és munkatársai (2017) Finnországra vonatkozó kutatásaikban arra az eredményre jutottak, hogy az erdészeti ágazat összesített kumulatív szén-dioxid-mérlege alacsony kitermelési szintek alkalmazása esetén volt a legkedvezőbb. Ugyanakkor azt is hangsúlyozták, hogy a magasabb fakitermeléssel jellemzett forgatókönyvek kedvezőbb HWP-szénegyensúlyt mutattak, illetve a termékhelyettesítési hatások tekintetében is kedvezőbbnek bizonyultak. Pukkala (2014) rávilágít, hogy a termék- és energiahelyettesítési hatások integrálása az erdőalapú szektor szénmérlegének modellezésébe jelentősen növeli a kimutatott klímamitigációs hatások nagyságát.

Az EXT-forgatókönyv esetében az előrejelzésünk azt mutatja, hogy az erdei szénnyelő hirtelen jelentős megnövekedését követően a biomassza szénmegkötése csökkenő tendenciát mutat, és 2050-re majdnem a BAU-szintjére esik vissza. Ezt a tendenciát tovább rontja, hogy az EXT-forgatókönyv esetében a helyettesítési hatások jóval alacsonyabbak, mint a másik két forgatókönyvben, ami a csökkentett fakitermelési szint következménye. Martes és Köhl (2022) a BEKLIFUH-modellt használta hat erdőkezelési forgatókönyv értékelésére Hamburg nagyvárosi térségben. Eredményeinkkel összhangban azt találták, hogy míg a helyszíni védelem magasabb szénkészletet eredményezett az erdei biomasszában, addig a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások számításba vétele esetén már a nagyobb fahasználati intenzitással jellemzett forgatókönyvek mutatkoztak klímamitigációs szempontból kedvezőbbnek.

Az EXT-forgatókönyv esetében a modellezés a hazai erdők jelentős előregedését prognosztizálja, 2050-ig az erdők átlagéletkora meghaladja a 66 évet. Ezek a túltartott állományok az idő előrehaladtával valószínűleg egyre sérülékenyebbé válnak és a természetes bolygatásokkal szembeni ellenállóképességük egyre csökkenhet. Ez jelentős probléma forrásává válhat a folyamatban lévő klímaváltozásra tekintettel, ami kiterjedt erdőkárokat okozhat. Modellezésünk során nem vettük figyelembe az éghajlatváltozás potenciális kedvezőtlen hatásait a fatermőképességre és a fajok elterjedési területére. E hatás elhanyagolását indokolja a lehetséges hatások jelentős bizonytalansága, illetve a projekció viszonylag rövid időablaka is. Ugyanakkor közismert, hogy a klíma-előrejelzések szerint számos faj elterjedési területe csökkenni fog Magyarországon (Illés és Móricz 2022), különösen a szárazsági határ közelében tenyésző

populációk lehetnek súlyosan érintettek (Mátyás et al. 2010, Borovics és Mátyás 2013). Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy az erdők nettó szénmegkötése minden forgatókönyvben csökkenne az erősödő felmelegedés és szárazság hatására. Ugyanakkor az erdőgazdálkodásnak jelentős szerepe lehet abban, hogy elősegítse az erdőállományok alkalmazkodását a jövőbeli termőhelyi feltételekhez (Messier et al. 2019, Mina et al. 2021). Például egy fokozott fakitermeléssel jellemzett gazdálkodási forgatókönyv esetében a beavatkozások olyan állományokat célozhatnak meg, amelyek a leginkább érzékenyek a biotikus és abiotikus károkra szemben, vagy amelyek esetében a fatermőképesség csökkenése a legdrasztikusabb, ily módon csökkenthetőek az erdőkárok, és az alkalmazkodás folyamata felgyorsítható (Hennigar és MacLean, 2010, MacLean et al. 2007, Moreau et al. 2022). A felújítási időszak kulcsfontosságú a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás tekintetében, mivel teret ad a természetes genetikai diverzitás útján történő alkalmazkodásnak, ugyanakkor lehetőséget teremt preadaptált szaporítóanyag alkalmazására is (Borovics et al. 2023). A véghasználat és a felújítás elhalasztása lassítja az alkalmazkodási folyamatot, és növeli a természetes bolygatások következtében fellépő többlet szén-dioxid-kibocsátás kockázatát is. Egy intenzívebb gazdálkodási forgatókönyv esetében az erdőgazdálkodók aktívan befolyásolhatják a fafajösszetételt, ezzel segítve az erdők hosszú távú fennmaradását, és növelve ellenállóképességüket a változó éghajlattal szemben (Moreau et al. 2022).

A hazai fakitermelés szintje évtizedek óta stabil, mintegy 7,5 millió m³ körüli. Eredményeink ugyanakkor azt mutatják, hogy a kitermelt mennyiség jelentősen növelhető lenne anélkül, hogy ez negatív hatást gyakorolna a klímaváltozás mérséklésére. Az INT-forgatókönyv megvalósulásához azonban jelentős beruházásokra és innovációra lenne szükség a hazai faiparban annak érdekében, hogy az addicionális 2–4 millió m³ faanyag feldolgozása, hosszú távú beépítése lehetővé váljon. Az elkövetkező évtizedekben a szárazságtűrő fafajok, például a cser (*Quercus cerris*), a hazai nyárok (*Populus alba*, *Populus x canescens*, *Populus tremula*) és az akác (*Robinia pseudoacacia*) faanyaga egyre jelentősebb mennyiségben válik majd elérhetővé Magyarországon (Borovics et al. 2023). Ezért célszerű lenne új terméktípusokat tervezni és innovatív gyártási folyamatokat kialakítani, hogy e jelenleg alulhasznosított fafajok faanyaga hatékonyan feldolgozhatóvá váljon, és magas minőségű, hosszú élettartamú termékek előállítását valószínűsíthessük meg belőlük. A következő évtizedek elsődleges kihívása a magyar erdőipar számára a kihasználatlan favagyon mozgósítása és a megnyíló további kitermelési lehetőségek optimális kihasználása lesz. A túltartott állományok megfelelő hasznosításához szakmai integrációra, valamint térinformatikai támogatásra is szükség van. A kitermelhető fakészletek mennyiségére és értékére vonatkozó pontos és földrajzilag meghatározott adatok újszerű vállalkozói kultúra és innovatív megoldások elterjedését alapozhatják meg az erdészeti és faipari szektorban (Borovics et al. 2023).

Vizsgálatunk hiányossága az, hogy a klímaváltozás erdőkre gyakorolt jövőbeli hatását nem vettük figyelembe a modellezés során. Tervezzük, hogy a modellünket a későbbiekben továbbfejlesztjük, hogy lehetővé váljon a klímaváltozás hatásainak integrálása, például az egyes faállományok növekedés-menetének változása és a mortalitás növekedésének előrejelzése.

Eredményeink arra engednek következtetni, hogy az erdőiparhoz kapcsolódó klímamitigációs potenciál jelentős része a fatermékek széntárolásában, valamint a termék- és energiahelyettesítési hatásokban rejlik. Így az erdei szénkészletek növelése vagy fenntartása a fahasználat elhagyása, vagy drasztikus csökkentése útján az éghajlatváltozás mérséklése érdekében egy téves koncepció, amely az erdőipar kulcsfontosságú elemeinek figyelmen kívül hagyásából származik. Ez a megoldási javaslat ugyanis nem veszi figyelembe az erdőn kívüli, a technoszférában zajló folyamatokat, sem az ott tárolt szénkészleteket. Az erdőgazdálkodás és a faipar átfogó és koherens ismerete, valamint az alulhasznosított fafajok feldolgozásának innovatív megoldása elengedhetetlen a legkedvezőbb szén-

mérleg eléréséhez. A klímasemlegesség erdészeti és faipari intézkedések együttes végrehajtásával, és elsősorban faipari innovációkkal és intenzifikációval kombinált aktív alkalmazkodással érhető el.

A gazdálkodás nélküli erdőben, vagy csökkentett kitermeléssel jellemezhető erdőgazdálkodási modell esetén felhalmozódó faanyagot a fogyasztó szervezetek bontják le, amely során ugyanannyi szén-dioxid szabadul fel, mintha azt tűzifa égetésével fosszilis energiahordozók kiváltására hasznosítanánk. A fenntartható erdőgazdálkodás során a fakitermeléssel és hasznosítással éppen a lebontást végző fogyasztók elől csapoljuk meg ezt a szénforrást, ügyelve egyúttal arra is, hogy az ökoszisztéma működéséhez és a biodiverzitás fenntartásához szükséges mennyiségű holtfát is hagyjunk az erdőben. A korosztály-eloszlás eltolása az idősebb erdők felé és a véghasználatok elmaradása csak átmenetileg és rövid távon csökkenti a légkör széntartalmát, miközben elmaradnak az erdők érdekében végrehajtandó alkalmazkodást segítő beavatkozások, mint például a fafajcserék, az előalkalmazkodott, klímarezisztens szaporítóanyaggal végzett felújítások és állománykiegészítések, valamint a kevesebb vízfelhasználást eredményező erdőállomány-szerkezet kialakítását segítő gyéritések végrehajtása. A fentiekből következően a faanyag hasznosításának elmaradása csak rövid távon eredményezhet többlet szénmegkötést, hosszabb távon korlátozza a klímaváltozás mérséklését, valamint a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodást. A legtöbb új szénmegkötést éppen az innovatív fatermékek és a faalapú termékhelyettesítések révén érhetjük el, mobilizálva az erdőben eddig nem hasznosított favagyont. Ez az erdőgazdálkodás intenzifikációjával egybekötött faipari innováció, mint erdőipari fejlesztés az, amely a legtöbb szénmegkötést képes 2050-re eredményezni. Ennek elérését ösztönző zöld beruházási gazdasági eszközök fejlesztése és a teljes folyamat jobb bemutatását és kommunikációját lehetővé tevő képzési tartalmak kidolgozása jelenleg zajlik az ökológiai, biológiai és műszaki területekkel együttműködve az ErdőLab-projekt megvalósítása keretében.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?


11. fejezet: A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlegének előrejelzése 2050-ig három scenárióban

A fejezetben az Erdőipari Szén Modell (*Forest Industry Carbon Model – FICM*) segítségével vizsgáltuk három különböző erdőgazdálkodási forgatókönyv szénmérlegét 2050-ig előremetszve. A BAU-szenárió a jelenlegi gyakorlatok változatlan folytatását feltételezi, míg az extenzifikációs forgatókönyv a fakitermelés és az erdőtelepítések visszafogását modellezi. Az intenzifikációs forgatókönyv ezzel szemben a fafeldolgozás növekedésével, az erdőtelepítések bővülésével és a termékhelyettesítési lehetőségek kiaknázásával számol.

Az előrejelzések szerint az intenzifikációs scenárió egyre növekvő szénmegkötést eredményez, melynek értéke a 2050-ig tartó időszakban átlagosan évi -22 millió tonna CO_2 -egyenérték. E forgatókönyvvel számolva a 2030-as LULUCF-célérték teljesíthető. Ezzel szemben az extenzifikáció kedvező hatása csak átmeneti, és hosszú távon csökkenő szénmegkötési eredményeket hoz.

A modellezési eredmények rávilágítanak arra, hogy a klímacélok teljesítésében hazánk esetében kulcsszerepet játszik a faipari innováció, a hosszú élettartamú fatermékek alkalmazása, illetve az ipari- valamint energetikai kibocsátások csökkentése a fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatásai révén. Mindezek alapján Magyarország számára a leginkább fenntartható megoldást az aktív, klímataudatos erdőgazdálkodási beavatkozások és egy innovatív faipari stratégia kialakítása jelentheti.





**A KORÁBBI ERDŐGAZDÁLKODÁSI GYAKORLATOK
HOSSZÚ TÁVÚ HATÁSOKAT HAGYNAK MAGUK UTÁN, AMELYEK
ÉVTIZEDEKIG BEFOLYÁSOLJÁK A REGIONÁLIS SZÉNDINAMIKÁT.**

A következő fejezetben vizsgált terület fafajösszetételét a klímaérzékeny fenyők magas részaránya jellemzi, így a jövőbeli erdőgazdálkodásnak figyelembe kell vennie a fenyőállományokban várható növekvő erdőkárokat, és a szárazságtűrőbb lombos fafajok javára történő szerkezetátalakítás szükségességét. A túltartott állományokat célszerű minél előbb kitermelni és felújítani, különös figyelmet fordítva a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás követelményeire.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

12.

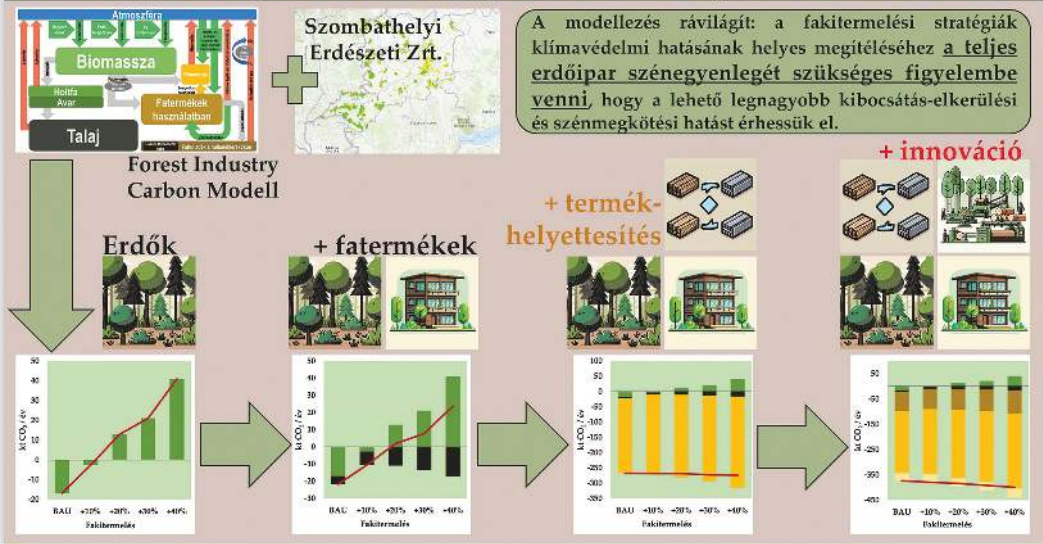
**KLÍMAMITIGÁCIÓS
STRATÉGIÁK
EGY ERDŐGAZDASÁG
SZINTJÉN –
ESETTANULMÁNY**

12.1 AZ ESETTANULMÁNY KONTEXTUSA

AZ ERDŐK

és a faanyag-hasznosítás kulcsszerepet játszanak a klímaváltozás mérséklésében. Az erdőalapú mitigációs stratégiák növelhetik a szénelnyelést klímabarát erdőgazdálkodással, megőrizhetik a meglévő szénkészleteket a zavaró hatások csökkentésével, növelhetik az erdőn kívüli faalapú széntárolás volumenét, valamint előmozdíthatják az anyag- és energiahelyettesítést az ipari termelési struktúrák átalakításán és a hatékonyabb erőforrás-felhasználáson keresztül (Hurmekoski et al. 2022; Verkerk et al. 2022).

Klímatudatos erdőgazdálkodási stratégiák a Szombathelyi Erdészeti Zrt. területén



A klímamitigációs stratégiák hatékonyságát az erdőalapú szektorban többféle térbeli és időbeli összefüggésben szükséges értékelni, figyelembe véve az erdők és a technoszféra közötti megvalósuló faanyag-hasznosítás együttes hatását (Hurmekoski et al. 2022). A fosszilis energiahordozók vagy energiaigényes alapanyagok faalapú helyettesítése jelentős mértékben hozzájárulhat az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentéséhez (IPCC 2022; Hall et al. 1994; Nabuurs et al. 2002).

Az Európai Unióban az erdők szénelnyelése évente $-373,5$ M tonna CO₂eq, míg a fatermékek további $-40,6$ M tonna CO₂eq/év szénmegkötéssel javítják a szénmérleget (EEA 2019). Holmgren (2020) szerint a faalapú anyag- és energiahelyettesítés hatása 2018-ban -410 Mt CO₂eq/év volt Európában. Mivel az európai erdők viszonylag lassan növekednek, a fakitermelési intenzitás növelé-

112. ÁBRA

Az esettanulmány összefoglaló infografikája.

se rövid és középtávon csökkenti az erdei biomassza széntárolását a bázisforgatókönyvhöz képest (Hurmekoski et al. 2022).

Egy boreális, valamint mérsékelt övi erdőt vizsgáló tanulmány (Luysaert et al. 2008) kimutatta, hogy az erdők igen széles kortartományban (egészen 800 éves korig) képesek szén megkötésére. Ugyanakkor a szénfelhalmozás az állomány korának növekedésével lassul, majd egyensúlyi szintre áll be (Odum 1969; Luysaert et al. 2008; Fiorese és Guarsio 2013). Ez azt jelenti, hogy a fiatal, gyorsan növekvő erdők aktív szénnyelők, míg az idős erdők – még bolygatlan állapotban is – főként széntárolóként működnek, mivel élőfakészletük elérte a maximális szintet, és további szénmegkötés csupán lassan, elsősorban a talajban történik (Fiorese és Guarsio 2013). Azonban a klíma felmelegedésével egyre súlyosabb természetes bolygatások, biotikus és abiotikus károk valószínűsíthetőek, melyekhez szénkibocsátások társulnak (Verkerk et al. 2022; Kurz et al. 2008). Az utóbbi években számos tanulmány igazolta a zavarások gyakoriságának növekedését (Senf és Seidl 2021), a lombkoronaszáradás megduplázódását (Senf et al. 2018), valamint az európai erdők fokozódó sérülékenységét a klíma változásához kapcsolódó károkkal – például viharokkal, erdőtüzekkel, rovargradációval – szemben (Forzieri et al. 2021). A faanyag kitermelése és fatermékeként történő hasznosítása, épületekbe történő beépítése hosszú távú széntárolást tehet lehetővé, támogathatja az elöregedett erdők megújulását, továbbá elősegítheti a klímaadaptációt és a fenntarthatóbb erdőgazdálkodást (Borovics et al. 2023). Az erdőalapú ágazat klímamitigációs lehetőségeinek értékelésekor meghatározó kérdés, hogy a fakitermelésből eredő *in situ* szénkészletcsökkenés milyen időtávon térülhet meg a megújult, klímarezisztens fafajokból álló erdők magasabb folyónövedéke révén, illetve, hogy a faanyag-hasznosítás nyújtotta előnyök milyen mértékben képesek ellensúlyozni az élőfakészlet átmeneti csökkenését (Hurmekoski et al. 2022).

Korosuo et al. (2023) felhívják a figyelmet arra, hogy az EU erdeinek szénelnyelő képessége csökken, és egyre inkább eltávolodik az uniós klímacéloktól. Az elmúlt évtizedben a szénelnyelés stagnálni kezdett, mivel az éves növedék és a kitermelés mértéke közel egyensúlyba került. Az utóbbi időszakban azonban már kimondott visszaesés tapasztalható a szénmegkötésben, amit többek között az alacsony erdőtelepítési ráta, a lassuló növekedés, a természetes mortalitás növekedése és az emelkedő fakitermelési szintek okoznak. A korábban is intenzív erdőgazdálkodást folytató, kedvező adottságú országok (Skandinávia, Németország, Ausztria) esetében a klímaváltozás miatti lucpusztulás és szűkár fontos tényező, és a nagy erdőterület miatt az európai átlagot jelentősen befolyásolja. Finnország és Svédország, ahol az éves folyónövedék évtizedeken át növekedett, ma már szénkibocsátóvá vált, míg több kelet-európai ország – például Bulgária, Észtország, Lettország vagy Horvátország – az egyenlőtlen korosztályszerkezet korrigálása érdekében ösztönzi a fakitermelés növelését. Olaszországban és Lengyelországban a balra tolódott korosztályszerkezet (ti. hogy az erdőterület a kor szerinti eloszlásának hisztogramján a fiatal állományok túlsúlya figyelhető meg) az intenzív múltbéli erdőhasználat utáni regenerációt tükrözi (Böttcher et al. 2008), míg a boreális térségben az idős korosztályok túlsúlyának kialakulásában a tűzesetek elfojtása is szerepet játszott (Axelsson et al. 2002). Szlovénia rendelkezik a leginkább jobbra tolódott korosztályszerkezettel Európában (Böttcher et al. 2008).

Egy térség korosztályszerkezete nagyban meghatározza annak aktuális széntároló képességét és jövőbeli szénkészlet-változásait. Böttcher et al. (2008) szerint ugyanazon gazdálkodási gyakorlat mellett a fiatalabb erdők túlsúlyát mutató (balra tolódott) korosztályszerkezet esetén a szénmegkötés várhatóan növekszik, míg az idősebb állományok által dominált (jobbra tolódott)

korszerkezet esetében a szénmegkötés csökkenése várható. Ez a korosztályi örökség a klíma-egyezmények referenciaéveként használt 1990-es év utáni gazdálkodás hatásait is felülírhatja az európai erdők esetében (Canadell et al. 2007; Böttcher et al. 2008). Ezért elengedhetetlen, hogy az erdőipari szektor szénmérlegét átfogó módon, az erdei széntárolás, a faanyagban megkötött szén és a helyettesítési hatások figyelembevételével értékeljük. Ez a holisztikus megközelítés lehetővé teszi olyan erdőgazdálkodási döntések meghozatalát, amelyek még a csökkenő szénnyelés vagy a biomaszra szénkibocsátásának átmeneti növekedése esetén is hosszú távon fenntarthatóak.

Borovics et al. (2024) három scenárió mentén értékelték a magyar erdők országos szintű szénmérlegét, melyek a következők voltak: BAU-szenárió, csökkentett fakitermelés a természetvédelmi célok fokozott térnyerésével, valamint intenzívebb fakitermelés fokozott erdőtelepítéssel és klíma-
védelmi szerkezetátalakításokkal. Eredményeik szerint országos szinten a fokozott fakitermelést és erdőfelújítást célzó stratégia a legkedvezőbb, mivel a biomaszra továbbra is szénnyelő marad, teljesíthetők az EU LULUCF-célkitűzései is, illetve 2050-re ez a forgatókönyv eredményezi a legnagyobb klímamitigációs hatást. Ugyanakkor kérdéses, hogy ugyanez a stratégia mennyire eredményes olyan térségekben, ahol az erdők korosztály szerkezete egyenlőtlenebb eloszlású, mint az országos erdőállomány esetében. Ilyenkor már egy mérsékelt kitermelés-növekedés is elegendő lehet ahhoz, hogy az élőfakészlet szénkibocsátóvá váljon. Ennek vizsgálatára jelen tanulmányunkban egy erdőgazdálkodó szintjén végezzük el a Borovics et al. (2024) által országos szinten már felvett modelljezt.

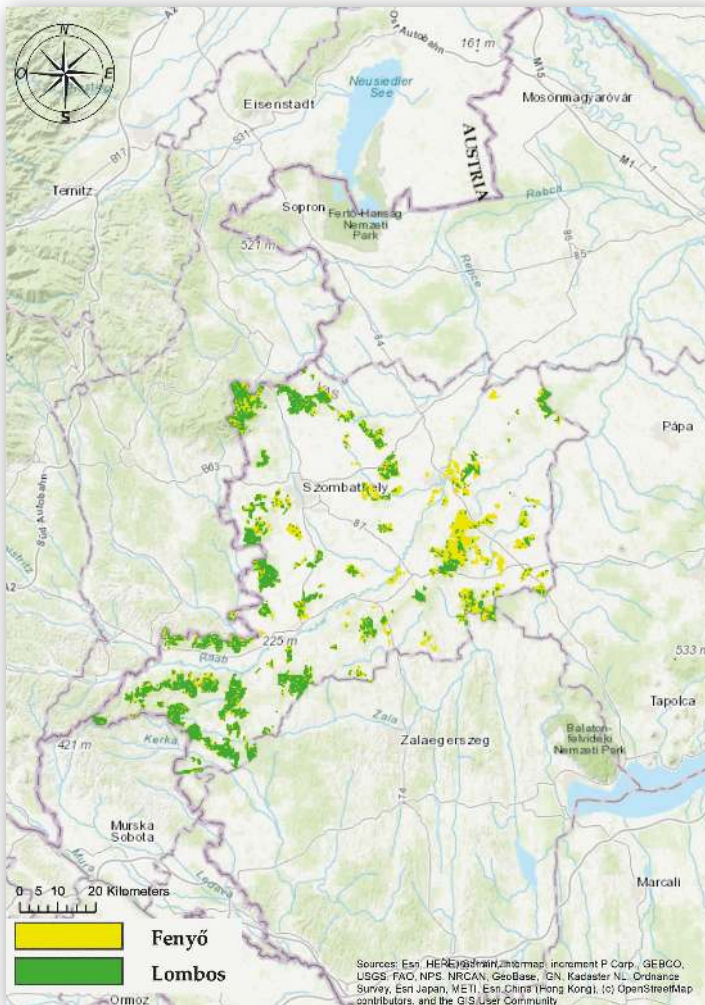
Magyarország viszonylag kis területe (9 302 260 ha) ellenére jelentős termőhelyi, fafajösszetéti és gazdálkodási változatosságot mutat. Ezen belül a Szombathelyi Erdészeti Zrt. országos szinten kiemelkedik a fenyőállományok magas részarányával. Ezek jellemzően mesterséges telepítéssel alakultak ki a 20. században, részben az akkori erdészeti politika, részben a növekvő iparifa-kereslet hatására. A fenyőfajok Magyarországon különösen érzékenyek a klímaváltozásra, mivel elterjedésük szárazsági határán élnek. Ennek ellenére a Szombathelyi Erdészeti Zrt. kezelésében álló 47 000 hektáros területen a fenyvesek vágáskora folyamatosan emelkedik, és a fenyőállomány korosztály szerkezete erősen jobbra tolódott. A térségre vonatkozó éghajlati előrejelzések szerint középtávon szükségessé válhat a fenyőállományok fokozatos lecserélése klímaturó lombos fafajokra (Illés és Móricz 2022). Az előregedő fenyvesek esetleges összeomlása komoly kockázatot jelent, így indokolt a jelenlegi erdőgazdálkodási stratégia újragondolása. A kitermelési intenzitás növelése, valamint a fokozatos fafajcsere klímaturó fafajok alkalmazásával kínálhat megoldást. A különböző fakitermelési forgatókönyvek szénmérlegre gyakorolt hatásainak részletes elemzése hozzájárulhat a stratégiai döntések megalapozásához, és segíthet a klímamitigációs hatások értékelésében.

Tanulmányunk célja a Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők jelenlegi és jövőbeli szénmérlegének elemzése, valamint a fokozott kitermelés klímamitigációs hatásainak értékelése volt, figyelembe véve az élő biomaszra, a fatermékek (HWP) szénmérlegét, valamint a termék- és energiahelyettesítés által elkerült kibocsátások volumenét. Ezen túlmenően a jelenlegi korosztály szerkezetet, illetve a különböző fakitermelési forgatókönyvekhez tartozó jövőbeli korosztály szerkezetet is vizsgáltuk annak érdekében, hogy feltárjuk a korosztályi örökség hatásait és azok erdőgazdálkodási következményeit. A modellezést a *Forest Industry Carbon Model* segítségével végeztük (Borovics et al. 2024; Kottek et al. 2023; Kottek 2023; Király et al. 2023a,b), az Országos Erdőállomány Adattár adatainak felhasználásával.

12.2 AZ ERDŐGAZDASÁGI SZINTŰ VIZSGÁLAT MÓDSZERTANA

12.2.1 A SZOMBATHELYI ERDÉSZETI ZRT. ÁLTAL KEZELT ERDŐK SAJÁTÓSSÁGAI

Magyarországon az erdőterület megközelítőleg 2 millió hektár, amelynek 55%-a állami tulajdonban van, és 21 állami erdőgazdaság kezeli. A Szombathelyi Erdészeti Zrt. az ország nyugati részén mintegy 47 000 hektárnyi erdőterületet kezel (113. ábra). A társaság különböző termőhelyi adottságok mellett gazdálkodik: az Őrség szubalpin fenyveseitől a Kemenesalja száraz cseresállományain át a Dráva árterének ligeterdeieig.

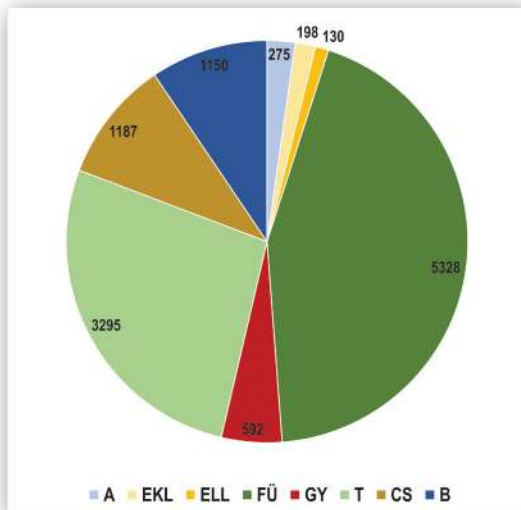


113. ÁBRA

A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdőterületek.

2020-ban a társaság erdőterületének 12%-át nem-vágásos üzemmódban kezelték. Ez 750 hektár örökerdő-üzemmódú állományt, 850 hektár faanyagtermelést nem szolgáló erdőt és 3700 hektár átmeneti üzemmódban kezelt területet jelentett. A fenyőfajok az élőfakészlet 44%-át adják (114. ábra), és az erdőterület közel egyharmadát fenyvesek borítják. A kitermelt faanyag éves mennyiségének kétharmada fenyő, elsősorban erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.).

Tekintettel arra, hogy a fenyők – különösen a lucfenyő (*Picea abies* L. H. Karst.) és az erdeifenyő – Magyarországon érzékenyek a klímaváltozás kedvezőtlen hatásaira (Mátyás et al. 2018; Ujvári-Jármay et al. 2016; Lakatos et al. 1999), egyre sürgetőbbé válik adaptációs stratégiák kidolgozása és fafajcserék megvalósítása az érintett területeken. Ezek a stratégiák azonban a fakitermelés intenzitásának növelését is szükségessé teszik.



114. ÁBRA

A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők élőfakészletének fafajok szerinti megoszlása 2021-ben. Az adatok 1000 m³ egységben szerepelnek.

12.2.2 AZ ADATFORRÁS AZ ORSZÁGOS ERDŐÁLLOMÁNY ADATTÁR

A vizsgálat során elsődleges adatforrásként az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) használtuk, amely a magyar Erdészeti Hatóság hivatalos nyilvántartása. Az OEA részletes információkat tartalmaz erdőrézlet szinten, több mint 300 numerikus attribútummal és digitális térképekkel (Tobisch és Kottek 2013). Az adatbázis tartalmazza a tulajdonosi viszonyokat, az erdőgazdálkodó adatait, a terület nagyságát, a védettségi státuszt, a termőhelyi jellemzőket, a talajmintavételi adatokat, a dendrometriai adatokat, a fafajösszetételt, a korábbi fakitermelések és felújítások adatait, a tervezett beavatkozásokat, valamint a felújítási és telepítési előírásokat (Kottek et al. 2023).

A dendrometriai adatokat rendszerint tízévente veszik fel a körzeti erdőtervezés keretében. A körzeti erdőtervek meghatározzák az elvégzendő gazdálkodási feladatokat és azok ajánlott ütemezését a következő évtizedre (Kottek et al. 2023). Az egyes fafajokra vonatkozó vágásérettségi korokat a fafajcserék szintjén, a helyi normákat is figyelembe véve határozzák meg, biztosítva a fenntartható gazdálkodást (Borovics et al. 2023).

A vizsgálat során a Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt összes erdőrészt adatait felhasználtuk a *Forest Industry Carbon Model* input adataként. Az erdőtervi vágásérettségi korokra vonatkozó előírásokat arra használtuk, hogy megbecsüljük a következő 30 év maximális fakitermelési potenciálját, mely fenntartható erdőgazdálkodási gyakorlatok mellett elérhető.

12.2.3 A HASZNÁLT MODELLEK ÉS A SZCENÁRIÓK PARAMÉTEREZÉSE

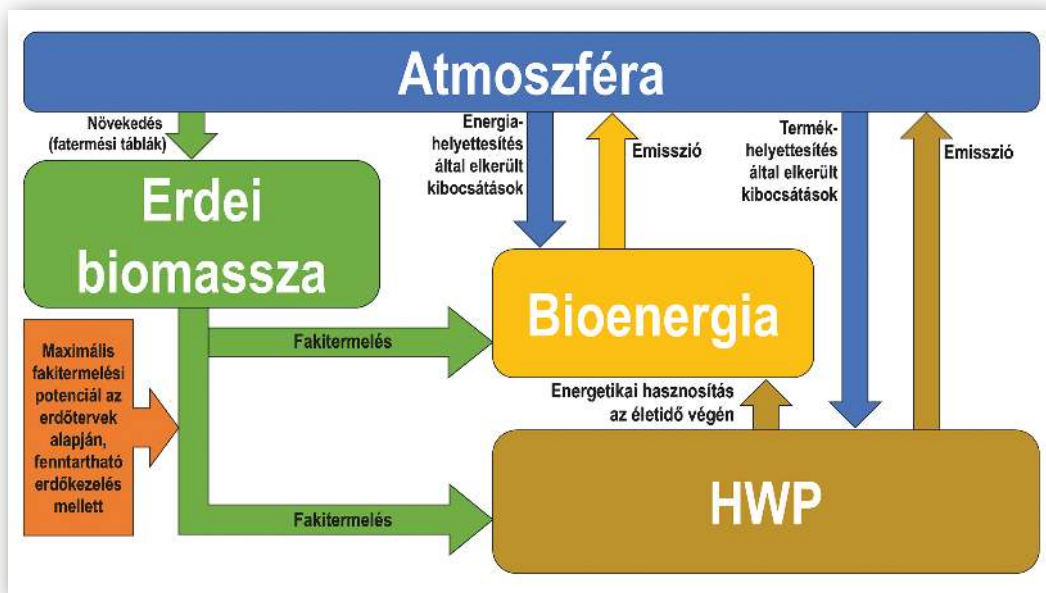
A modellezés során a *Forest Industry Carbon Model* (FICM, Borovics et al., 2024) alkalmaztuk, amely a *Distributions Applied on Stands* (DAS) erdőmodell (Kottek et al., 2023; Kottek, 2023) jelentősen továbbfejlesztett változata. A modell kiegészült egy HWP-modullal, valamint anyag- és energiahelyettesítési almodulokkal (Király et al., 2023a,b). A modellezés nem vette figyelembe az éghajlatváltozás hatásait, amelyek fokozott erdőkárokat idézhetnek elő.

Az FICM-modell fejlesztése az ErdőLab-projekt (Borovics, 2022) keretében történt. A kialakított modell egy empirikus modell, amely kifejezetten az OEA adatstruktúrájához lett igazítva. A modell 20 fatermési táblát alkalmaz, amelyek megegyeznek az OEA által használtakkal. A modell validálása a 2006–2015 közötti időszak historikus adatait alapul véve történt meg, és a modellezett érték mindössze 1,1%-os eltérést mutatott az országos élőfakészlet adatokhoz képest.

A modell a véghasználatokat korosztályonkénti véghasználati valószínűségek alapján szabályozza. Ezek a valószínűségi adatok a Szombathelyi Erdészeti Zrt.-re vonatkozó, az OEA-ból levett történeti adatokból származnak. A modell nem határozza meg előre az egyes erdőrészteltek véghasználatának időpontját, hanem a véghasználatra kerülő részleteket véletlenszerűen választja ki a koruk, a területük és a korfüggő véghasználati valószínűség értékek alapján, figyelembe véve a paraméterlapon meghatározott teljes véghasználati területet. A természetvédelmi oltalom alatt álló, valamint a faanyagtermelést nem szolgáló erdőrészteltek nem kerülnek véghasználatra. A gyérítési beavatkozások modellezése szintén történeti adatokon alapul. A véghasználatot követő erdőfelújítást olyan felújítási mátrixokkal modelleztük, melyeket a 2006–2020 közötti időszak adataiból vezettünk le kifejezetten csak a Szombathelyi Erdészeti Zrt.-re vonatkozó adatok elemzése útján.

A modell fatermék-modulja az IPCC módszertanán alapul: a fatermékek életciklusát és lebomlását elsőrendű bomlási egyenletek segítségével modellezzük, az üvegházhatású gázok leltárára vonatkozó IPCC-útmutatók (2006, 2019) alapján. A modul megbízhatóságát a nemzeti üvegházhatásúgáz-leltár (ÜHG-leltár) 1965–2020 közötti adatai alapján ellenőriztük, azonnali oxidáció feltételezésével. Ebben az esetben a jelentett és a modellezett adatsorok 90%-os egyezést mutattak. A fatermékek helyettesítési hatásait az Európai Erdészeti Intézet módszertana alapján modelleztük (Leskinen et al., 2018). Mivel Magyarországon nem állnak rendelkezésre országspecifikus helyettesítési tényezők, ezért a Leskinen és munkatársai (2018) által közölt, 1,2 kg C/kg C átlagos termékhelyettesítési tényezőt használtuk. Az energetikai helyettesítéshez 0,67 kg C / kg C értéket alkalmaztunk, összhangban a Myllyviita et al. (2021), Knauf et al. (2015, 2016), Härtl et al. (2017) és Schweinle et al. (2018) által közölt adatokkal. A HWP-modul részletes ismertetését Király et al. (2024) közli. A fahulladék-kezeléssel kapcsolatos adatok az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (2024) és a magyar ÜHG-leltár (NIR 2023) adatbázisaiból származnak. Az alkalmazott modellezési keretrendszert a 115. ábra szemlélteti.

A BAU-forgatókönyv paraméterezéséhez véghasználati és felújítási mátrixokat készítettünk, és ezek valószínűségi eloszlásait kifejezetten a Szombathelyi Erdészeti Zrt. kezelésében lévő területre határoztuk meg. Emellett értékeltük az erdők korosztály-eloszlását fajajcsoportonként. Ehhez lekér-



115. ÁBRA

A vizsgálatban alkalmazott modellezési keretrendszer folyamatábrája, amely magában foglalja a Forest Industry Carbon Model erdő-, HWP- és helyettesítési moduljait.

deztük az OEA-ból az egyes fajcsoportokhoz tartozó 10 éves korosztályok területét, ezeket az adatokat a modell inicializálásához használtuk fel.

A BAU-forgatókönyvben a véghasználatra kijelölt teljes területet a 2006 és 2021 közötti évek átlagos véghasználati területe alapján vetítettük előre. Feltételeztük, hogy ez az érték ötvenente 1%-kal növekszik,

összhangban a múltbeli trendekkel. Emellett négy alternatív forgatókönyvet dolgoztunk ki, amelyekben a véghasználati területet 10%, 20%, 30% és 40%-kal növeltük. Ezeket a forgatókönyveket „+10% fahasználat”, „+20% fahasználat”, „+30% fahasználat” és „+40% fahasználat” elnevezéssel jelöltük. A prognosztizált időszak 2024 és 2055 közé esett.

Emellett előrejelzéseket készítettünk a fatermékek szénmérlegére, és értékeltük az anyag- és energiahelyettesítés hatásait a *Forest Industry Carbon Model* fatermék- és helyettesítési moduljainak alkalmazásával (Király et al. 2023a, b). Minden forgatókönyvhöz kétféle fatermékprognózist készítettünk: egyet a BAU-faipari termelési szint mellett, egy másikat pedig intenzifikált faipari környezetben. Ez utóbbi esetben az intenzifikáció nagyobb ipari választékarányt, hosszabb termékélettartamot és hatékonyabb újrahasznosítási gyakorlatot jelentett (10. és 11. táblázat). A BAU-paramétereket az IPCC (2006, 2019) útmutatók és az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (2024) adatai alapján határoztuk meg. A faipar intenzifikációjára vonatkozó paramétereket szakértői becslés alapján állítottuk be. A helyettesítési tényezők Leskinen et al. (2018), Myllyviita et al. (2021), Knauf et al. (2015, 2016), Härtl et al. (2017) és Schweinle et al. (2018) tanulmányain alapulnak. A 2024-es évre mindkét forgatókönyv esetében a BAU paraméterek kerültek alkalmazásra, az Intenzifikációs forgatókönyvben ezek az értékek fokozatosan változtak 2024 és 2050 között.

10. TÁBLÁZAT

Faipari vonatkozású forgatókönyv-paraméterezés. A termékcsoportok felezési ideje években, az újrahasznosítási arányok pedig az adott fahulladék-kategórián belüli teljes hulladékmennyiség százalékában vannak megadva

		2024	2050
BAU	Fűrészáru felezési ideje (év)	35	35
	Lemezipari termékek felezési ideje (év)	25	25
	Papír és karton felezési ideje (év)	2	2
	Újrahasznosított fűrészáru %	25	25
	Újrahasznosított lemezipari termékek %	25	25
	Újrahasznosított papír és karton %	70	70
	Fatermékek termékhelyettesítési hatása (arányszám)	1.2	1.2
	Faalapú tüzelőanyagok energiahelyettesítési hatása (arányszám)	0.67	0.67
Intenzifikált faipar	Fűrészáru felezési ideje (év)	35	50
	Lemezipari termékek felezési ideje (év)	25	35
	Papír és karton felezési ideje (év)	2	2
	Újrahasznosított fűrészáru %	25	60
	Újrahasznosított lemezipari termékek %	25	60
	Újrahasznosított papír és karton %	70	85
	Fatermékek termékhelyettesítési hatása (arányszám)	1.2	1.2
	Faalapú tüzelőanyagok energiahelyettesítési hatása (arányszám)	0.67	0.67

A vizsgálat során feltételeztük, hogy a fatermékek életciklusuk végén azonnal lebomlanak, mivel a Szombathelyi Erdészeti Zrt. működési területére vonatkozóan a fahulladékok hulladéklerakással történő ártalmatlanításának volumenére vonatkozóan nem áll rendelkezésre elegendő adat a pontos modellezéshez.

Mivel a modellezésben alkalmazott termék- és energiahelyettesítési tényezők nem ország-specifikusak, a helyettesítésből származó becsült klímavédelmi hatások bizonytalansága nagyobb lehet, mint a biomasszában és a fatermékekben tárolt szén esetében. E bizonytalanság kezelésére érzékenységi vizsgálatot végeztünk, amelyben a helyettesítési tényezők eredeti értékét 20% és 200% között változtattuk, és így hasonlítottuk össze az öt vizsgált forgatókönyv relatív klímavédelmi teljesítményét.

A maximális fahasználati potenciál meghatározásához a Borovics et al. (2023) által leírt módszert alkalmaztuk. Először azonosítottuk és elkülönítettük azokat az állományokat, amelyek az elemzési időszak kezdetén (2021-ben) túltartottak minősültek. Ezen állományok kizárását követően egyszerű hozamprognózist végeztünk a fennmaradó területre, az erdőtervi vágásérettségi korokra alapozva. Feltételeztük, hogy minden állományt abban az évben termelnek le, amikor eléri a vágásérettségi korát, és a felújítás ugyanazon fafajjal, az eredeti fatermési osztály megtartásával történik. A módszer részletes leírása megtalálható Borovics et al. (2023) tanulmányában, akik ugyanezt a számítást Magyarország teljes erdőterületére végezték el. Az ilyen módon meghatározott maximális fakitermelési potenciált ezután összevetettük a *Forest Industry Carbon Model* által használt fakitermelési szintekkel.

11. TÁBLÁZAT

BAU választékszerkezet adatok a 2017-2021 évek historikus adatainak átlaga alapján (OSAP 2023) és az intenzifikált faiparra jellemző növelt ipari választékarányok, melyek szakértői becslés útján kerültek meghatározásra.

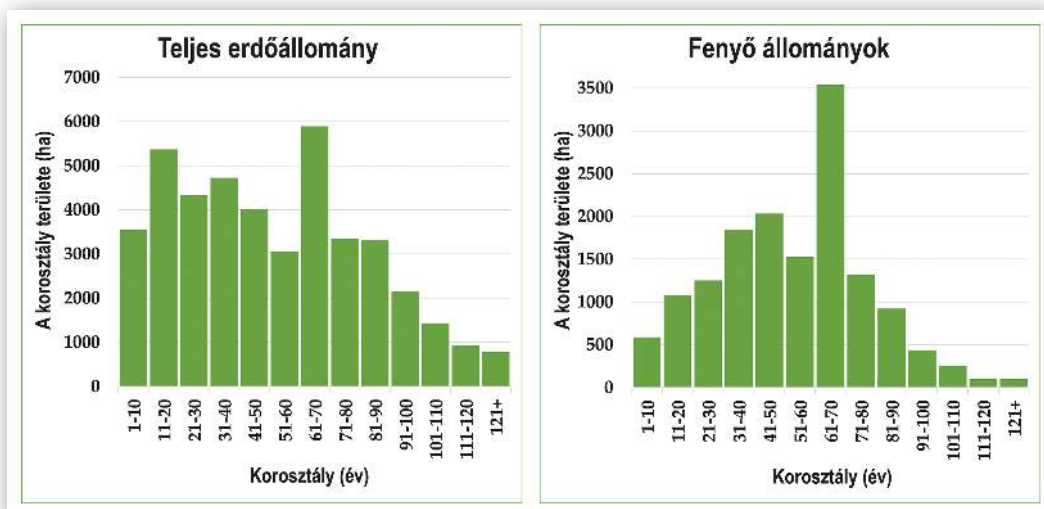
	T	CS	B	GY	A	EKL	NNY	HNY	FÜ	ELL	F
BAU											
Fűrészáru	25%	2%	23%	2%	10%	10%	55%	38%	11%	20%	26%
Rostfa	6%	4%	16%	10%	10%	8%	31%	23%	54%	14%	39%
Papírfa	0%	1%	1%	0%	0%	0%	5%	20%	2%	1%	21%
Tűzifa	69%	93%	59%	88%	80%	82%	8%	18%	33%	65%	14%
Intenzifikált faipar											
Fűrészáru	50%	40%	40%	20%	40%	30%	55%	50%	20%	40%	40%
Rostfa	20%	20%	30%	30%	10%	30%	35%	30%	60%	30%	40%
Papírfa	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%	5%	5%	10%
Tűzifa	25%	35%	25%	45%	50%	35%	5%	15%	15%	25%	10%

12.3 AZ ERDŐGAZDASÁGI SZINTŰ VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

Eredményeink szerint a Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők koreloszlása jobbra tolódott (116. ábra). Ez a tendencia különösen a fenyők esetében szembetűnő, ahol a 61–70 éves korosztály képviseli a legnagyobb területet, meghaladva a 3500 hektárt. A fenyők véghasználati kora 70 és 110 év között változik a fatermési osztály függvényében. Ez arra utal, hogy a túlreprezentált korosztály rövid időn belül eléri a vágásérettségi kort.

A túltartott állományok élőfakészlete 2021-ben meghaladta a 600 ezer m³-t (117. ábra). Fontos azonban megjegyezni, hogy az olyan állományok, amelyek kiemelt természetvédelmi értéket képviselnek (például erdőrezervátumok), vagy örökerdő-, illetve faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódúak, nem minősülnek túltartottnak, mivel az OEA ezekhez nem rendel vágásérettségi kort. Ez tehát azt jelenti, hogy a túltartott élőfakészlet azonnal kitermelhető lenne anélkül, hogy az erdőterv által megszabott fenntarthatósági korlátokat megsértenénk.

Az erdőtervi vágásérettségi korok alapján 2025–2055 között a maximális fakitermelési potenciál 11,8 millió m³ (a túltartott állományok nélkül). Ez azt az összes kitermelhető faanyagmennyiséget jelenti, amely akkor lenne elérhető, ha minden állományt pontosan a vágásérettségi korában termelnének le (118. ábra, fekete pontozott vonal). A túltartott állományok bevonásával az elérhető összes fahasználati potenciál 12,4 millió m³-re nő, ami éves szinten 400 000 m³-t jelent.

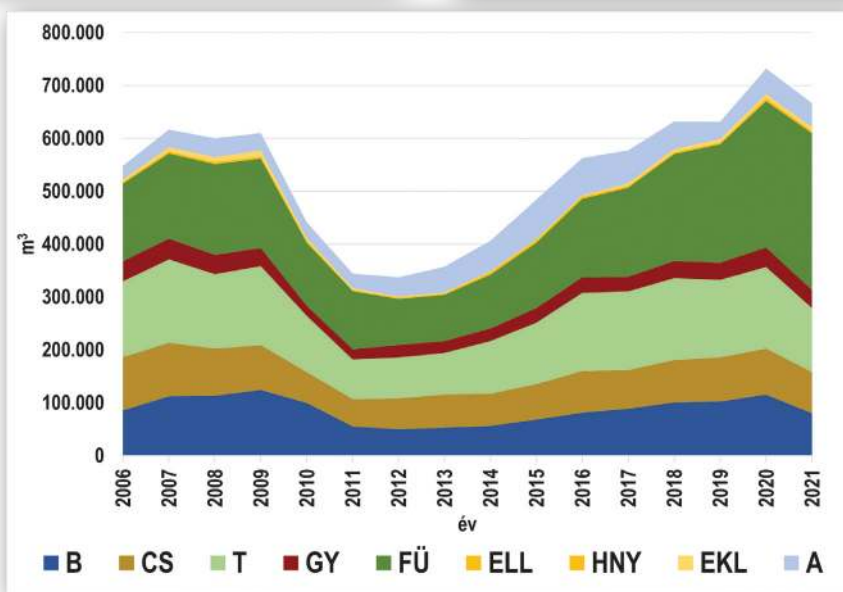


116. ÁBRA

A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt teljes erdőállomány korosztály-eloszlása. Jobbra: a Zrt. által kezelt fenyőerdők korosztály-eloszlása.

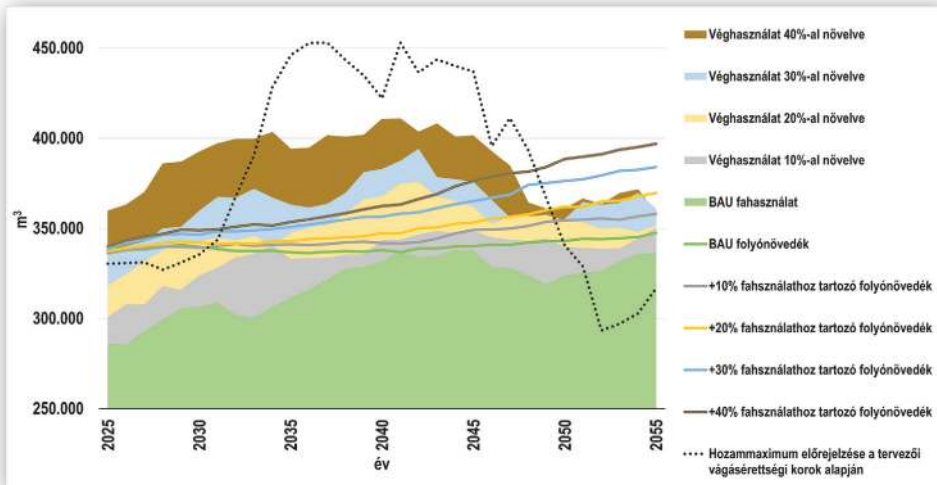
A túltartott erdők fatérfogatának alakulása a Szombathelyi Erdészeti Zrt. működési területén 2006 és 2021 között.

117. ÁBRA



Borovics A., Király É., Kottek P.

A 118. ábra bemutatja az öt modellezett forgatókönyvhöz tartozó éves fakitermelési előrejelzéseket, illetve a folyónövedék alakulását scenáriónként. A BAU-forgatókönyvben a kitermelt mennyiség minden évben a folyónövedék alatt marad. Az intenzívebb kitermelést feltételező forgatókönyvekben bizonyos években a fakitermelés szintje meghaladja a folyónövedéket. A prognosztizált időszak egészét tekintve a folyónövedékhez viszonyított éves fakitermelési arány a „+20% kitermelés” forgatókönyvben eléri a 100%-ot (119. ábra). Ezzel szemben a maximális fahasználati potenciál és a fakitermelés arányszáma a „+30% kitermelés” forgatókönyv esetén 96%, míg a „+40% kitermelés” esetén meghaladja a 100%-ot (101%).

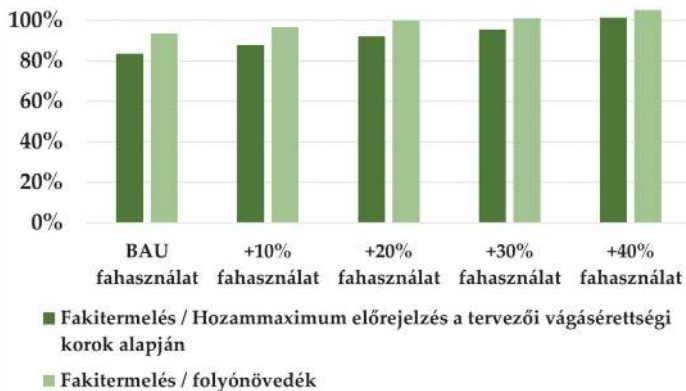


118. ÁBRA

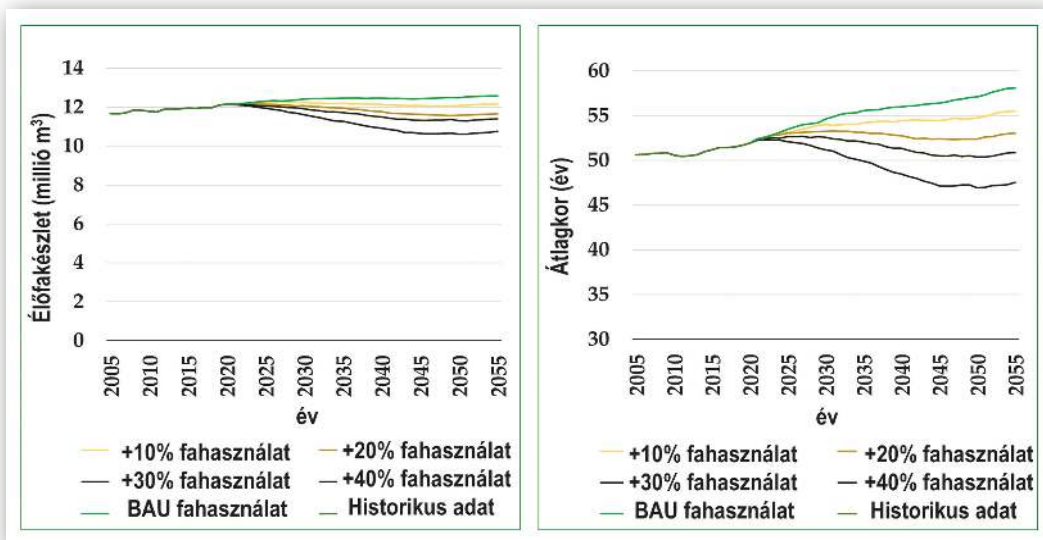
Az öt vizsgált scenárióhoz tartozó fakitermelés- és folyónövedék-előrejelzések, valamint az erdőtervekben meghatározott vágásérettségi korokon alapuló maximális fahasználati potenciál.

119. ÁBRA

Az egyes scenáriókhöz tartozó fakitermelési projekciók aránya az erdőtervezői vágásérettségi korokon alapuló maximális fahasználati potenciálhoz viszonyítva, illetve a Forest Industry Carbon Model által prognosztizált scenárió-specifikus éves folyónövedék értékekhez viszonyítva.



A BAU-forgatókönyv szerint a Zrt. által kezelt erdők teljes élőfakészlete 12,4 millió m³-ről 12,6 millió m³-re nő 2055-ig. Ezzel szemben a „+40% kitermelés” forgatókönyvben ez az érték 10,7 millió m³-re csökken. Az állományok átlagkora a BAU-forgatókönyvben 52 évről 58 évre nő, míg a „+40% kitermelés” forgatókönyv esetén 47,5 évre csökken (120. ábra).

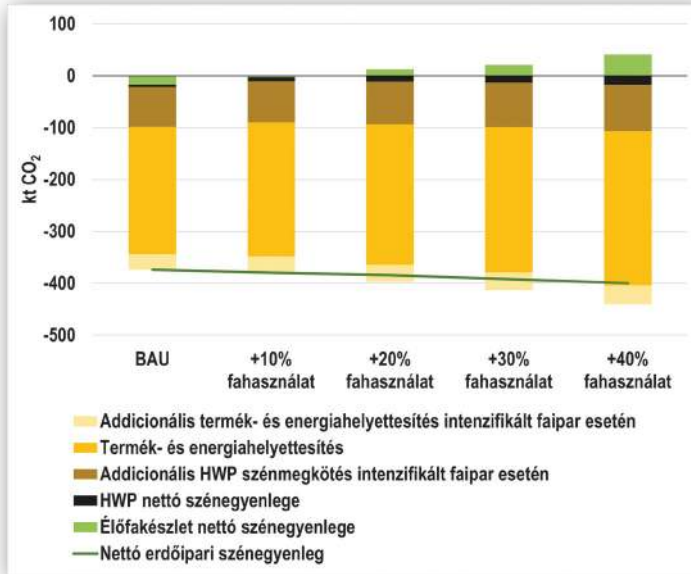


120. ÁBRA

Balra: az élőfakészlet alakulása az öt forgatókönyv szerint. Jobbra: az átlagkor alakulása az öt forgatókönyv szerint.

A modellezési eredmények azt mutatják, hogy a BAU-forgatókönyv esetén az erdei biomassa mérsékelt szénmegkötést biztosít, amelynek éves átlaga -17 k tonna CO₂ (10. ábra, 3. táblázat). A „+10% kitermelési” forgatókönyv esetén az erdei biomassa szénmérlege nulla körüli, a teljes időszak alatt -3 kt CO₂/év értéket mutat. Ennél magasabb kitermelési intenzitásnál az erdők szénkibocsátóvá válnak. A legintenzívebb forgatókönyvben („+40% kitermelés”) az átlagos szénkibocsátás 41 k tonna CO₂/év.

A teljes erdőalapú szektor szénmérlegét tekintve a szimulációk azt mutatják, hogy a nagyobb fakitermelési intenzitások a BAU-forgatókönyvhöz képest kedvezőbb klímavédelmi hatásokat eredményeznek (121. ábra, 12. táblázat). A fatermékek éves szénmegkötése a BAU-szenárió esetén -5 k kt CO₂/év, míg a „+40% kitermelés” esetén eléri a -17 k kt CO₂/év értéket, amely megegyezik az erdei biomassa BAU-szerinti szénmegkötésével. Intenzifikált faipari feltételek esetén a fatermékek szénmegkötése tovább növelhető, akár -90 k kt CO₂/év értékig. A negatív kibocsátások legnagyobb hányada a termék- és energiahelyettesítéssel elkerült emissziókból adódik, amely a BAU és a „+40% kitermelés” forgatókönyvek esetén háromszor, illetve ötször nagyobb, mint az erdei biomassa és a fatermékek összesített nettó szénmegkötése.



121. ÁBRA

Az élőfakészlet-, a HWP-széntároló- és a helyettesítési hatások éves átlagos szénegyenlege az öt vizsgált szcenárióban.

12. TÁBLÁZAT

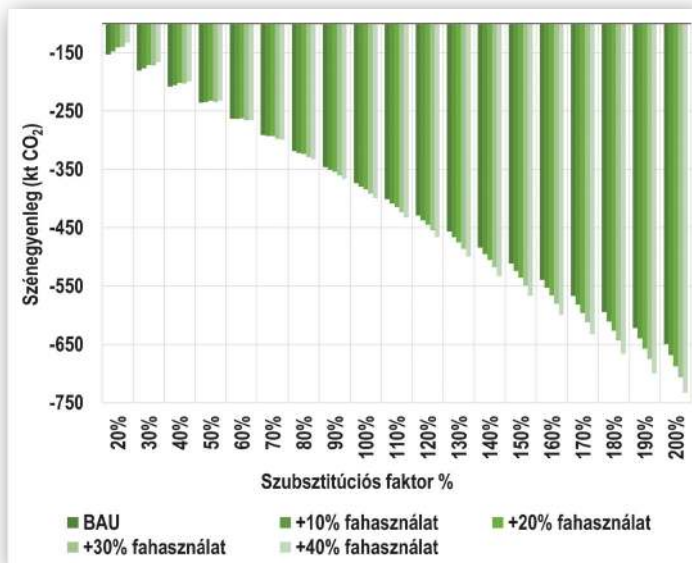
Az élőfakészlet és a HWP éves szénmérlege, valamint a termék- és energiahelyettesítéssel elkerült kibocsátások alakulása az öt vizsgált forgatókönyv szerint

	BAU fakitermelés	+10% fakitermelés	+20% fakitermelés	+30% fakitermelés	+40% fakitermelés
Erdei biomassa nettó szénmérlege (k tonna CO ₂ /év)	-17	-3	13	21	41
HWP nettó szénmérlege (k tonna CO ₂ /év)	-5	-8	-11	-13	-17
További szénmegkötés a HWP-tárolóban intenzifikált faipar esetén (k tonna CO ₂ /év)	-76	-80	-83	-85	-90
Termék- és energiahelyettesítés (k tonna CO ₂ /év)	-246	-258	-270	-280	-298
További termék- és energiahelyettesítés intenzívebb faipar esetén (k tonna CO ₂ /év)	-30	-31	-33	-34	-36
Nettó erdőipari szénmérleg (k tonna CO ₂ /év)	-374	-379	-384	-392	-399

A termék- és energiahelyettesítéssel elkerült kibocsátások teszik ki a modellezett negatív emisziók legnagyobb részét, így a helyettesítési tényezők bizonytalansága jelentősen befolyásolhatja a modellezési eredményeket. Annak érdekében, hogy felmérjük, milyen hatással van a helyettesítési tényezők változása az eredményekre, érzékenységvizsgálatot végeztünk (122. ábra). Az alternatív helyettesítési tényezőkkel végzett szimulációk azt mutatják, hogy ha a helyettesítési tényezőket a felére vagy annál kisebb értékre csökkentjük, a forgatókönyvek relatív teljesítménye megváltozik: a BAU válik a legkedvezőbbé, míg a „+40% kitermelés” a legkedvezőtlenebbé.

122. ÁBRA

Az érzékenységvizsgálat eredményei: a helyettesítési tényezők módosításának hatása a vizsgált forgatókönyvek relatív teljesítményére. A tényezőket az eredeti érték 20–200%-a között változtattuk.



12.4 AZ ERDŐGAZDASÁGI SZINTŰ VIZSGÁLAT KÖVETKEZTETÉSEI

Elemzésünk alapján a Szombathelyi Erdészeti Zrt. kezelésében lévő területen a túltartott állományok élőfakészlete 2021-ben meghaladta a 600 ezer m³-t. A kiemelt természetvédelmi értékkel bíró, valamint az örökerdő- és a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú állományokat a vizsgálat sosem tekinti túltartottnak. Tehát a túltartottnak minősített élőfakészlet kitermelése azonnal megvalósítható lenne anélkül, hogy sérülnének az erdőtervi fenntarthatósági kritériumok. Lerink és munkatársai (2023) hangsúlyozzák, hogy az előregedő erdők és a magas élőfakészlet számos EU-tagállamban elkerülhetetlenül növeli a természetes bolygatások kockázatát a nem megfelelően gyérintett állományokban. Becsléseik szerint Európa-szerte évi 90 millió m³ többlet fakitermelési potenciál áll rendelkezésre. Ez rávilágít arra, hogy stratégiai jelentőséggel bír a túltartott állományok kezelése az idősödő erdők megújítása és a kockázatok mérséklése szempontjából.

A korosztály-eloszlásra vonatkozó eredményeink alapján a Szombathelyi Erdészeti Zrt.-nek a következő években kulcsfontosságú döntést kell meghoznia, mivel egy igen jelentős területű korosztály hamarosan eléri a vágásérettségi korát. Ez különösen fontos annak fényében, hogy Magyarország

éghajlati viszonyai már nem ideálisak a lucfenyő számára, és a jövőben az erdeifenyő is egyre nagyobb károknak lehet kitéve (Mátyás et al. 2018; Ujvári-Jármay et al. 2016; Lakatos et al. 1999). A kérdéses, nagy területű korosztályhoz tartozó állományok letermelése és felújítása, illetve a szükséges fafajcserék a jelenlegi BAU-szintű fakitermelés mellett nem valósíthatók meg. Ha a kitermelési intenzitás nem változik, a felülreprezentált korosztály túlsúlya fennmarad, és a modellezési eredmények szerint az erdőállomány átlagkora folyamatosan növekedni fog.

Vizsgálatunk során három szempont alapján értékeltük az erdőgazdálkodás fenntarthatóságát: az erdőtervek előírásai alapján, a fakitermelés és a folyónövedék aránya alapján, valamint a szénegyenleget alapul véve. Ezek közül az erdőtervek szigorúan szabályozottak és az erdőrészlet szintjén is alkalmazhatóak. Magyarországon az erdőterveket az állami erdőtervezés munkatársai készítik el a természetvédelmi hatósággal együttműködésben, biztosítva az erdőgazdálkodás fenntarthatóságát. Az erdőtervek fafajsortípus szinten határozzák meg a vágásérettségi kort, e felett a kor felett az állomány letermelhető anélkül, hogy a fenntarthatóság sérülne (Borovics et al. 2023). Egy erdőgazdaság szintjén a fenntarthatóság azt is jelentheti, hogy a kitermelés nem haladhatja meg a folyónövedék szintjét. Illetve jelentheti azt az elvárást is, hogy az erdők minden évben szénelnyelőként viselkedjenek, vagy legalábbis karbonsemlegesek maradjanak. A pozitív szénmérleg eléréséhez az szükséges, hogy a kitermelés és a természetes mortalitás együttes szintje minden évben a folyónövedék értéke alatt maradjon.

Erdőrészletszinten vizsgálva azonban nem mindig megvalósítható az éves szintű szénsemlegesség. Például a véghasználat évében az állomány kibocsátóvá válik, és a semlegesség csak az egész vágásforduló során valósul meg. Tágabb értelemben, az erdőalapú ágazat egészét tekintve, nem feltétlenül az erdei biomaszra szénmérlegének optimalizálása jelenti a leghatékonyabb klímavédelmi stratégiát. Bizonyos körülmények között a folyónövedéknél alacsonyabb fakitermelési szint nem feltétlenül kedvező. Böttcher et al. (2008) szerint a jobbra tolódott korosztály-eloszlás táji szinten akkor lehet jellemző, hogyha ideiglenesen csökkent a bolygatások (fakitermelés és természetes bolygatások) szintje. A szerzők ugyanakkor hangsúlyozzák, hogy egy ilyen állapot mindig átmeneti és hosszabb távon fenntarthatatlan. Canadell et al. (2007) kiemelik, hogy a korábbi erdőgazdálkodási gyakorlatok hosszú távú hatásokat hagynak maguk után, amelyek évtizedekig befolyásolják a regionális széndinamikát. Böttcher et al. (2008) szerint a gazdálkodás megváltoztatása csak a szénkibocsátások időzítését és mértékét befolyásolja, de nem változtatja meg azokat az irányokat, amelyeket az öröklött korosztályszerkezet kijelöl.

A Szombathelyi Erdészeti Zrt. erdeiben ez a korosztályszerkezeti hatás meghatározó. Ez azt jelenti, hogy ha idejében át akarjuk alakítani a túltartott és sérülékeny fenyőállományokat, el kell fogadnunk, hogy az erdei biomaszra néhány évtizedre szénkibocsátóvá válik. Az állományok felújítási időszaka különösen fontos a klímaadaptáció szempontjából, hiszen lehetőséget biztosít a természetes genetikai változatosság, valamint az előadaptált szaporítóanyagok és a megfelelő fafajcserék alkalmazására (Borovics et al. 2023; Borovics és Mátyás 2013). A kitermelés és megújítás halogatása lassítja az alkalmazkodást, és növeli a természetes bolygatásokból, erdőkárokból eredő szén-dioxid-kibocsátások kockázatát. Ráadásul a 118. ábra szerint a fakitermelés növelése magasabb folyónövedékhez is vezet, amely fokozza az atmoszférikus CO₂ megkötését.

A Helsinki H1-es határozat szerint a fenntartható erdőgazdálkodás „az erdőterületek olyan módon és ütemben történő kezelése és hasznosítása, amely megőrzi biológiai sokféleségüket, termőképességüket, megújulóképességüket, vitalitásukat, valamint képességüket arra, hogy a jelenben és a jövőben betöltsék az ökológiai, gazdasági és társadalmi szerepüket helyi, nemzeti és globális szinten, anélkül,

hogy más ökoszisztémákban kárt okoznának" (Mayer 2000, MCPFE 1993). Ez azt jelenti, hogy az erdők fatermőképességének, vitalitásának és megújulókéességének fenntartása a fenntarthatóság kulcselemei. Ezek a szempontok azonban sérülhetnek, ha az élőfakészlet pozitív szénmérlegének fenntartását tekintjük célnak egy erősen jobbra tolódott korosztályszerkezetű erdőállomány esetében.

Prins és munkatársai (2023) hangsúlyozzák, hogy a fenntartható erdőgazdálkodás fogalmát ki kell terjeszteni a klímaváltozás mérséklése, az energiaellátás-, a vidéki térségek fejlesztése és más kapcsolódó szakpolitikai területek felé, amelyekhez az erdőgazdálkodás hozzájárul. Ez új szemléletet igényel a fenntartható erdőgazdálkodás rendszerhatárainak értelmezésében. Hurmekoski és társai (2022) rámutatnak, hogy az erdőalapú szektor teljes klímamérlegének értékeléséhez egyszerre kell figyelembe venni az élőfakészletben, a talajban és a fatermékekben bekövetkező szénkészlet-változásokat, valamint a faanyaghasználat fosszilis kibocsátásokat elkerülő helyettesítési hatásait. Ez azt jelenti, hogy a fenntartható erdőgazdálkodás rendszerhatárai sokkal tágabbak, túlmutatnak az erdő fizikai határain, és magukban foglalják az erdőipar egészét (Borovics et al. 2023), valamint a technoszférában hosszú távon tárolt faanyagkészleteket is (Hurmekoski et al. 2022).

Mivel elemzésünkben nem feltételeztünk földhasználat-változást, úgy tekintettük, hogy a talaj szénkészlete a vizsgált időszakban egyensúlyban marad. Ez a feltételezés konzisztens a hazai ÜHG-leltár (NIR 2023) módszertanával. Számításaink szerint a Szombathelyi Erdészeti Zrt. esetében a fatermékek szénmegkötése és a termékhelyettesítés révén elkerült kibocsátások mértéke jóval meghaladja az élő biomassza szénegyenlegéből származó nettó kibocsátásokat/elnyeléseket. Így a „+40% fakitermelési” forgatókönyv adja a vizsgált alternatívák közül a legkedvezőbb klímamitigációs hatást a teljes erdőipar szintjén. A fakitermelés 40%-os emelkedésnél magasabb fakitermelési intenzitást feltételező forgatókönyveket nem vizsgáltunk, mivel a 40%-os növekedés tekinthető a reálisan elérhető maximumnak. A 119. ábrán látható, hogy ez a szint már meghaladja (101%) az erdőtervekben rögzített maximális fahasználati potenciált. Mivel ennek túllépése sértené a fenntarthatósági követelményeket és az erdőtervényt, ezért a +40%-nál nagyobb kitermelést feltételező forgatókönyvek vizsgálata életszerűtlen lenne.

Eredményeink összhangban állnak Fiorese és Guariso (2013) következtetéseivel, akik regionális szinten modellezték az erdőalapú szektor szénmérlegét Olaszországban, és arra az eredményre jutottak, hogy a fakitermelés maximalizálása négy erdőtípusból három esetben bizonyult optimálisnak, mivel az erdők nettó szénmegkötése egy nagyságrenddel kisebb volt, mint az energiahelyettesítés révén elkerült kibocsátások. Vizsgálatuk rávilágított arra, hogy a térségben az erdők bioenergia-forrásként betöltött szerepe fontosabb, mint szénelnyelőként való működésük, és aktív erdőgazdálkodás és fakitermelés nélkül, ha az erdőket teljes védelem alá helyeznék, hatásuk a régió szénmérlegére elhanyagolható lenne (Fiorese és Guariso 2013). Pukkala (2014) megerősítette, hogy az erdőgazdálkodás szénmérlege általában pozitív, ha a kitermelés megközelíti a folyónövedék szintjét, viszont helyettesítési hatások nélkül a mérleg nulla körüli vagy negatív is lehet, attól függően, hogy a talaj- és a fatermékek széntartalma növekvő vagy csökkenő tendenciát mutat.

A helyettesítési hatások kvantifikálása azonban bonyolult és sok bizonytalansággal jár. A helyettesítési tényező általában azt az ÜHG-kibocsátást jelöli, amelyet akkor kerülünk el, ha egy faalapú termék helyettesít egy másik, azonos funkciójú nem-faalapú terméket (Leskinen et al. 2018). E hatások jelentősen változhatnak a faipari termék típusától, illetve a helyettesített terméktől függően. Emellett a termékek élettartama, a hulladékkezelés módja és a gyártási melléktermékek felhasználása is nagyban befolyásolja a helyettesítési hatások nagyságrendjét (Leskinen et al. 2018). Emiatt a nemzetközi szakirodalomban közölt helyettesítési tényezők jelentős szórást mutatnak. Leskinen és munkatársai (2018) 51 tanulmányt vizsgáltak, amelyekben a helyettesítési tényezők $-0,7$ és $5,1 \text{ kg C / kg C}$ kö-

zött mozogtak. A vizsgált értékek közül azoknak, amelyek legalább két életciklus-szakaszt figyelembe vettek, több mint 90%-a pozitív értékű volt, azaz a termékhelyettesítések kedvező klímamitigációs hatását támasztotta alá. Tanulmányunkban a Leskinen és társai (2018) által javasolt 1,2 kg C/kg C termékhelyettesítési tényezőt és a Myllyviita et al. (2021), Knauf et al. (2015, 2016), Härtl et al. (2017) és Schweinle et al. (2018) által javasolt 0,67 kg C/kg C energiahelyettesítési tényezőt alkalmaztuk.

Modellezésünk egyik jelentős korlátja, hogy nem állnak rendelkezésre Magyarországra jellemző, országspecifikus helyettesítési tényezők. Ezért érzékenységi elemzést végeztünk, amelyben a helyettesítési tényezők értékét az eredetileg alkalmazott érték 20% és 200%-a között változtattuk. A szimulációk azt mutatták, hogy a helyettesítési tényezők 50%-ra vagy az alá történő csökkentése alapvetően megváltoztatja az egyes forgatókönyvek relatív teljesítményét. Ugyanis ez esetben a BAU-forgatókönyv bizonyult a legkedvezőbbnek a klímavédelmi hatások szempontjából, míg a „+40% fakitermelés” forgatókönyv lett a legkedvezőtlenebb.

Verkerk és munkatársai (2022) a szakirodalom átfogó elemzése alapján kiemelik, hogy a fafelhasználás klímamitigációs potenciálja az EU-27, Norvégia, Svájc és az Egyesült Királyság esetében nagymértékben függ a faanyag-hasznosítási módok változásától. Elemzésük alapján az átlagos elkerülhető kibocsátás 13 MtCO₂eq/év, ugyanakkor az egyes tanulmányokban és forgatókönyvekben jelentős eltérések mutatkoznak (−70 és 391 MtCO₂eq/év között). Ez a jelentős szórás elsősorban a vizsgált tanulmányok eltérő feltételezéseiből fakad, különösen a Brunet-Navarro et al. (2021) és Jonsson et al. (2021) által végzett két EU-szintű vizsgálat esetében, amelyek ellentétes megközelítést alkalmaznak. Mindez aláhúzza a helyettesítési tényezők meghatározó szerepét az ilyen típusú modellezések eredményeinek alakításában, és rávilágít arra, hogy hazai viszonyokra jellemző helyettesítési tényezők kidolgozására lenne szükség a bizonytalanságok csökkentése érdekében. Fontos azonban megjegyezni, hogy az általunk alkalmazott helyettesítési tényezők konzervatívak, és számos európai tanulmány elemzésén alapulnak. Például Köhl et al. (2020) 1,9 kg C/kg C helyettesítési tényezőt ad meg a lignit kiváltására. Figyelembe véve, hogy Magyarország második legnagyobb hőerőműve lignittel működik, az általunk alkalmazott energiahelyettesítési tényező valószínűleg inkább alul-, mint felülbecsült érték.

Vizsgálatunkban a fokozott ipari feldolgozás és a faipari innovációk lehetséges hatásait is értékeltük. Szimulációink azt mutatják, hogy az erdőiparnak jelentős szerepe lehet a klímaváltozás mérséklésében, különösen a termék- és energiahelyettesítéssel összefüggő hatások révén, amelyeket részletesebben szükséges vizsgálni és bemutatni. Az ipari választékok bővítése, valamint a szárazságtűrő, jelenleg alulhasznosított fajok feldolgozása szintén hozzájárulhat a klímavédelemhez (Borovics et al. 2023; Király et al. 2023a,b), ezért olyan fejlesztéseket ajánlott kidolgozni, amelyek révén a szárazságtűrő, klímarezisztens fajok szélesebb köréből készülhetnek tartós faipari termékek.

Tanulmányunkban a Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők korosztályszerkezetét, a maximális fahasználati potenciált, valamint az erdők jelenlegi és jövőbeli szénmérlegét értékeltük annak érdekében, hogy meghatározzuk az optimális fakitermelési intenzitást. Az elemzés során figyelembe vettük az élő biomassza- és a fatermékek szénegyenlegét, valamint a termék- és energiahelyettesítés hatásait is.

A korosztály-szerkezetre vonatkozó eredményeink alapján az erdőgazdálkodónak a közeljövőben fontos gazdálkodási döntést kell meghoznia, mivel egy igen nagy területű korosztály hamarosan eléri a vágásérettségi korát. A szénmérleg-modellezés rávilágított az egyenlőtlen koreloszlás hatásaira: megállapítottuk, hogy amennyiben a kitermelés intenzitása 10%-nál nagyobb mértékben növekedne, az erdők élőfakészlete szénkibocsátóvá válna. Ugyanakkor szimulációink arra is rámutattak, hogy a

„+40% fakitermelési” forgatókönyv biztosítja a legkedvezőbb szénmérleget, ha az erdőalapú szektor teljes egészét vizsgáljuk.

Összegzésként megállapíthatjuk, hogy a Szombathelyi Erdészeti Zrt. esetében a gazdálkodási döntéseket az erdőtervek előírásainak és az erdőalapú szektor teljes szénmérlegének figyelembevételével érdemes meghozni. Célszerű törekedni az ipari választékok arányának növelésére, valamint a kitermelt faanyag tartós, hosszú élettartamú faipari termékekben történő hasznosítására, összhangban a körforgásos biogazdaság céljaival. A túltartott állományokat célszerű kitermelni és felújítani, klímavédelmi szerkezetátalakítások véghezvitelével, különös figyelmet fordítva a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás követelményeire.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

12. fejezet: Klímamitigációs stratégiák egy erdőgazdaság szintjén – Esettanulmány

A fejezet egy konkrét erdőgazdaság – a Szombathelyi Erdészeti Zrt. – példáján keresztül mutatja be, hogyan alkalmazható a klímamitigációs modellezés a gyakorlatban. A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt 47 000 hektáros erdőállomány esetében azt vizsgáltuk, hogyan hatnak különféle fakitermelési forgatókönyvek az erdőgazdaság szénmérlegére. A modellezés alapját a *Forest Industry Carbon Model* (FICM) adta, amely az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján képes az erdőrézletszintű szénáramok előrejelzésére.

A vizsgált terület fajösszetételét a klímaérzékeny fenyők magas részaránya jellemzi, így a jövőbeli erdőgazdálkodásnak figyelembe kell vennie a fenyőállományokban várható növekvő erdőkárokat, és a szárazságtűrőbb lombos fafajok javára történő szerkezetátalakítás szükségességét.

A különböző fakitermelési intenzitású scenáriók elemzése rámutatott, hogy az erdei biomassza szénkibocsátóvá válik, ha a véghasználati területet több mint 10%-kal növeljük. Ugyanakkor a teljes fagazdasági szektor szénmérlege szempontjából a 40%-os véghasználati intenzitás-növelés adja a legnagyobb nettó szénnyereséget, a fatermékek hosszú élettartamú beépítésének és az energia-helyettesítésnek köszönhetően.

A korosztályszerkezet torzulásai miatt jelentős területek érik el vágásérettségi korukat az elkövetkező évtizedekben, ami kiemelt tervezési kihívást jelent az erdőgazdaság számára. Az optimális klímamitigációs hatás csak akkor érhető el, ha a gazdálkodási döntések a teljes szektor szénmérlegét figyelembe veszik, miközben a fenntarthatóságot is biztosítják az erdőtervi előírások szigorú betartásával.




AZ ERDŐ, MINT SZÉNRAKTÁR

Az ökoszisztéma-alapú megoldások lehetővé teszik a fotoszintézis útján történő szénmegkötést és a szén tárolását az élő- és holt biomasszában, valamint a talajban.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





**A KLÍMACÉLOK ELÉRÉSÉNEK EGYIK KULCSFONTOSAGÚ ESZKÖZE
A SZÉN-DIOXID-KVÓTAKERESKEDELEM, AMELYBEN AZ ERDŐGAZDÁLKODÁS
KLÍMABARÁT ERDŐGAZDÁLKODÁSI PROJEKTEK (IMPROVED FOREST
MANAGEMENT) RÉVÉN VEHET RÉSZT**

A javított, klímabarát erdőgazdálkodási projektek (Improved Forest Management) célja a meglévő erdők kezelési gyakorlatának optimalizálása a szénmegkötés maximalizálása és a kibocsátások minimalizálása érdekében. Ezek a projektek már meglévő erdőterületeken fejtenek ki pozitív hatást anélkül, hogy új területeket kellene bevonni.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



FAALAPÚ TERMÉKEK

A fatermékek erdőn kívüli széntárolást valósítanak meg, és jelentős szerepet játszanak a karbonintenzív anyagok (például acél, beton, műanyag) helyettesítésében, továbbá tartós beépítésük révén hozzájárulnak az épített környezet dekarbonizációjához.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

13.

**HAZAI ERDŐALAPÚ
SZEKTOR
JELENLEGI ÉS JÖVŐBELI
SZEREPE A SZÉN-DIOXID-
KVÓTAKERESKEDELEMBEN**

KÖNYVÜNK

eddig fejezeteiben bemutattuk a klímaváltozás globális problémáját, és megvizsgáltuk a lehetséges globális, regionális és országos szintű mitigációs stratégiákat az erdőalapú szektorra fókuszálva. Elemeztük, hogy hazánk esetében mely mitigációs intézkedések adhatják az optimális eredményt. Azonban felmerül a kérdés, hogy vajon hogyan tudnánk leskálázni ezeket a megoldásokat az egyes erdőgazdaságok vagy magángazdálkodók szintjére.

Erre kínál kézenfekvő megoldást az önkéntes karbonpiac, mely már a Kiotói Jegyzőkönyv időszakában is működött, azonban az EU területén szerepe jelenleg kezd csak meghatározóvá válni. A kvótakereskedelem lehetőséget kínál arra, hogy a meglehetősen forráshiányos erdészeti ágazatba többletfinanszírozást csatornázzon be más kibocsátó ágazatokból. Ez a finanszírozási megoldás elősegíti a mitigációs célok érdekében történő aktív cselekvést. Egyben lehetőséget teremt a magángazdálkodók motiválására és szerepet ad számukra a mitigációs folyamatban. Emellett egy állami vagy EU-szinten szabályozott karbonpiac módot ad a legmegfelelőbb mitigációs irányok felerősítésére, premizálására is.

Az Európai Tanács és Parlament 2024. november 27-én fogadta el a szén-dioxid-eltávolításra és a szénmegkötő gazdálkodásra vonatkozó (*Carbon Removal and Carbon Farming*, azaz CRCF) rendelet végleges szövegét. Ezzel létrehozta az első EU-szintű önkéntes keretrendszert a szénmegkötési megoldások egységesített tanúsítására, ami mérföldkőnek tekinthető az erdő- és faalapú szektor szempontjából. Az erdőipar szerepe az új szabályozással felértékelődik a karbonpiacon, ami számos új lehetőséget és kihívást hozhat magával.

Ennek fényében különösen időszerű áttekintenünk az erdészeti és faipari szektort érintő kvótakereskedelmi szabályozást, mind az államok közötti kvótakereskedelem és a kötelező jellegű megfelelési piacok (compliance markets, köteles piac) területén, mind pedig a már jelenleg is működő önkéntes karbonpiacokon. Könyvünk e fejezetében elsőként a nemzetközi szerződésekkel és EU-jogszabályokkal már eddig is szabályozott, kötelező jellegű kvótakereskedelmi rendszert tekintjük át, különös figyelmet fordítva az erdészeti és faipari ágazatot is magában foglaló földhasználati (*Land Use, Land Use Change and Forestry*, azaz LULUCF) szektor szerepére. Ezt követően pedig bemutatjuk az önkéntes karbonpiacok mechanizmusait, és kitérünk a CRCF-rendelet (CRCF 2024) szabályainak részletes ismertetésére is.

13.1 AZ ÁLLAMOK KÖZÖTTI KVÓTAKERESKEDELEM ÉS A MEGFELELÉSI PIACOK SZABÁLYOZÁSÁNAK ÁTTEKINTÉSE

A szén-dioxid-kvótakereskedelem története az 1990-es évekig nyúlik vissza. Az Éghajlatváltozási Keretegyezmény Kiotói Jegyzőkönyvét 1997-ben fogadták el és 2005-ben lépett hatályba. A Kiotói Jegyzőkönyvhöz kapcsolódóan a fejlett gazdasággal rendelkező országok kötelező érvényű vállalásokat tettek ÜHG-kibocsátásaik csökkentésére. Ezeknek a vállalásoknak a minél hatékonyabb teljesítése érdekében jött létre a kvótakereskedelem, melyet már a Kiotói Jegyzőkönyv időszakában is részletesen szabályoztak.

13.1.1 A PÁRIZSI EGYZEMÉNY KVÓTAKERESKEDELMI RENDSZERE

A 196 ország által 2015-ben elfogadott Párizsi Egyezmény új korszakot nyitott a klímaegyezmények történetében. A megállapodás legfontosabb célja, hogy a globális átlaghőmérséklet-emelkedést

jóval 2 °C alatt lehessen tartani az iparosodás előtti szinthez képest. A Kiotói Jegyzőkönyvet felváltó megállapodás már minden részes fél számára (az ún. fejlődő országok számára is) előírja kibocsátás-csökkentési vállalások megfogalmazását és ezek folyamatos monitorozását. Ennek eszköze az üvegházhatásúgáz-leltárjelentés (ÜHG-leltár), mely az energia, az ipar, a hulladék, a mezőgazdaság szektorok, valamint a földhasználati és erdészeti szektor vonatkozásában tartalmaz évenkénti részletes információkat a szénegyenleg alakulásáról. A szénegyenleg pontos nyomon követése teszi lehetővé a kibocsátás-csökkentési és szén-dioxid-megkötési vállalások teljesülésének értékelését.

Azonban mi történik akkor, ha egy ország nem tudja sikeresen teljesíteni vállalásait? Az államok közötti kvótakereskedelem erre a problémára jelent megoldást. A szén-dioxid-piacok ösztönzik az éghajlatváltozás elleni fellépést azért, hogy lehetővé teszik a felek számára az üvegházgáz (ÜHG)-kibocsátások csökkentéséből és a szén-dioxid-megkötésből származó kvóták kereskedelmét, így a kibocsátás-csökkentés ott valósítható meg, ahol ennek költsége relatíve alacsonyabb.

Felmerül itt a kérdés, hogy mit is jelent pontosan a kvóta kifejezés? Első közelítésben a kvóta (vagy kredit) egy kibocsátási egység, mely egy tonna szén-dioxid (CO₂) vagy azzal egyenértékű üvegházhatású gáz kibocsátására jogosít fel. A megfelelési karbonpiacok esetében minden szereplő bizonyos számú kvótát kap éves szinten, ez határozza meg azt a szén-dioxid-mennyiséget, melyet az adott évben a légkörbe bocsáthat. A szereplők ezután egymás között kereskedhetnek kvótaikkal, így az összes kibocsátás növekedése nélkül válik megvalósíthatóvá a kibocsátási lehetőségek legköltséghatékonyabb újraelosztása.

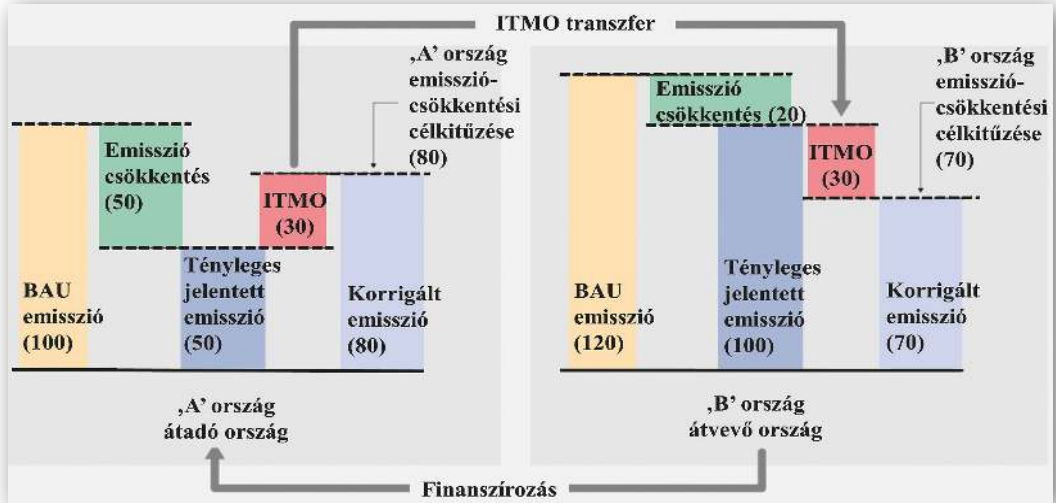
A földhasználati és erdészeti szektor esetében nemcsak kibocsátások léteznek és nemcsak azok elkerülése történhet meg, hiszen az ökoszisztéma-alapú megoldások lehetővé teszik a fotoszintézis útján történő szénmegkötést is, valamint a szén tárolását az élő- és holt biomasszában, valamint a talajban. Ebben a kontextusban a kvóta (más szóval kredit) egy másik értelmezést nyer, azaz egy tonna CO₂ légkörből történő eltávolítását szimbolizáló szénmegkötési egységként is működik. Az ilyen egységek felhasználhatósága kvótakereskedelmi rendszerenként nagyon eltérő lehet, így ennek kérdésére a későbbiekben térünk ki részletesebben.

A Párizsi Egyezmény 6. cikke lehetővé teszi az országok számára, hogy együttműködjenek egymással a kibocsátás-csökkentési vállalásaik elérése érdekében. Ez azt jelenti, hogy a 6. cikk értelmében egy ország átruházhatja az általa megvalósított kibocsátás-csökkentéséből származó szén-dioxid-kvótákat, hogy azt egy másik ország használhassa fel kibocsátás-csökkentési vállalása, az ún. nemzeti szinten meghatározott kibocsátás-csökkentési hozzájárulás (Nationally Determined Contribution, azaz NDC) teljesítésére. Ezen alapul a nemzetközileg átruházható mitigációs eredmények (*Internationally Transferred Mitigation Outcomes*, azaz ITMO) kereskedelme. A 123. ábra esetében „A” ország az ITMO egységeket átadó ország, míg „B” ország pedig az egységek megvásárlója. A tranzakció indoka, hogy „A” ország nagyobb kibocsátás-csökkentést tudott megvalósítani, mint amennyit vállalt, míg „B” ország nem tudta teljesíteni kibocsátás-csökkentési vállalását. A tranzakció lebonyolítását követően mindkét ország esetében létrejön egy korrigált emisszió érték, mely pontosan megegyezik az adott ország emissziócsökkentési célkitűzésével.

A Párizsi Egyezmény 6. cikke három együttműködési utat határoz meg a részes felek (az egyezményt aláíró államok és államszövetségek) számára, amelyek a klímacélok elérését hivatottak elősegíteni, ezeket a 6.2, a 6.4, illetve a 6.8 cikkelyekben szabályozza.

A 6.2 cikk egy decentralizált irányítási rendszert hoz létre az ITMO egységek kereskedelme számára, melyben az országok két- vagy többoldalú megállapodásokat köthetnek egymással arról, hogy az ITMO-kat miként használják fel a kibocsátás-csökkentési vállalásaik teljesítéséhez. Ebben

a rendszerben minden ország saját maga felelős a kreditek kibocsátásának, átruházásának és visszavonásának irányításáért, valamint a kreditek minőségének felügyeletéért, illetve a monitoring és jelentéstételi feladatok koordinációjáért és ellenőrzéséért. Ez azt jelenti, hogy minden országnak kreditnyilvántartást kell vezetnie, és rendelkeznie kell az ennek üzemeltetéséhez és felügyeletéhez szükséges kapacitásokkal.



123. ÁBRA

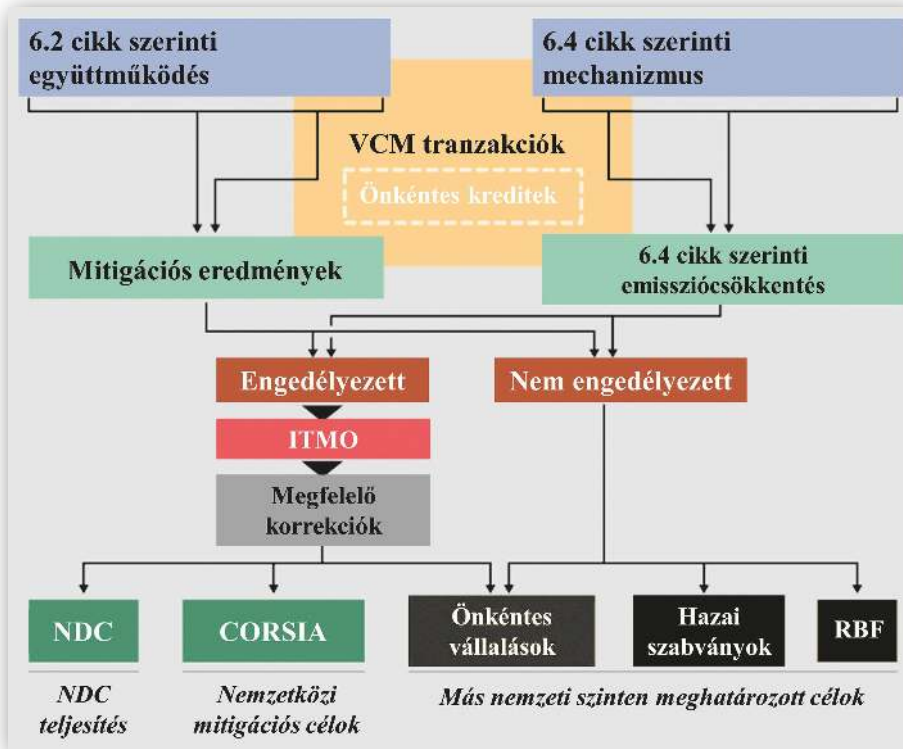
ITMO-transzfer és a kapcsolódó kibocsátáskorrekciók.

Az ábrán a BAU emisszió (Business as Usual emisszió) az a kiindulási referenciaérték, amely azt mutatja, mennyi lenne az adott ország üvegházhatásúgáz-kibocsátása, ha semmilyen új emissziócsökkentő intézkedést nem hajtának végre. (Forrás: VCM Primer 2023)

Ezzel szemben a 6.4 cikk szerinti mechanizmus egy központosított irányítási rendszer, amelyet a Felügyeleti Testület, az ENSZ Glasgow-ban megrendezett éghajlatváltozási konferenciáján létrehozott csoport irányít. Ennek a szervezetnek a feladata lesz a 6.4 cikk szerinti emissziócsökkentések nyilvántartása. Ebben az esetben tehát nem az egyes országok, hanem a 6.4 mechanizmus központi szervezete fogja ellátni a kvóták kibocsátásának, átruházásának és visszavonásának irányítását, a minőségbiztosítást és az ellenőrzést. A 6.2 és 6.4 cikk szerinti mechanizmusok rendszerét a 124. ábra szemlélteti.

A Párizsi Egyezmény 6.8 cikke a kvótakereskedelem mellett elismeri a nem piaci jellegű megközelítéseket is a mitigációs és adaptációs törekvések előmozdítására. Ezért olyan együttműködések keretét is megteremti, ahol a kibocsátás-csökkentési célok elérése a felek közötti technológiatranszferen és kapacitásépítésen, valamint finanszírozási megoldásokon keresztül valósul meg, kvótakereskedelem nélkül.

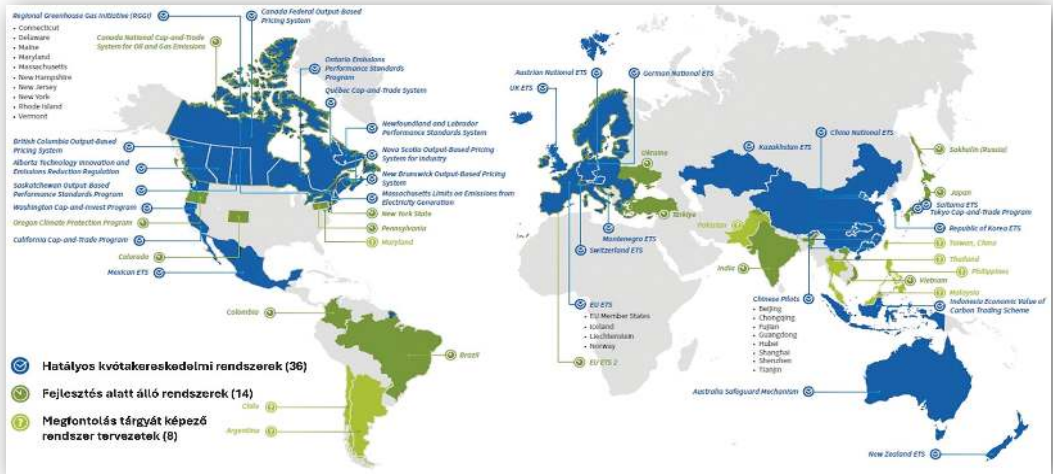
Fontos kiemelni, hogy a 6.2 és 6.4 cikk szerinti szabályozás magában foglal minden szektort, és egyetlen tevékenységet vagy módszertant sem zár ki a kvótakereskedelemből. Ezzel az ökoszisztéma-alapú megoldások (pl. az erdők szénmegkötése) korábbi negatív diszkriminációja megszűnt a kvótakereskedelem nemzetközi szabályozásában.



A földhasználati szektorhoz kapcsolódó, illetve REDD+ tevékenységekből (ezek az erdőirtás elkerüléséből, az erdőtelepítésből és újraerdősítésből, valamint a fenntartható erdőgazdálkodásból) származó kvóták tehát a Párizsi Egyezmény szabályozása szerint felhasználhatóak az egyes országok emissziócsökkentési céljainak eléréséhez, amennyiben megfelelnek a nemzetközi és nemzeti szabályozásoknak. Ezt a megfelelést a 6.4 mechanizmus esetében a Felügyeleti Testület hivatott elbírálni, mely ellenőrzi az emissziócsökkentés vagy szén-dioxid-megkötés kiszámításának módszertanát. A módszertanok ellenőrzésének és engedélyezésének szabványosítása azonban nagyobb feladat a földhasználati és erdőszeti szektorban, mint bármely más szektor esetében. Itt ugyanis nincs a korábbiakból átvehető, adaptálható gyakorlat. Így a lehetőség jelenleg elsősorban elvi, a megfelelő módszertanok kidolgozása és egységes protokoll adaptálása még várat magára.

124. ÁBRA

**A Párizsi Egyezmény
kvótakereskedelmi rendszere.**
(Forrás: VCM Primer 2023)



125. ÁBRA

Az egyes kvótakereskedelmi rendszerek földrajzi kiterjedése. (Forrás: ICAP 2024)

A Párizsi Egyezmény a nemzetek közötti kvótakereskedelem számára tehát egyfajta keretrendszert biztosít, melyen belül városok, tartományok, országok, vagy országcsoportok is kialakíthatnak saját kvótakereskedelmi rendszereket, amelyek mind megfelelhetnek

a Párizsi Egyezmény szabályozásának, ugyanakkor mégis nagyon eltérő részletszabályokkal üzemelhetnek. A 125. ábra mutatja be a jelenleg működő és fejlesztés alatt álló kvótakereskedelmi rendszerek területi lefedettségét.

Az elsőként létrejött kvótakereskedelmi rendszer az EU Emissziókereskedelmi Rendszere (Emission Trading System, azaz ETS) volt, melyet 2005-ben indítottak útjára. A 126. ábra szemlélteti az egyes kvótakereskedelmi rendszerek által lefedett üvegházgáz-kibocsátások mennyiségének időbeli alakulását a 2005–2024 időszakban. Az EU ETS mellett a másik legjelentősebb kvótakereskedelmi rendszer a kínai, amely a lefedett emissziók tekintetében jelenleg már jóval meghaladja az EU rendszerének nagyságrendjét. Napjainkban a kvótakereskedelmi rendszerek mindössze a globális ÜHG-kibocsátások 18%-át foglalják magukba.

Az egyes kvótakereskedelmi rendszerek a tekintetben is jelentősen különböznek egymástól, hogy mely szektorok emisszióit fedik le. A lefedett szektorokban az adott tartomány, ország, vagy országcsoport központilag ellenőrzi a kvóták kiosztását és a belső szereplők (pl. energetikai és ipari vállalatok) teljesítéseit. Az 127. ábra szemlélteti, hogy míg pl. az új-zélandi kvótakereskedelmi rendszer az összes szektort lefedi, addig számos rendszer csak az energetikai és ipari kibocsátásokra terjed ki. Az EU ETS-rendszere az energetikai és ipari szektorok mellett kiterjed még a repülésre és a tengeri hajózásra is.

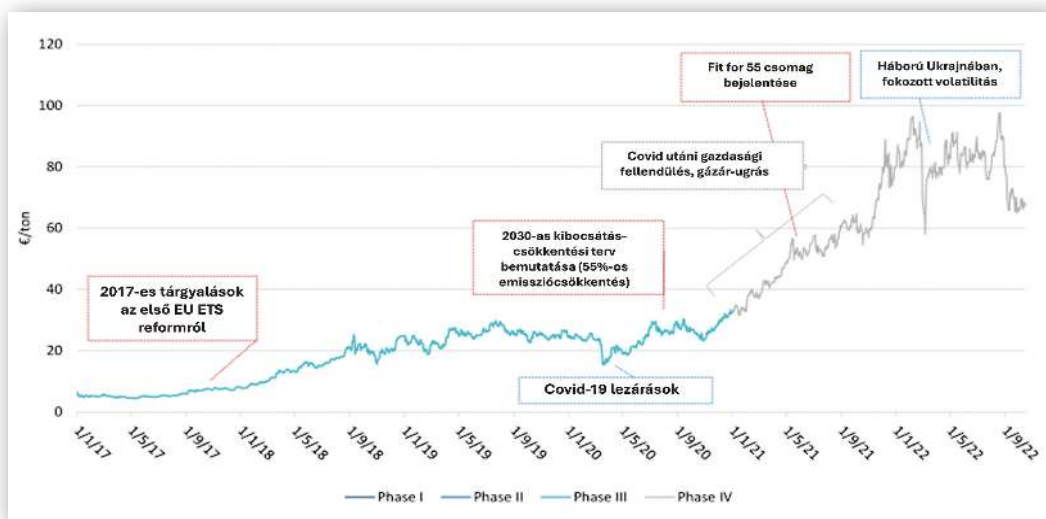
13.1.2 AZ EU KVÓTAKERESKEDELMI SZABÁLYOZÁSA

Hazánk szempontjából az EU kvótakereskedelmi rendszere a meghatározó, hiszen ennek szabályai és rendelkezései irányadóak ránk nézve. Emellett a kibocsátás-csökkentési és szén-

megkötési vállalásaink meghatározásában is fontos szerepe van és lesz ezután is az EU-szintű elvárásoknak és klímapolitikának.

Az EU elsődleges kvótakereskedelmi rendszere az ETS, mely az energia és ipar szektorokra, valamint a repülésre és a tengeri hajózásra terjed ki. Az ETS által lefedett szektorokban az egyes országok, illetve az országokon belül az egyes vállalatok kibocsátási kvótákat kapnak, ami azt jelenti, hogy fel van a számukra állítva egy kibocsátási keret, melyet az adott évben nem léphetnek túl. Ha a kibocsátásuk ezt az értéket meghaladja, akkor kvótákat kell vásárolniuk egy olyan szereplőtől, amely kibocsátási kereténél kevesebbet bocsátott ki ténylegesen, és így rendelkezik forgalmazható kvótákkal. Az ETS-szektorokban az ipari és energetikai vállalatok közötti kvótakereskedelem tehát egyrészt kötelező jellegű, másrészt pontosan szabályozott tőzsdei folyamat. Abban az esetben, hogyha egy adott ország mint egész sem éri el a számára az EU által meghatározott vállalást, úgy az ETS-kvóták kereskedelme országok között is megvalósul. Tehát az egyik ország a másiktól kvótát vásárol többletkibocsátásának korrekciója céljából.

Az ETS-rendszerben intenzív tranzakciós piac működik, és a kvótaárak, valamint azoknak változása publikus, napi szinten frissülő információ, akárcsak más tőzsdei árfolyamok. Az ETS kvóta árak alakulását a 2017–2022 időszakban a 128. ábra mutatja be. Az utóbbi években a kvótaárak több alkalommal is 100 euró/tonna CO₂ árszínvonalon mozogtak. Jelenleg (2025. június) 73 euró/tonna CO₂ szintűek. A kvóta árak alakulását az egyes klímapolitikai célkitűzések kihirdetése, valamint a Covid-19 pandémia és az orosz–ukrán háború is érzékenyen érintette.



128. ÁBRA

Az ETS szén-dioxid árak (euró/tonna CO₂-egyenérték) alakulása a 2017–2022 időszakban.

(Forrás: Euractive 2024)

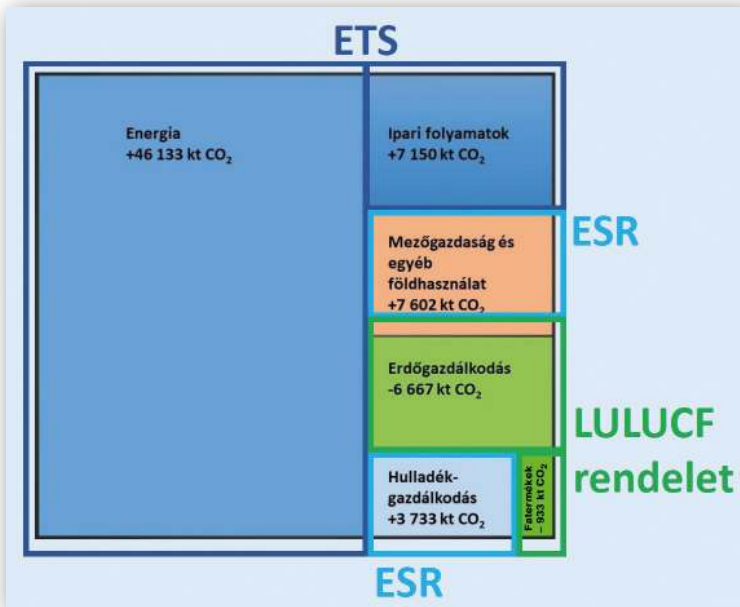
Az EU ETS-rendszer által le nem fedett kibocsátásokat kiegészítő rendszerek útján próbálja kezelni az Unió. Az erőforrás- és megosztási rendelet (*Effort Sharing Regulation*, azaz ESR) a közúti közlekedésből, hulladékkezelésből, a mezőgazdaságból, illetve az épületekből származó emissziókat fedi le. Ezekben a szektorokban is léteznek országos szintű

kibocsátás-csökkentési célértékek, azonban itt az országon belüli szereplők egymás között nem bonyolítanak kvótakereskedelmet. Hogyha egy adott ország nem tudja teljesíteni ESR-vállalásait, akkor a nemzetek közötti kvótakereskedelem útján ellentételezheti ezt.

Az erdőalapú szektor szempontjából rossz hír, hogy a LULUCF-szektor nem része az ETS- és az ESR-rendszereknek sem. E szektorra a LULUCF-rendelet (2018/841/EU-rendelet) az irányadó. Bár ország szintű szénmegkötési célértékek itt is vannak, az egyes gazdálkodók kvótabevételeiből történő részesedése a CRCF-rendelet elfogadása előtt viszonylag távoli vágyként fogalmazódott csak meg. Az országok közötti kvótakereskedelemben természetesen a LULUCF-szektor esetében is van lehetőség tranzakciókra, hiszen, hogyha egy ország vállalásai nem teljesülnek, akkor LULUCF-kvótákat vásárol egy másik szerencsésebb országtól, ahol az erdők szénmegkötése lehetővé tette a szénmegkötési vállalatok túlteljesítését. Ugyanakkor a LULUCF-kvóták ára sosem volt publikus információ, bár valószínűsíthető, hogy árak alacsonyabbak lehetnek az ETS-kvóták áránál. Az alacsonyabb ár oka, hogy az EU-szabályrendszer szerint a LULUCF-kvóták fő szabályként csak azoknak a nem teljesült vállalatoknak az ellentételezésére felhasználhatók, melyek a LULUCF-szektorra vonatkoztak. Azaz ipari, energetikai, vagy pl. közlekedésből származó többlet emissziók ellenértékéért nem használhatóak LULUCF-egységek. Az ESR és a

LULUCF-szektor között ún. rugalmassági mechanizmusok keretében van némi átjárhatóság, de ez alapvetően nem változtatja meg a LULUCF kvóták korlátozott forgalomképességét.

Az EU kvótakereskedelmi szabályzó rendszerei által lefedett szektorokat szemlélteti a 129. ábra Magyarország példáján. Az ábrán az egyes téglalapok a hazai ÜHG-leltár szektorait és azok teljes éves szintű kibocsátását/ szénmegkötését ábrázolják, illetve bemutatják ezek elhelyezkedését a kvótakereskedelmi alrendszerekben.



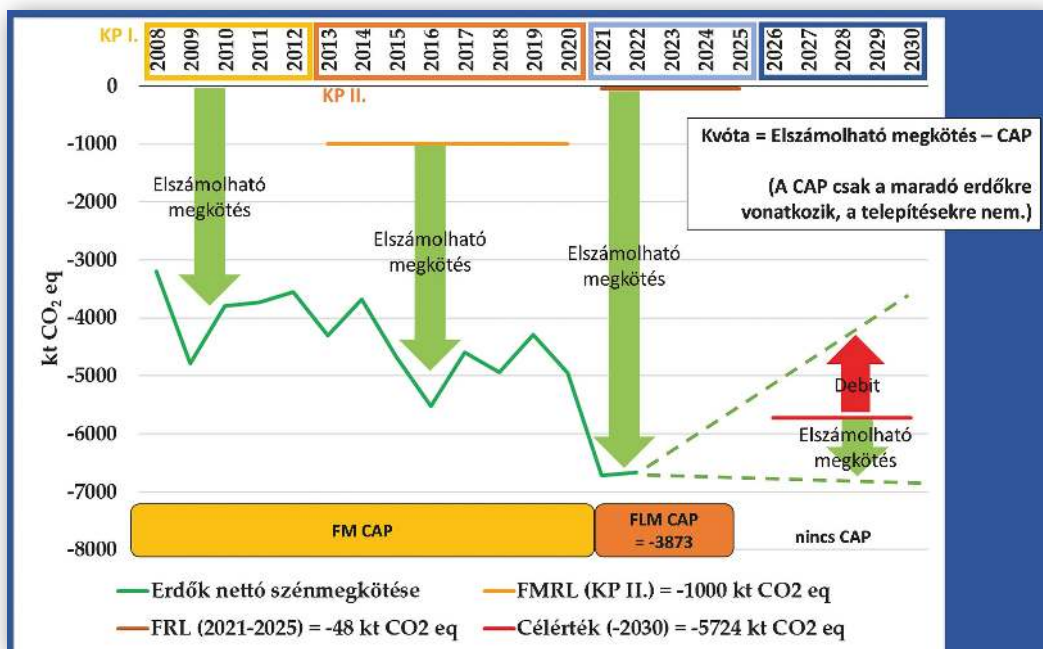
129. ÁBRA

A hazai kibocsátások és megkötések lefedettsége az egyes kvótakereskedelmi és szabályozási rendszerek által.

A mezőgazdaság és egyéb földhasználat esetében a közvetlenül a mezőgazdasági tevékenységekből származó kibocsátások (pl. műtrágya-felhasználásból eredő N₂O, enterikus fermentációból származó CH₄, illetve a trágyakezelésből származó CH₄, N₂O és CO₂ emissziók) az ESR-rendszerbe tartoznak, míg a földhasználatból és annak változásából eredő kibocsátások és elnyelések a LULUCF-rendelet hatálya alá esnek.

13.1.3 A LULUCF-ELSZÁMOLÁS SPECIÁLIS SZABÁLYAI

A LULUCF-szektor hátrányát a kvóták korlátozott forgalmképessége mellett a kibocsátások és szénmegkötések elszámolásának nagyfokú bonyolultsága is súlyosbítja. A LULUCF-szektor részét képezik a szántók, legelők, vizes területek és települések bizonyos típusú kibocsátásai is, azonban e szektoron belül a legjelentősebb tényező a legtöbb ország esetében mégiscsak az erdők és fatermékek szerepe. Az erdők szénmegkötő- és a fatermékek széntároló képessége nagyon kedvező lehetőség a klímavédelem szempontjából, hiszen egyedül itt van mód más szektorok kibocsátásainak ellentételezésére. Emiatt azt gondolnánk, hogy a kvóták elszámolásánál mi sem egyszerűbb, hiszen amennyi tonna szenet erdeink megkötöttek, annyi kvótánk lesz. Így is volt ez még a Kiotói Jegyzőkönyv első kötelezettségvállalási időszakában (2008–2012), ahogyan azt a 130. ábra is szemlélteti. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a képet már ekkor is bonyolította az ún. LULUCF CAP (cap jelentése: plafon, szó szerint sapka, az elszámolható kibocsátás maximuma).



130. ÁBRA

A LULUCF-szénegyenleg kvóttákká történő átszámításának szabályozása az egyes kötelezettségvállalási periódusokban.

A CAP értéke az 1985–1987-es évek teljes országos kibocsátásai átlagának 3,5%-a, mely az évente elszámolható szénmegkötési mennyiség plafonját jelenti. Tehát a CAP-et meghaladó mértékű szénmegkötések nem alakíthatóak kvótákká. Új erdőtelepítések esetében a CAP-et nem kellett alkalmazni. A Kiotói Jegyzőkönyv első kötelezettségvállalási időszakában a fatermékek még nem képezték a LULUCF-szektor részét, így a szénmérlegben kizárólag az erdők (illetve az egyéb földhasználati kategóriák) kibocsátásai és megkötései szerepeltek.

A Kiotói Jegyzőkönyv második kötelezettségvállalási időszakában (2013–2020) a fatermékek szénegyenlegét is bevonták a LULUCF-elszámolásba. Ugyanakkor az erdők szénegyenlegének elszámolása is jóval bonyolultabbá vált. A már 1990-ben is létező erdők szénegyenlegének elszámolása egy erdőgazdálkodási referenciaszinthez (Forest Management Reference Level, azaz FMRL) viszonyítva történt. Az FMRL értékét meghaladó megkötések voltak csak elszámolhatóak, ezeknek is csak azon része, mely a CAP értékét nem haladta meg. Az FMRL értékét erdőállomány prognózis-modellek, illetve gazdasági modellezés segítségével állapították meg, hazánk vonatkozásában a modellezést az EU Bizottság Közös Kutatóközpontja (a Joint Research Centre, JRC) végezte.

Jelenleg a Párizsi Egyezmény első kötelezettségvállalási időszaka (2021–2025) van érvényben. Most egy ún. erdő-referenciaszinthez (Forest Reference Level, azaz FRL) képest számoljuk el erdeink szénmegkötését, melynek értékét szintén erdőállomány prognózis-modellezéssel állapította meg Magyarország. A modellezéshez immáron a hazai fejlesztésű CASMOFOR-NFD (Somogyi et al. 2019, Somogyi 2023) modellt használtuk fel, mely az Országos Erdőállomány Adattárral és az IPCC-módszer-tanával konzisztens módon teszi lehetővé erdeink szénegyenlegének előrevetítését (Somogyi 2020).

A Párizsi Egyezmény második kötelezettségvállalási időszakában (2026–2030) a LULUCF megkötések elszámolási szabályai jelentősen meg fognak változni. Az erdő-referenciaszint (FRL) és a CAP alkalmazása megszűnik. Helyette egy 2030-ra elérendő LULUCF-célérték lép érvénybe, melyet a 2023/839/EU-rendelet határoz meg. A célérték elérését, illetve az ehhez vezető előrehaladást, az elvárt útvonal követését monitorozzák majd.

A 2030-as célértéket az 2016–2018-as évek szénegyenlegének átlagához viszonyítva határozták meg, tehát az ehhez képest elérendő szénmegkötési többletet definiálja. Hazánk vonatkozásában a cél -934 kilotonna CO_2 -többlet megvalósítása, ami nagyságrendileg a 2016–2018-as évek átlagos erdészeti megkötéseinek negyede, azaz igen magas elvárásokat támaszt. Mindez azt jelenti, hogy 2030-ra összességében $-5,7$ millió tonna CO_2 -szénmegkötést kell elérnünk a LULUCF-szektor szintjén. Amennyiben a célértéket nem sikerül elérni, debitek keletkeznek, hogyha pedig sikerül az előirányzott mennyiségnél több szén megkötünk, akkor krediteket (azaz kvótákat) számolhatunk el.

Mivel hazánk esetében a célérték igen ambiciózus, annak elérése sok fejtörést okoz. Kérdéses, hogy folyamatosan növekvő átlagkorú erdeink képesek lesznek-e olyan mértékű folyónövedéket produkálni még 2030-ban is, mely a célérték eléréséhez szükséges lenne. A helyzetet nehezíti a klímaváltozás nyomán fellépő aszályok és egyéb erdőkárok valószínűségének növekedése is. Ráadásul, mivel a LULUCF-szektoron belül kizárólag az erdő- és faalapú ágazat produkál szénmegkötéseket, így az egyéb földhasználatok kibocsátásait is itt kellene ellensúlyoznunk.

A célérték elérésére több különböző útvonal kínálkozhat. Ilyen például a fakitermelés csökkentése, a fokozott természetvédelem és az extenzív gazdálkodás. Ezzel ellenétes lehetőség az aktív erdőgazdálkodással egybekötött faipari intenzifikáció. E lehetőségek szénegyenlegre gyakorolt hatásait könyvünk előző fejezeteiben részletesen vizsgáltuk, és megállapítottuk, hogy a legkedvezőbb megoldás az intenzifikációval egybekötött faipari innovációk bevetése, illetve az adaptáció elősegítése az erdőgazdálkodásban.

13.2 AZ ÖNKÉNTES KARBONPIACI MECHANIZMUSOK ÉS A CRCF-RENDELET SZABÁLYRENDSZERE

E fejezet második részében áttekintjük az önkéntes karbonpiacok szerepét és jellemzőit, illetve bemutatjuk a CRCF-rendelet által felállított szabályrendszert és ennek várható hatásait az önkéntes karbonpiaci folyamatokra. A témához kapcsolódó legrelevánsabb információkat a CRCF-rendelet szövege, valamint a szén-dioxid-megkötéssel foglalkozó EU-szakértői munkacsoport ülésein elhangzott előadások és a szakértői részvétel során szerzett információk alapján mutatjuk be. Elemzésünkben kiemelten foglalkozunk az erdészeti és faipari ágazatot is magában foglaló földhasználati (LULUCF) szektor szerepével és a rá vonatkozó speciális szabályokkal.

13.2.1 AZ ÖNKÉNTES KARBONPIACOKRÓL ÁLTALÁBAN

Ahogy már a Kiotói Jegyzőkönyv időszakában is létezett önkéntes karbonpiac és kvótakereskedelem, a Párizsi Egyezmény is lehetőséget biztosít arra, hogy azok a szereplők, akik a 6.2 és 6.4 cikkelyek (lásd a 13.1 fejezetet) által szabályozott tranzakciókat túl költségesnek ítélik, önkéntes piacokon bonyolítsák a kibocsátási vagy szénmegkötési egységeik kereskedelmét.

Az erdészeti és faipari szektor szemszögéből nézve az önkéntes piac azt jelenti, hogy egyes erdőtulajdonosok, gazdálkodók, vagy a fát tartósan beépítő építőipari szereplők értékesíthetik az erdőkben, illetve termékeikben megvalósuló szénmegkötéseket karbonkredit formájában. A szénmegkötési kreditek vásárlói jellemzően nagyvállalatok és pénzintézetek szoktak lenni, noha elméletileg bárki vásárolhat ilyen kreditet.

Ez a piac önkéntes, és a korábbiakban EU-szinten egyáltalán nem volt szabályozott. Az Önkéntes Karbonpiaci Integritási Tanács (*Integrity Council for the Voluntary Carbon Market*) egy nonprofit szervezet, amely 2021-ben alakult meg több mint 250 szervezet támogatásával. Célja, hogy globális sztenderdet alakítson ki az önkéntes piac minőségi kritériumaira és integritására vonatkozóan (ICVCM 2024). E szervezet tíz működési alapelvet fogalmazott meg (131. ábra).



131. ÁBRA

Önkéntes Karbonpiaci Integritási Tanács által megfogalmazott önkéntes karbonpiaci alapelvek.
(Forrás: ICVCM 2024)

Borovics A., Király É.

Az alapelvek azt hivatottak biztosítani, hogy a szénmegkötési kreditek megbízhatóak legyenek, valódi mitigációs eredmények társuljanak hozzájuk, és a *greenwashing* minden formájától mentesek maradhassanak az önkéntes karbonpiaci tranzakciók résztvevői. Ugyanakkor fontos látni, hogy mivel a piac önkéntes, így ezeknek az alapelveknek a betartása sem garantált.

Az önkéntes piacok működésének folyamatát a 132. ábra mutatja be. Az erdőalapú szektorban a szénmegkötő tevékenység (amit projektnek neveznek) megvalósítói például erdőgazdálkodók vagy faipari termelő vállalatok, illetve a fát tartósan beépítő vállalkozások, épülettulajdonosok lehetnek. Ők azok, akik a többlet-szénmegkötést eredményező tevékenységet kivitelezik. A szénmegkötések kivitelezhetőségét és megvalósulását minden esetben egy tanúsító szervezet (auditáló szervezet) igazolja, amely valamilyen tanúsítási rendszert alkalmazva hitelesíti a szénmegkötő projektet és erről tanúsítványt állít ki. A tanúsítási rendszer a hitelesítést követően kiszámítja a projektből származó kreditek mennyiségét, valamint nyilvántartást vezet az aktív, illetve a már eladott kreditekről. A tanúsítási rendszertől közvetlenül vagy közvetítők útján vásárolhatják meg a krediteket a vásárlók, pl. egy multinacionális cég. A megvásárlást követően a krediteket „nyugdíjazzák”, azaz a nyilvántartásban rögzítik eladott státuszukat a többszöri felhasználás elkerülése érdekében. Mivel ez a piac önkéntes és az ETS- és ESR-rendszerekkel nem összevezethető, így az itt forgalmazott kreditek ára jellemzően alacsonyabb az ETS-kreditekéénél. A 2025. évben a LULUCF-kreditek ára az önkéntes piacokon 50 euró/tonna CO₂ érték körül mozog. Ez a relatíve magas ár már a CRCF-rendelet hatálybalépésének hatására alakult ki.



132. ÁBRA

Az önkéntes karbonpiaci szereplői. (Forrás: Decode6 2024)

Az önkéntes piacon számos tanúsítási rendszer és tanúsító szervezet van jelen párhuzamosan, ami nehezíti a vásárlók számára a kreditek tényleges mitigációs értékének felmérését és összehasonlítását. Hogy csak pár példát mondjunk:

LULUCF-projektek tanúsításával foglalkozik a Verified Carbon Standard (Verra 2024), a Gold Standard for Global Goals (Gold Standard 2024), a Nori Carbon (2024), vagy a Tree.ly (2024), melyek privát szervezetek és más-más tanúsítási kritériumok szerint végzik tevékenységüket.

13.2.2 A CRCF-RENDELET MEGALKOTÁSA – A SZABÁLYOZOTT ÖNKÉNTES PIAC LÉTREHOZÁSA AZ EU-BAN

Hosszas előkészítő munkát követően az Európai Tanács és Parlament 2024. november 27-én fogadta el a szén-dioxid-eltávolításra és a szénmegkötő gazdálkodásra vonatkozó (*Carbon Removal and Carbon Farming*, azaz CRCF) rendelet végleges szövegét, melyet 2024. december 6-án tettek közzé az Európai Unió Hivatalos Lapjában (EU/2024/3012). A CRCF-rendelet célja, hogy EU-szinten egységes, részletesen szabályozott keretrendszert és módszertani útmutatást hozzon létre az önkéntes karbonpiac szabályozott, magas minőségű és átlátható működésének biztosítására.

Az Európai Zöld megállapodás (Green Deal) és a Fit for 55 csomag bevezetését, illetve az EU 2050-re vonatkozó nettó nulla emissziós céljának megfogalmazását követően teljesen új éra köszöntött be a klímavédelmi ambíciók tekintetében. Ez az új korszak számos új jogszabály elfogadásában is megnyilvánult, így létrejött többek között a Fenntartható Finaszírozási Keretrendszer (133. ábra), mely a vállalatok és pénzüzetek számára is új kötelezettségeket jelent a klímavédelem terén.



133. ÁBRA

A Fenntartható Finaszírozási Keretrendszer elemei. (Forrás: FfE 2024)

A termelő vállalatok esetében a teljes terméklánc üvegházgáz-mérlegének vizsgálatát írja elő a jogi szabályozás, míg a pénzüzetek esetében a tőkebefektetés hatásait is vizsgálni kell a finanszírozott tevékenységek ÜHG-mérlegének értékelésével. E kötelezettségek mellett az érintett szervezeteknek természetesen intézkedéseket is szükséges hozniuk mitigációs eredményeik javítására, a nettó nulla kibocsátási szint elérése érdekében. Itt kerül a képbe az önkéntes karbonpiac, ugyanis az önkéntes karbonkreditek vásárlása a szabályozás szerint egy lehetséges út a vállalati szintű mitigációs célok megvalósítására. Mindez a CRCF-rendelet bevezetésével együtt várhatóan jelentős fellendülést okozhat majd az önkéntes

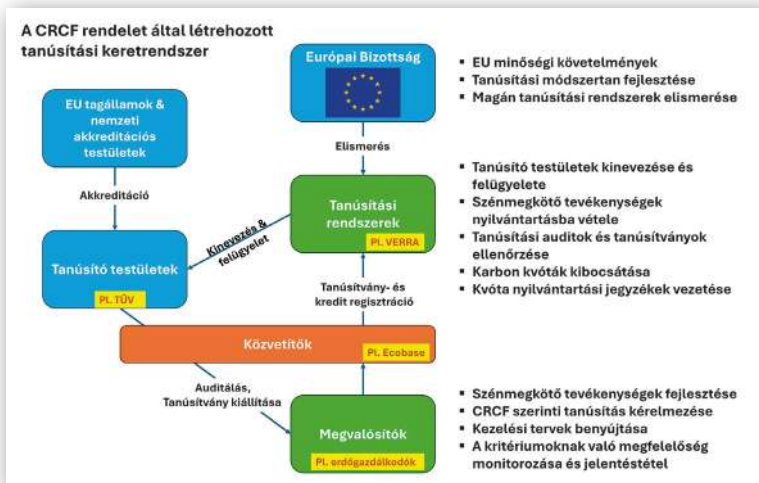
piacon, ami mind a kreditek árának, mind pedig a tranzakciók számának emelkedését valószínűsíti. Ezek a tendenciák arra engednek következtetni, hogy a jövőben az erdőgazdálkodók és a faipari szereplők számára a karbonkreditekből származó bevétel egy valós és jelentős jövedelemforrássá léphet elő.

A fentiek miatt különösen fontossá vált az EU-szintű önkéntes piac szabályozása és átláthatóvá tétele. A CRCF-rendelet által megalkotott tanúsítási keretrendszert a 134. ábra szemlélteti, míg a 135. ábra a CRCF-tanúsítás folyamatát mutatja be. A CRCF-rendelet szabályozása szerint a tanúsítási rendszereket az Európai Bizottság akkreditálja, míg az auditálásért felelős tanúsító testületek akkreditációja tagállami szinten történik. A tanúsítható tevékenységek köre meglehetősen széles, ahogy a rendelet neve is mutatja, mind szén-dioxid-megkötési/eltávolítási és tárolási technológiák, mind pedig Carbon Farming tevékenységek tanúsíthatóak és részt vehetnek a karbonpiacon.

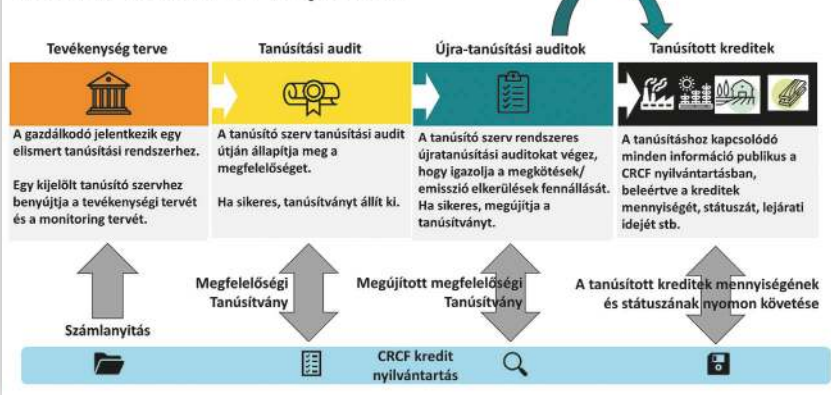
134. ÁBRA

A CRCF-rendelet által létrehozott tanúsítási keretrendszer.

(Forrás: European Commission 2024 alapján átdolgozta Király és Schiberna)



A CRCF tanúsítás folyamata



135. ÁBRA

A CRCF-rendelet szerinti tanúsítás folyamatábrája.

(Forrás: European Commission 2024)

A Carbon Farming, azaz szénmegkötő gazdálkodás magában foglal minden olyan mezőgazdasági és erdőgazdálkodási tevékenységet, mely hozzájárul a fenntartható szénmegkötés, illetve az emissziócsökkentés megvalósításához a földhasználati szektorban. Ide tartoznak az erdei biomasszában, a holtfában és a talajban megvalósított szénmegkötésre vonatkozó projektek, valamint a talajból származó kibocsátás csökkentésére irányuló projektek is.

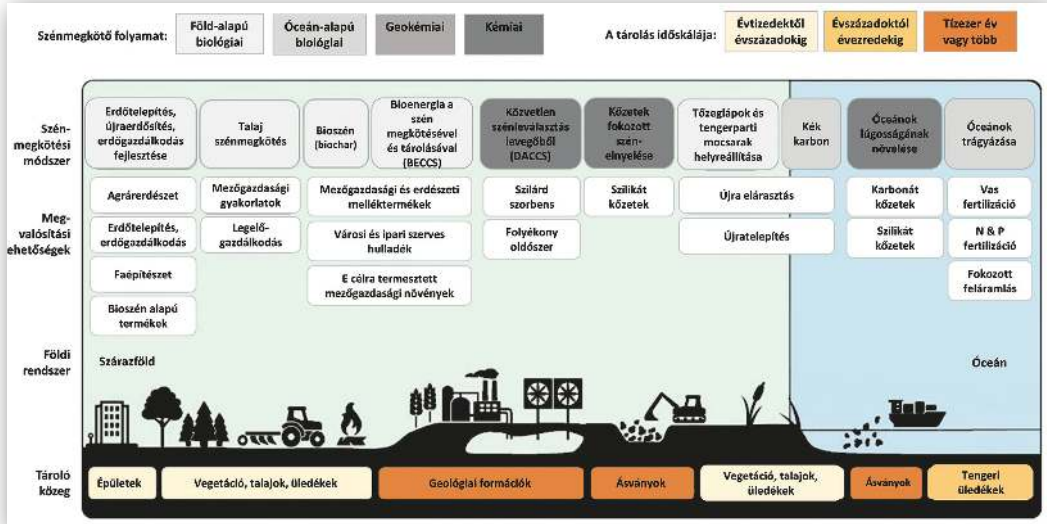
A rendelet értelmében tanúsíthatóak még a permanens szénmegkötést eredményező technológiák. Itt jellemzően ipari megoldásokkal a levegőből, illetve a bioenergia termelése folyamán kötik meg a szén-dioxidot, majd gondoskodnak annak hosszú távú tárolásáról, pl. geológiai tárolókba történő injektálás segítségével.

A tanúsítható tevékenységek harmadik nagy csoportja a termékekben történő széntárolás, melynek legjellemzőbb példája a faépületek esete. Fontos tehát hangsúlyozni, hogy a rendelet nemcsak az ökoszisztéma-alapú szénmegkötést, hanem a fatermékek széntároló kapacitását is premizálja. Ugyanakkor kimondja, hogy csak a 35 évnél hosszabb időtartamú tárolás tanúsítható, melynek megvalósulását mindvégig monitorozni is szükséges. Ez módszertani szempontból komoly kihívást jelenthet az olyan termékek esetében, melyeket nem építenek be hosszútávra. Emiatt a fatermékekben történő széntárolás elsődleges fókuszerülete – az épületek energiahatékonyására vonatkozó EU-irányelvvvel összhangban – a tartós beépítés.

A tanúsítható tevékenységek különböző formáit a 136. ábra mutatja be, a 137. ábra pedig rendszerezi az e tevékenységekhez kapcsolódó karbonkreditek típusait. Alapvetően két típusú kredit létezik: permanens és átmeneti. Az emissziócsökkentések, illetve a tartós (több ezer év időtávú vagy végleges) széntárolás permanens krediteket generál, míg az ökoszisztéma-alapú szénmegkötés és a termékekben megvalósuló széntárolás átmeneti krediteket hoz létre. Átmeneti krediteket esetében fő szabály szerint ötéves vállalási periódusokban történik a projekt megvalósítása, illetve ehhez igazodik a monitoring és az újratanúsítás is. A karbonkreditek kibocsátása *ex post* történik, tehát az első ötéves vállalási periódus végén, az újratanúsító auditot követően kerülhet rá először sor. Ezzel szemben a tevékenységre vonatkozó megfelelőségi tanúsítvány már kiállítható a tervezési szakaszban, a kezdeti auditot követően. Ez lehetővé teszi a majdani kreditekre vonatkozó előszerződés megkötését a felvásárlókkal, ami egyfajta előfinanszírozásra nyújt módot. Ugyanakkor nagy anyagi ráfordítást igénylő projektek esetében korlátozó tényezővé válhat, hogy az érvényes kreditek forgalmazására csak az első ötéves időszak lezárultával nyílik lehetőség.

Bár a CRCF-rendelet szövege már hatályos és megismerhető (EU/2024/3012) a tanúsítási módszertanok részletszabályainak megalkotása még jelenleg is folyamatban van. A részletes szabályokat ismertető útmutatókat felhatalmazáson alapuló jogi aktusok formájában, azaz végrehajtási rendeletként fogalmazza majd meg az EU Bizottság. A CRCF-rendelet szerinti önkéntes piac akkor kezdhet működni, amikor a részletszabályok megszülettek és a módszertani útmutatók elkészültek. Az EU-szintű kreditnyilvántartás létrehozására négy év áll rendelkezésre a CRCF-rendelet hatálybalépését követően, így ennek a nyilvántartásnak a működése várhatóan 2028-ban kezdődhet meg.

A tanúsítás részletszabályainak kidolgozása minden tevékenységtípusra külön történik. A munkát a szén-dioxid-eltávolítással foglalkozó szakértői munkacsoport (Expert Group on Carbon Removals) végzi, mely az EU Bizottság tanácsadó testülete. E munkacsoport körülbelül 70 szakértőből áll, akik nemzeti hatóságokat, vállalatokat, civil szervezeteket és kutatóintézeteket képviselnek. A szakértői csoport tagjai személyesen évente kétszer üléseznek, azonban a munka az online térben folyamatosan zajlik.

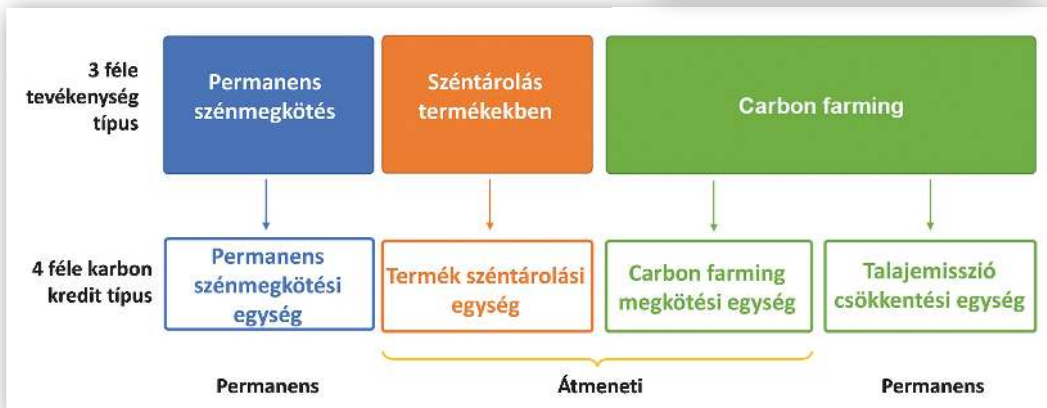


136. ÁBRA

A CRCF-rendelet szerint tanúsítható tevékenységek típusai. (Forrás: EnergyPost 2024)

A CRCF-rendelet szerinti karbonkredit-típusok (Forrás: European Commission 2024)





137. ÁBRA



A CRCF-rendelet legfontosabb minőségi kritériumait a 138. ábra mutatja be. Ezek az ún. QU.A.L.ITY kritériumok, melyek a szénmegkötési projektek mitigációs eredményeinek számszerűsíthetőségét, adicionalitását és fenntarthatóságát biztosítják, valamint a mitigációs hatás időtartamának megállapítását teszik lehetővé.

Tanúsítási Kritériumok

A tanúsítási keretrendszer csak olyan szénmegkötések tanúsítására használható, amelyek megfelelnek a minőségi (QU.A.L.ITY) kritériumoknak:

 <p>Számszerűsítés (QUantification)</p> <p>A szénmegkötő tevékenységek pontosan mértek és monitorozottak, és a klímamitigációs hatásuk kétségtelen.</p>	 <p>Adicionalitás (Additionality)</p> <p>A szénmegkötő tevékenységek túlmutatnak a megszokott gyakorlatokon és a jogszabályi követelményeken.</p>	 <p>Hosszú távú tárolás (Long-term storage)</p> <p>A tanúsítványok világosan számításba veszik a széntárolás időtartamát és elkülönítik a permanens tárolást az átmenetitől.</p>	 <p>Fenntarthatóság (Sustainabil-ITY)</p> <p>A szénmegkötő tevékenységek olyan fenntarthatósági célokat támogatnak, mint a klímaváltozás enyhítése, az adaptáció, a biodiverzitás megőrzése, a körkörös gazdaság és a víz és a tengeri erőforrások megőrzése.</p>
---	---	--	---

138. ÁBRA

A szénmegkötések tanúsításának kritérium-rendszere a CRCF-rendelet szerint.

(Forrás: European Commission 2024)

A számszerűsítés kritériumait illetően a következő alfejezetben közlünk majd részletes információkat. Itt az adicionalitás magyarázatára térünk ki, mely talán a legfontosabb elvi pillére a szabályozott önkéntes piac felállításának. Az adicionalitás azt jelenti, hogy csak és kizárólag olyan szénmegkötési tevékenység tanúsítható, illetve prémizálható karbonkreditekkel, mely többletmitigációs eredményt hoz létre egy *Business as Usual* szcenárióhoz, vagy más néven bázisvonalhoz képest. Ez az adicionalitás kiterjed a szabályozás szintjére is, tehát olyan tevékenységek nem vonhatóak be az önkéntes piacra, melyek jogszabályi kötelezettségekből fakadóan egyébként is megvalósulnának. Emellett feltétel a pénzügyi adicionalitás is, tehát csak azok a projektek tekinthetők megfelelőnek, melyek a karbonkreditekből származó többletfinanszírozás nélkül életképtelenek lennének.

Az adicionalitási kritériumrendszer a Carbon Farming tevékenységek esetében egy további elemmel is kiegészül, ami a biodiverzitás védelmét és növelését szolgálja. Ez a meglehetősen szigorú kritérium kimondja, hogy csak olyan Carbon Farming tevékenység tanúsítható, mely a biodiverzitást kifejezetten növeli, illetve a talaj állapotát javítja, és emellett nem hátrányos más fenntarthatósági célok elérésére sem. A fenntarthatósági célok között vizsgálni kell a tanúsított tevékenység hatásait a körkörös biogazdaságra, a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodásra, és a vízi erőforrások, valamint a környezet védelmére is. Csak olyan tevékenység tanúsítható, mely semelyik fenntarthatósági területen nem okoz kárt.

13.3 A CARBON FARMING PROJEKTEK ÉS A FATERMÉKEKBEN MEGVALÓSULÓ SZÉNTÁROLÁS SZÁMSZERŰSÍTÉSE ÉS TANÚSÍTÁSA A CRCF-RENDELET SZERINT

Az önkéntes karbonpiac mechanizmusainak és a CRCF-rendelet általános szabályainak megismerése után felmerül bennünk a kérdés, hogy pontosan milyen tevékenységek, azaz projektek lesznek tanúsíthatók a fagazdasági szektorban, és milyen számítások és mérések elvégzését, illetve milyen módszertani fejlesztéseket vagy modellezési munkát igényelhet majd egy projekt létjogosultságának igazolása. Ezen fejezet harmadik részében e kérdésekre igyekszünk majd választ adni a CRCF-rendelet módszertani szabályai és az Expert Group on Carbon Removals munkacsoportból származó legaktuálisabb információk alapján. Áttekintjük a CRCF-rendelet szerint tanúsítható projektek típusait és a tanúsítás illetve számszerűsítés kritériumrendszerét, valamint a jelenleg már ismert módszertani szabályokat. Elemzésünkben ismét kiemelten foglalkozunk az erdészeti és faipari ágazat szempontjából releváns projekttypusokkal és módszertani követelményekkel.

Bár a CRCF-rendelet szövege már ismert (CRCF 2024), a rendelethez kapcsolódó részletes módszertani útmutatók megalkotása jelenleg van folyamatban. Ezeket az EU Bizottság delegált jogi aktusok formájában adja majd közre, amint azok megszületnek. Emiatt az egyes tevékenységekhez tartozó szénmegkötések számszerűsítésének részletszabályai még nem ismertek, erre vonatkozóan a módszertani útmutatók tervezetei alapján lehet csak előzetes, tájékoztató jellegű információkat adni. Azonban itt fontos hangsúlyozni, hogy a végrehajtási rendeletek végleges szövege lesz majd kötelező érvényű, és a projekteket eszerint kell majd végrehajtani.

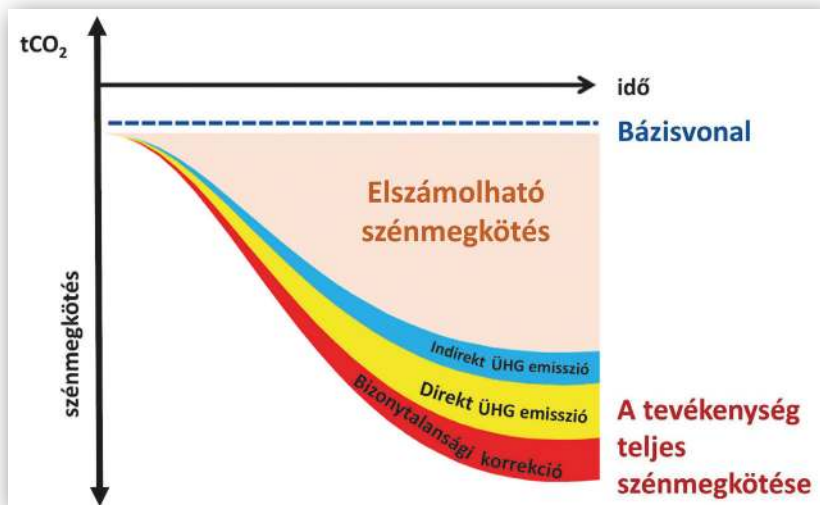
13.3.1 A SZÉNMEGKÖTÉSEK SZÁMSZERŰSÍTÉSÉNEK ÁLTALÁNOS SZABÁLYAI

A CRCF-rendelet ötvözi az életciklus elemzésre (LCA) és az üvegházhatásúgáz-leltárak (ÜHG-leltárak) készítésére vonatkozó módszertani elemeket. A szénmegkötések számszerűsítésére a nemzeti ÜHG-leltárak készítéséhez is használatos IPCC-útmutató (IPCC 2006) által meghatározott legkomplexebb módszertani szint (Tier 3) alkalmazását írja elő. A tanúsított szénmegkötési projektek esetében egy bázisvonalat is alkalmaz, mely a *Business as Usual* szénmegkötési szintet jelenti. Csak azok a szénmegkötések tanúsíthatók, melyek e bázisvonal megkötéseit meghaladják (139. ábra). Ez a bázisvonal hasonlatos az ÜHG-leltárak LULUCF-szektorában az erdőre vonatkozó referenciaszinthez (FRL), ugyanakkor projekt-szinten kell alkalmazni, nem pedig egy ország szintjén.

A bázisvonalnak két típusa lehet: standardizált és tevékenység-specifikus. A standardizált bázisvonalakat az EU Bizottság állapítja meg egy delegált jogi aktusban, míg a tevékenység-specifikus bázisvonalakat egy-egy konkrét projekt tervezése során határozzák meg. A CRCF-rendelet alapvetően a standardizált bázisvonalak használatát írja elő. Tevékenység-specifikus bázisvonal használatára csak akkor ad lehetőséget, hogyha a projekt speciális helyzetéből adódóan nem lehetett standardizált bázisértéket meghatározni rá vonatkozóan.

Az elszámolható (azaz tanúsítható és karbonkreditet eredményező) szénmegkötések kiszámításához a bázisvonal mellett ismerni kell az adott tevékenységhez kapcsolódó direkt és indirekt kibocsátásokat is. Ez a komponens az LCA-szemléletet tükrözi. Direkt és indirekt kibocsátások lehetnek például a földhasználat-változás során keletkező talajemissziók, az erdősítés során alkalmazott gépek kibocsátásai, illetve a szállítás alkalmával fellépő emissziók. Mindezeket számszerűsíteni kell, és

le kell vonni a tevékenység teljes szénmegkötéséből annak érdekében, hogy az elszámolható megkötés értékét megkapjuk (139. ábra).



139. ÁBRA

Az elszámolható szénmegkötések számszerűsítése.

(Forrás: European Commission 2024 alapján átdolgozva)

Látható tehát, hogy egy projekt megtervezése alapos adatgyűjtést és modellezési munkát igényel egyrészt a tervezett projekt szénmegkötési potenciáljának megállapításakor, másrészt pedig a hozzá társuló direkt és indirekt kibocsátásokra vonatkozóan is.

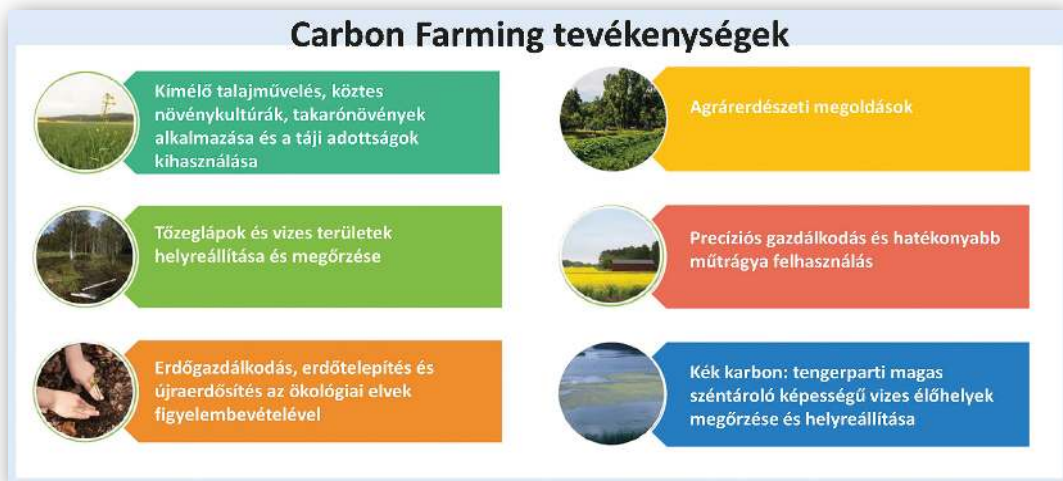
A projekt megkezdése előtt mindenképp modellezés szükséges ahhoz, hogy a várható szénmegkötést megállapítsuk. Ez az információ a megfelelőségi tanúsítvány részeként hasznosul. A projekt tanúsítása és megkezdése után a megvalósítás és a monitoring folyamata következik, mely során szükséges felmérni azt, hogy a tervezett szénmegkötés megvalósult-e. Erre vonatkozóan több út nyílik. Lehetőség van terepi mérésekre, távérzékelési adatgyűjtésre, illetve a régióra specifikusan kalibrált modellek alkalmazására is, valamint használható ezen eszközök kombinációja. Az alkalmazott módszerhez igazodva a szénmegkötés megállapításának bizonytalanságát is figyelembe kell venni az elszámolható szénmegkötés kiszámítása során. Ez azt jelenti, hogy a számszerűsítés bizonytalanságának értékével korigálni (csökkenteni) kell a számított szénmegkötés-értéket.

A monitoring amellett, hogy elengedhetetlen a szénmegkötési megoldások hitelessége szempontjából, jelentős többletelőnyöket is szolgáltat, hiszen a monitoring folyamatában értékes adatok keletkeznek a nemzeti ÜHG-leltárak számára is, mivel egy tanúsított projekt megvalósítása során jellemzően sokkal részletesebb terepi mérések vagy távérzékelési adatgyűjtések történhetnek, mint egyéb gazdálkodási tevékenységek esetében. A monitoring eredményei rögzítésre kerülnek az öt-évenként megújított projekt-tanúsítványokban, melyek a CRCF nyilvántartásban elérhetőek lesznek 2028-tól, és így részletes adatforrássul szolgálhatnak majd az ÜHG-leltárak készítői számára.

Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a nemzetek közötti kvótakereskedelem és a CRCF-rendelet által szabályozott önkéntes piac párhuzamosan működő rendszerek, és a két rendszer között a kreditek egyelőre nem átvihetők. Így a CRCF karbonpiacon végbemenő tranzakciók a jelenlegi szabályozás szerint semmilyen hatással nem lesznek a nemzeti szintű kibocsátás-csökkentési vállalások elszámolására. A CRCF rendszer által előállított adatok azonban elősegítik majd a nemzeti szintű jelentéstételt.

13.3.2 A CARBON FARMING TEVÉKENYSÉGEK TANÚSÍTÁSÁNAK SZABÁLYAI

A Carbon Farming tevékenységek palettáját a 140. ábra mutatja be. Az erdészeti és faipari szektor szempontjából itt kiemelten fontos a szénmegkötő erdőgazdálkodás (*Improved Forest Management*), valamint az erdőtelepítés és újraerdősítés, mint fő tevékenységtípusok. Emellett a mezőgazdasági tevékenységek között a rendelet megnevezi az agrárerdészetet is, mely szintén jelentős szénmegkötési potenciállal rendelkezik mind a biomasszában, mind pedig a talajban.



A Carbon Farming projektek esetében a projekt minimális időtartama a CRCF-rendelet szerint öt év, melyhez még további ötéves monitoringperiódus társul. Ugyanakkor az egyes tevékenységtípusok esetében a módszertani útmutatók fogják véglegesen meghatározni a minimális projekt időtartamot, illetve a kapcsolódó monitoring időszak hosszát. Ez tehát az egyes tevékenységek esetében lehet akár jóval hosszabb időtartam is. (A módszertani útmutatók tervezetében jelenleg erdőtelepítés és agrárerdészet esetében 30 éves projekt-időszak és 30+10 éves monitoring-időszak szerepel). A projektek időtávja természetesen minden esetben kiterjeszthető újraauditálást követően.

140. ÁBRA

A tanúsítható Carbon Farming tevékenységek főbb típusai. (Forrás: European Commission 2024)

A Carbon Farming projektek esetében a CRCF-rendelet szerint a releváns széntárolók az élő biomassza és a talaj lesznek. A holt szerves anyagban (holtfa, avar) megvalósuló széntárolás opcionálisan, többletelőnyként jeleníthető meg a tanúsítványban, ugyanakkor karbonkreditek képzésére nem jogosít. A CRCF-rendelet jelenlegi szabályozása szerint sajnos a Carbon Farming projektek összekapcsolása a fatermékekben történő széntárolással nem megoldott. Ez azért problematikus, mivel így a fakitermelés (pl. véghasználat) a Carbon Farming projektek esetében szénvesztésként jelenik meg, függetlenül attól, hogy a kitermelt faanyagban megkötött szén esetleg hosszú élettartamú termékekben, faépületekben továbbra is megkötve marad. E feltételrendszer mellett az erdőtelepítés, a klímavédelmi szerkezetátalakítás, az örökerdő-üzemmódra való áttérés és a kiterjesztett erdőciklus (azaz az állományok vágásérettségi kort meghaladó fenntartása) lehetnek majd a legkönnyebben tanúsítható projekt típusok az erdőgazdálkodás területén. Ezek mellett az agrárerdészethez kapcsolódó szénmegkötési megoldások jelentenek további lehetőségeket.

A CRCF-rendelet kimondja, hogy amely esetben ez lehetséges, az EU Bizottság állapít meg standardizált bázisvonalat, amelyet az elszámolható szénmegkötés számszerűsítése során alkalmazni kell. A standardizált bázisvonalak meghatározását segíti majd az EU Copernicus-távérzékelési programja, illetve az EU erdőmonitoring-rendelete is. A standardizált bázisvonalak meghatározása a CRCF-rendelet szerint távérzékelési és modellezési megoldások, valamint terepi mérések együttes felhasználásával és kiértékelésével történik majd, ahogyan ezt a 141. ábra is szemlélteti. Ugyanakkor részletes és elfogadott módszertan jelenleg még nem létezik a bázisvonalak megalkotására, így ezek értékei sem ismertek.

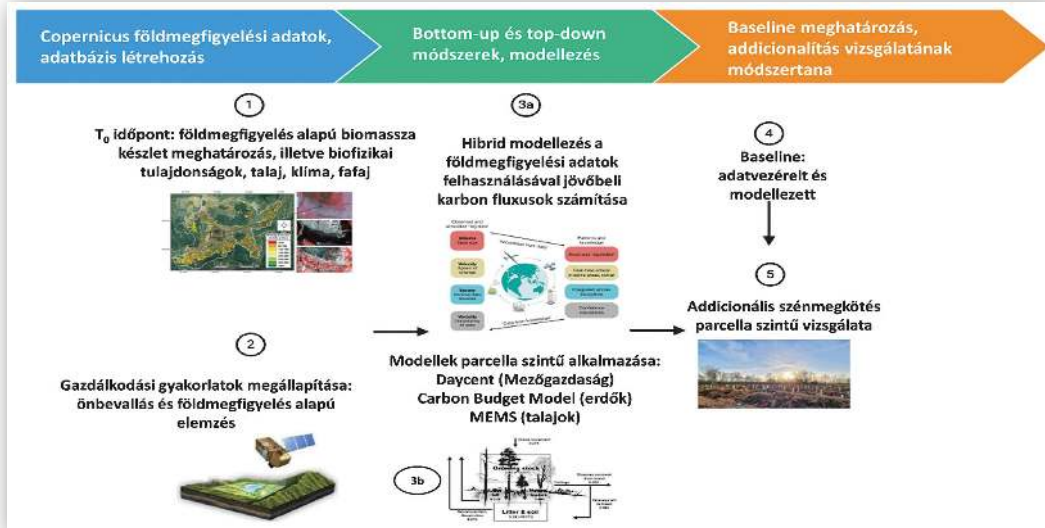
Azokban az esetekben, amikor a standardizált bázisvonalak meghatározása valamilyen okból nem kivitelezhető, projektspecifikus bázisvonalat kell majd alkalmazni. Ilyen esetekben az addicionalitás igazolására külön módszertani lépéseket kell majd beiktatni.

Fő szabályként Carbon Farming projektek esetében egy projekt akkor tanúsítható, ha mind jogi, mind pénzügyi szempontból addicionális, azaz a szénmegkötés nem valósult volna meg a CRCF-rendelet ösztönző és finanszírozó hatása nélkül. Emellett a Carbon Farming tevékenységek a biodiverzitás és a talaj egészsége szempontjából is kifejezett többletelőnyöket kell, hogy felmutassanak annak érdekében, hogy tanúsíthatóvá váljanak.

13.3.3 A TERMÉKEKBEN MEGVALÓSULÓ SZÉNTÁROLÁS TANÚSÍTÁSÁNAK SZABÁLYAI

Noha számos hosszú élettartamú fatermék létezik, melyek széntárolását a nemzeti ÜHG-leltárakban is elismerik és számszerűsítik, a CRCF-rendelet jelenlegi szabályozása szerint csak a fatermékek viszonylag szűk körének széntárolása lesz tanúsítható. Ennek oka az, hogy a rendelet kimondja, hogy csak olyan termék széntárolása tanúsítható, ahol a széntárolás időtartama minimum 35 év, és amelynek megvalósulása és fennmaradása mindvégig a helyszínen monitorozható és nyomon követhető. Ez a szigorú definíció a tanúsítható termékek körét az épületekben hosszú távon beépített faalapú termékekre szűkíti le. Ugyanakkor nemcsak faalapú termékekről van itt szó, hanem minden hosszú távon beépített biogén eredetű széntároló termék tanúsítható, ahogyan azt a 142. ábra is illusztrálja.

A termékekben történő széntárolás elsődleges fókusztérülete a CRCF-rendelet szerint tehát az épületszerkezeti elemek köre. Ezek esetében látja leginkább biztosítottnak a jogalkotó a minimálisan 35 éves tárolási időtartam megvalósíthatóságát. Emellett a szén-dioxid-eltávolítással foglalkozó szakértői munkacsoport jelenleg tárgyalja a faalapú szigetelőanyagok bevonhatóságának kérdését.



141. ÁBRA

A standardizált bázisvonalak megállapításának folyamatábrája. (Forrás: European Commission 2024)

A hosszú távon beépíthető biológiai-alapú termékek lehetséges típusai. (Forrás: CREG 2024)

142. ÁBRA



A felvetés onnan ered, hogy a jelenlegi épületállomány felújítása egy nagyon fontos intézkedés lenne a karbonsemleges épületállomány és a nettó nulla kibocsátási célok elérése szempontjából. A felújítások során a tartós széntárolásra elősorban a szigetelőanyagokban lenne mód, azonban kérdéses ezeknek élettartama és a széntárolás monitoringja. Végleges döntés a tanúsítható termékek köréről a vonatkozó módszertani útmutató elfogadásakor várható majd.

Az épületekben hosszú távon tárolt szén mennyiségének számszerűsítése az épületek energiahatékonyságáról szóló EU-irányelvvel és a környezetvédelmi terméknnyilatkozatokra vonatkozó szabályozással összhangban történik majd meg. Ebben az esetben is lesznek bázisvonalak, melyek várhatóan ország- vagy régiószinten lesznek meghatározva, illetve figyelembe veszik majd az épületek típusait is.

A bázisvonal az épületekbe beépített fa általában szokásos mennyiségét határozza majd meg a jelenlegi épületállomány felmérése és értékelése segítségével. A bázisértéket meghaladó beépített fa mennyisége lesz tanúsítható és eredményez majd krediteket. Ugyanakkor az építkezés során keletkező direkt és indirekt kibocsátások meghatározása és levonása itt is szükséges lesz. Fontos emellett kiemelni, hogy a beépített faanyag esetében előírás lesz, hogy fenntartható forrásból származzon, összhangban a RED III irányelvvel és az EU Taxonómiai rendeletével is.

E projektek esetében a projekt megvalósítója az épület tulajdonosa, aki a tanúsítást követően kötelezett lesz a 35 éven át tartó rendszeres monitoring-tesvékenység elvégzésére is.

A CRCF-rendelet által létrehozott önkéntes karbonpiac szempontjából tehát azt mondhatjuk, hogy a faipari innovációk legfontosabb iránya a 35 évnél hosszabb élettartamú termékek létrehozása és a faépítészeti megoldások minél szélesebb körű alkalmazása lesznek. Fontos itt megemlíteni a tűzvédelmi rendelkezések aktualizálásának és racionalizálásának kérdését is, mivel e rendelkezések sokszor gátat szabnak nagyobb épületek esetében a faszervezetek nagyarányú felhasználásának.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

13. fejezet: A hazai erdőalapú szektor jelenlegi és jövőbeli szerepe a szén-dioxid-kvótakereskedelemben

A klímacélok elérésének egyik kulcsfontosságú eszköze a szén-dioxid-kvótakereskedelem, amelyben az erdőalapú szektor eddig csak korlátozottan jelenhetett meg, de a jövőben szerepe jelentősen bővíülhet. Az államok közötti kvótakereskedelmet a Párizsi Egyezmény, valamint hazánk esetében az EU joganyaga is szabályozza. Az EU emissziókereskedelmi rendszere (az ETS) egy kötelező jellegű megfelelési piac, amely az ipari és energetikai kibocsátásokat foglalja magában. A LULUCF-szektor nem része az ETS-nek, hanem speciális, nagyon összetett elszámolási szabályok vonatkoznak rá.

A CRCF-rendelet az Európai Bizottság kezdeményezésére jött létre annak érdekében, hogy uniós szinten egységes, önkéntes karbonpiaci keretrendszert biztosítson a tartós szén-dioxid-eltávolítást és -tárolást célzó tevékenységek számára. A rendszer lehetővé teszi többek között a LULUCF-szektorban megvalósuló szénmegkötési megoldások – mint az erdőtelepítés, az agrárerdőgazdálkodás vagy a talajjavítás – tanúsítását és piacosítását. Emellett az építési fatermékekben történő hosszú távú széntárolás is elszámolhatóvá válik, lehetőséget teremtve az így létrejövő karbonkreditek értékesítésére az önkéntes piacon.

A tanúsítás kulcseleme a számszerűsítés, amely szigorú uniós módszertanon alapul. A szénmegkötés csak akkor számolható el, ha az mérhető, tartós, addicionális és nyomon követhető, monitorozható.

Gyakorlati szempontból ez azt jelenti, hogy a magyar erdőgazdálkodás és faipar számára új bevételi forrás nyílhat meg a kvótakereskedelem és a karbonpiacok révén, ha megfelelően strukturált, tanúsított szénmegkötési projekteket indítanak az erdőgazdálkodók, faipari szereplők. Ehhez azonban elengedhetetlen az ágazati szereplők felkészültsége, a tanúsítási rendszerek ismerete, valamint a megfelelő szakpolitikai és intézményi háttér kialakítása.





EGY JÓL TERVEZETT ÉS TANÚSÍTHATÓ ERDŐTELEPÍTÉS ÖNKÉNTES KARBONPIACI PROJEKTKÉNT IS MEGVALÓSÍTHATÓ

Az erdőalapú szektornak komoly lehetősége van a karbonpiacokon való részvételre, ha megfelelő típusú, jól tervezett és tanúsítható projekteket valósít meg az erdőtelepítés, a klímabarát erdőgazdálkodás, valamint az agrárerdészet és a faépítészet területén. Ez nemcsak a klímacélokot szolgálja, hanem új jövedelmi forrást is nyithat az ágazat számára.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

14.

**ÖNKÉNTES
KARBONPIACI
PROJEKTTÍPUSOK
AZ ERDÉSZETI
SZEKTORBAN**

KÖNYVÜNK

előző fejezetében bemutattuk a kvótakereskedelem szerepét az erdő- és faalapú szektorban, megvizsgáltuk a köteles megfelelési piacok működését és az önkéntes karbonpiac adta lehetőségeket. Emellett részletesen bemutattuk az Európai Tanács és Parlament által 2024. november 27-én elfogadott, a szén-dioxid-eltávolításra és a szénmegkötő gazdálkodásra vonatkozó (*Carbon Removal and Carbon Farming*, azaz CRCF) rendelet szerepét és szabályrendszerét.

Ebben a fejezetben konkrét példákat hozunk a CRCF-rendelet szerinti, az erdészeti és faipari szektor szempontjából releváns önkéntes karbonpiaci projekt típusokra. Ennek célja, hogy a mintaszámításon keresztül képet adjunk a projektek felépítéséről, a szükséges modellezési, projekciós és számítási lépésekről, illetve értékeljük a várható bevételi lehetőségeket. Elsőként az erdőtelepítési projektekkel foglalkozunk, majd sorra vesszük a többi releváns projekt típust is.

Fontos kiemelni, hogy a CRCF-rendelet részletes módszertani útmutatóinak kidolgozása jelenleg van folyamatban, így e könyvfejezet megírásakor a rendelet szövegét (CRCF, 2024), illetve a módszertani útmutatók még nem véglegesített tervezeteit vettük alapul az elszámolható szénmegkötések kiszámításához.

14.1 AZ ERDŐTELEPÍTÉSI PROJEKTEK A KLÍMAVÉDELEMBEN ÉS A KVÓTAKERESKEDELEMBEN

14.1.1 A CRCF-RENDELET ERDŐTELEPÍTÉSEKRE VONATKOZÓ SZABÁLYOZÁSÁNAK ISMERTETÉSE

Az erdőtelepítés a rendelet szerint az erdőgazdálkodási Carbon Farming projektek körébe tartozik. A telepítéshez felhasználható a KAP-támogatás, melyet azután a szén-dioxid-árzásból származó bevétel kiegészít.

Erdőtelepítési projektek esetében az induláshoz szükséges a telepítés teljes jövőbeli szénmegkötésének becslése, mely a projektindító dokumentáció, illetve a megfelelőségi tanúsítvány részét képezi. Emellett az induláshoz szükséges egy kezdeti terepi felmérés is. Mivel a talaj szénkészletének növekedése is elszámolható a projekt keretében, ezért szükséges a talaj kezdeti szénkészletének és térfogattömegének megállapítása.

A projekt megvalósítása során rendszeres (legalább ötévenkénti) monitoring tevékenységre is szükség van, ahol dendrometriai, illetve talajszénmérések segítségével szükséges felmérni, hogy a tervezett szénmegkötés a helyszínen valóban megvalósult-e. A terepi mérések kiegészíthetők, egyes esetekben kiválthatók távérzékeléses vizsgálatokkal és modellezéssel is.

A szén-dioxid-kvóták (vagy más néven kreditek) képzése utólagos, tehát csak a már valóban megvalósult szénmegkötés eredményezhet kvótákat. Egy tonna megkötött szén-dioxid képez egy kvóta egységet. Jellemzően az erdőtelepítést követő ötödik évben kerülhet sor az első auditra, mely után a kvóták kibocsátása megtörténhet. Azonban már a projekt indulásakor kiadott megfelelőségi tanúsítvány is lehetővé teszi, hogy a gazdálkodó előszerződést kössön egy finanszírozóval, aki majd a később keletkező kvóták birtokosa lesz. Ez lehetővé teszi, hogy az első monitoringciklus lezárulta előtt is bevételhez jusson a gazdálkodó.

Egy erdőtelepítési projekt minimális hossza a vonatkozó módszertani útmutató tervezete szerint harminc év, melyhez minimálisan negyvenéves monitoring időszak társul. Azonban természetesen lehetőség van a projekt meghosszabbítására harminc év után, mellyel automatikusan a kötelező monitoring időszaka is kitolódik.

14.1.2 KVÓTAKERESKEDELEM ESETTANULMÁNY: ERDŐTELEPÍTÉS BŐL SZÁRMAZÓ SZÉN-DIOXID KVÓTABEVÉTEL BECSLÉSE AZ EU CRCF-RENDELETÉNEK MÓDSZERTANA SZERINT

Az ebben a fejezetben bemutatott esettanulmányunk célja az, hogy számszerűsítsük egy hazai erdőtelepítés megvalósítása során keletkező elszámolható kvóták mennyiségét, és megbecsüljük az ebből származó bevételi lehetőség nagyságrendjét. Ehhez az erdőtelepítés kiviteli tervdokumentációját vettük alapul, és az ebben található információk alapján modelleztük a várható szénmegkötést a 2055-ös céldátumig a *Forest Industry Carbon Model* (Borovics et al., 2024) felhasználásával. Emellett kiszámítottuk az állomány telepítése és ápolása során keletkező ÜHG-kibocsátásokat is, melynek ismeretében meg tudtuk határozni az elszámolható szénmegkötést, illetve a várható kvótabevételeket.

14.1.2.1 Az erdőtelepítés bemutatása

A vizsgált erdőtelepítés a Szombathelyi Erdészeti Zrt. területén helyezkedik el, Bejcgartyános település határában (Bejcgartyános 41/F erdőrésztlet). Az erdőtelepítés jelenleg hatéves, telepítése 2019-ben valósult meg. A jelen könyvfejezetben azonban jövőbeli telepítésként mutatjuk be, példaként egy erdőtelepítési CRCF projekt tervezésére és induló modellezésére. A példában így a Bejcgartyános 41/F erdőrésztlet leíró adatait és kiviteli tervdokumentációját használtuk fel, de az első erdősítés (első-kivitel) évét 2025-re toltuk el, mert a CRCF-rendelet szerint az elszámolható erdőtelepítési projektek csak a rendelet életbelépése után indulhatnak.

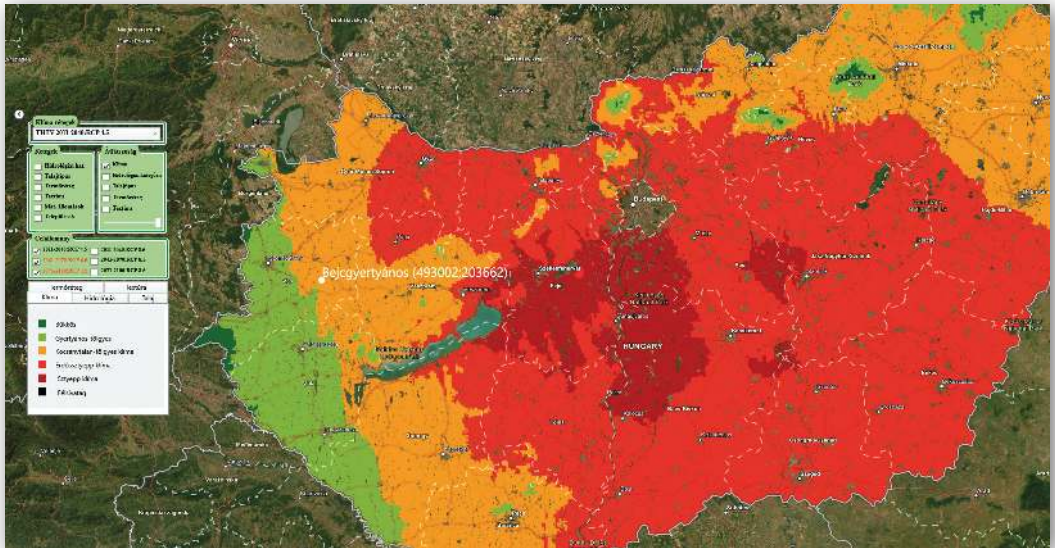
A telepítés kiviteli tervét a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete készítette. A telepítés tervezett helyszínét az 143–145. ábra szemlélteti. A telepítési helyszín jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyainak megállapítására a SiteViewer 3.0 programot használtuk fel, mely a tervezés során elengedhetetlen döntéstámogatási eszköz.

A telepítés helyszínének termőhelyi adatait, illetve jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyait az 13. táblázat ismerteti. A tervezés során a termőhelyi jellemzőket a helyszínen is ellenőriztük.

13. TÁBLÁZAT

A tervezett telepítés termőhelytípus-változat adatai és kiterjedése

	Tervezett telepítés területe (ha)	Klíma 2011 – 2040	Klíma 2041 – 2070	Hidrologia	Genetikai talajtípus	Termőréteg mélység	Fizikai talajféleség
Bejcgartyános 41/F	1,04	kocsánytalan-tölgyes, cseres	kocsánytalan-tölgyes, cseres	többlet-vízhatástól független	rozsdabarna erdőtalaj	mély	homok

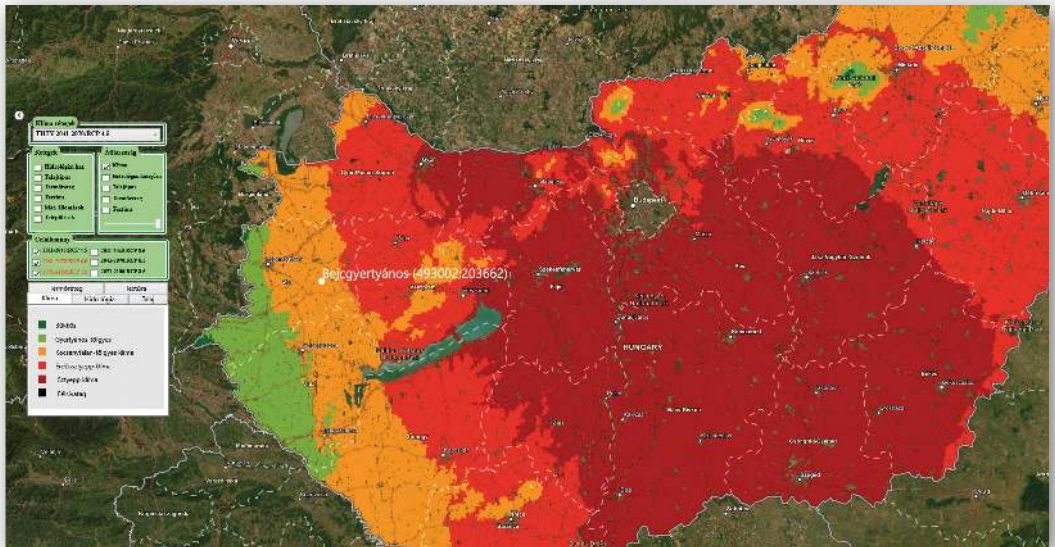


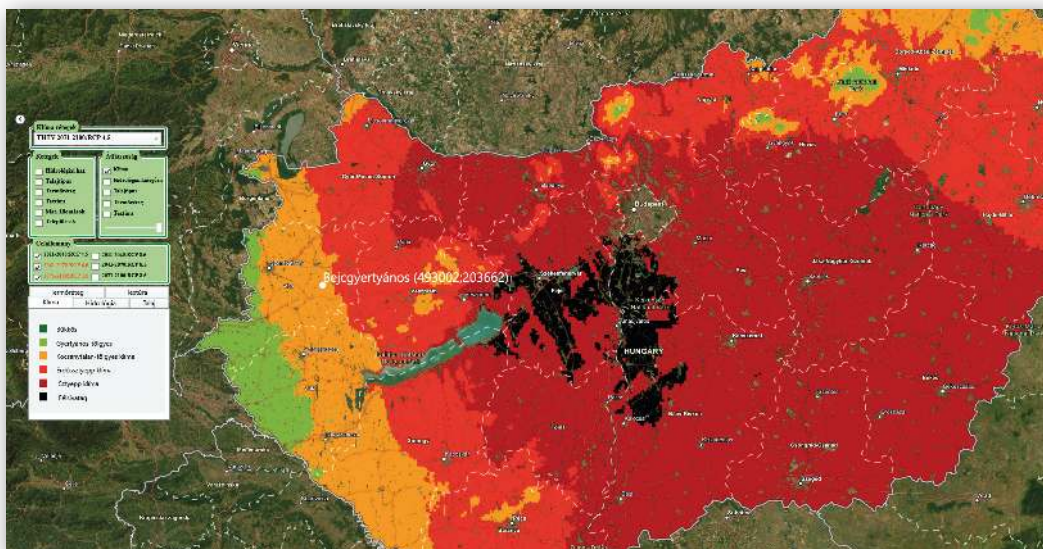
143. ÁBRA

A tervezett telepítés területének klímája a jelen (2011–2040) időszakban. (Forrás: SiteViewer 3.0, 2024)

A tervezett telepítés területének klímája a közeljövő (2041–2070) időszakban. (Forrás: SiteViewer 3.0, 2024)

144. ÁBRA





145. ÁBRA

A tervezett telepítés területének klímája a távolabbi jövő (2071–2100) időszakban. (Forrás: SiteViewer 3.0, 2024)

14.1.2.2 A telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana

A kiviteli terv szerint a telepítés és ápolás során a 14. táblázatban felsorolt munkákat szükséges elvégezni. A CRCF-rendelet módszertani előírásaival összhangban elvégeztük az e munkákhoz kapcsolódó szén-dioxid (CO_2)-, dinitrogén-oxid- (N_2O) és metán (CH_4)-emissziók kiszámítását. A munkagépek üzemanyag-fogyasztását Erdeiné Késmárki-Gally és Rák (2020) útmutatója alapján, Benke és munkatársai (2015) számításaihoz hasonlóan számítottuk ki. A telepítés területének területkategória szerinti besorolásait a 14. táblázat tartalmazza. A területkategória szerinti besorolás az üzemanyag-fogyasztás kiszámításához szükséges segédváltozó, mely megmutatja, hogy a terep mennyire könnyen járható, és ennek megfelelően mekkora üzemanyag-fogyasztás értékekkel kell kalkulálnunk.

A gázolaj, illetve benzin elégetése során keletkező ÜHG-kibocsátások becsléséhez az IPCC által mezőgazdasági és erdészeti gépekre megadott legfrissebb konverziós faktorokat alkalmaztuk (IPCC 2006, 2019).

14. TÁBLÁZAT

A telepítés és ápolás során tervezett munkálatok, illetve a helyszín területkategória szerinti besorolása

			Gép típusa	Művelet gyakorisága
Területkategória			I.	
Műveletek	1. év	Szállítás	tréler, teherautó	1x
		Talajelőkészítés tárcsás boronával	traktor	1x
		Gépi ültetés (fák)	suhángültető/csemeteültető	1x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
	2. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
		Pótlás	kézi gödörfúró	1x
	3. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
		Pótlás	kézi gödörfúró	1x
	4. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
	5. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
	6. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x
	7. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x
		Szárzúzás	traktor	2x

14.1.2.3 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása

A telepítés szénmegkötését a *Forest Industry Carbon Model* (Borovics et al., 2024) segítségével számítottuk ki, mely lehetővé teszi az erdei biomaszra, a talaj, a holt szerves anyag, illetve a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások prognosztizálását is. E modell felhasználásával számítottuk a tervezett erdőtelepítés föld feletti és föld alatti biomaszájában, talajában, illetve a felhalmozódó holt szerves anyagokban megkötött szén-dioxid-mennyiségét. A projekciót a 2024–2055 időszak vonatkozásában

végeztük el. A választott fafajok fatermőképességét a SiteViewer 3.0 alkalmazás segítségével állapítottuk meg a 2041–2070 időszakra vonatkozó klimatikus adatokat alapul véve. A fafajokhoz a fatermési táblát az Országos Erdőállomány Adattárban is alkalmazott összerendelés szerint választottuk meg.

Az elszámolható szénmegkötés az a mennyiség, mely az önkéntes karbonpiacon a kvótakibocsátás alapját képezi. A CRCF-rendelet szerint erdőtelepítések esetében ez a mennyiség úgy képződik, hogy a faállományban megvalósuló szénmegkötés értékét korrigáljuk egy a modellezés bizonytalanságát leíró faktorról, majd az így korrigált szénmegkötés-értékből levonjuk a telepítés és ápolás során keletkező fosszilis eredetű szén-dioxid-kibocsátásokat az (1–4) egyenletek szerint.

$$(1) \text{ Elszámolható szénmegkötés} = (CR_{\text{baseline}} - CR_{\text{total}}) \times (1 - UNC) - GHG_{\text{associated}} > 0$$

$$(2) CR_{\text{baseline}} = 0$$

$$(3) CR_{\text{total}} = CR_{\text{biomass}} + CR_{\text{soil}}$$

$$(4) GHG_{\text{associated}} = GHG_{\text{fossil fuel}} + GHG_{\text{fertilizer}}$$

ahol:

- CR_{baseline} : a telepítés megvalósítása nélküli szénmegkötés alapszintje;
- CR_{total} : a telepítés teljes szénmegkötése;
- $GHG_{\text{associated}}$: a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó addicionális ÜHG-kibocsátások;
- CR_{biomass} : a biomasszában megvalósuló szénmegkötés;
- CR_{soil} : a talajban megvalósuló szénmegkötés;
- $GHG_{\text{fossil fuel}}$: a telepítés és az ápolása során üzemelő gépek ÜHG-kibocsátása;
- $GHG_{\text{fertilizer}}$: trágyázásból származó ÜHG-kibocsátások (esetünkben nem releváns).

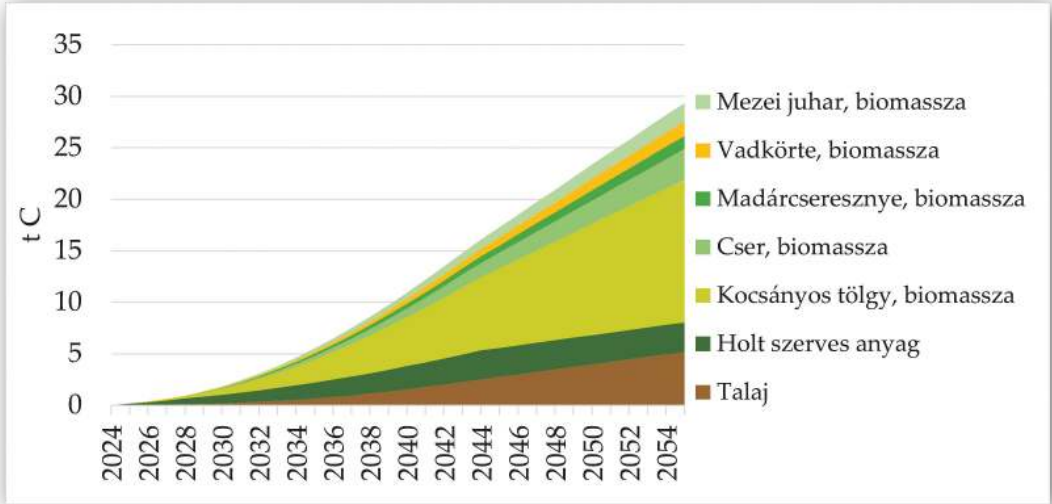
Az elszámolható szénmegkötés tonna CO₂-egyenértékben kifejezett értéke adja meg a keletkező kvóták darabszámát. A kvótাবেvételt ennek alapján 50 euró/tonna CO₂ kvótaárat feltételezve számítottuk ki. A számítások során 408 HUF/EUR árfolyamot vettünk alapul. A bevétel jelenértékét 2%-os elvart reálkamatot feltételezve számszerűsítettük.

14.1.2.4 Az erdőtelepítés szénmegkötése és a várható kvótাবেvételek 2055-ig

A bejegytyánosi erdőtelepítés teljes prognosztizált szénmegkötése 2055-ig 29 tC (146. ábra). Ebből a talajban és a biomasszában megkötött szén számolható el és eredményez karbonkvótákat. A holt szerves anyag felhalmozódása csak addicionális előnyként tüntethető fel a projektanúsványon, azonban kvótákat nem generál.

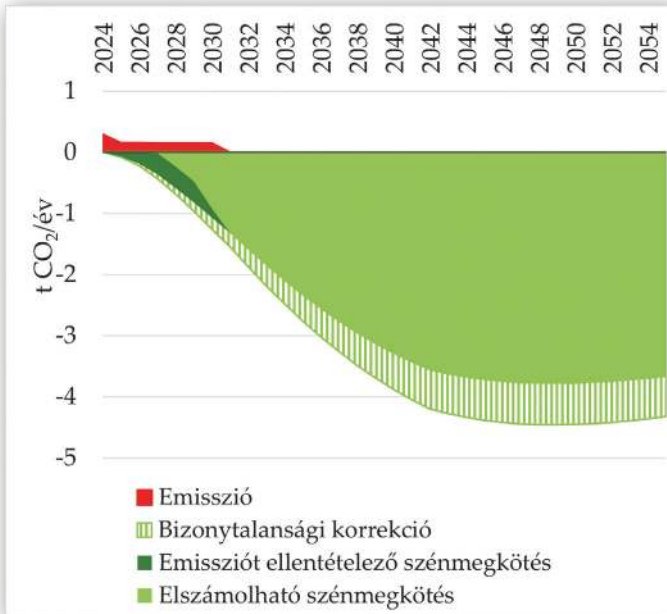
A 147. ábra együtt ábrázolja a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A telepített erdő szénmegkötését itt megbontottuk kvótaként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a telepítés 2055-ig megvalósuló teljes szénmegkötésének mindössze 1,2%-át teszik ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

Borovics A., Király É., Benke A., Keserű Zs.



146. ÁBRA

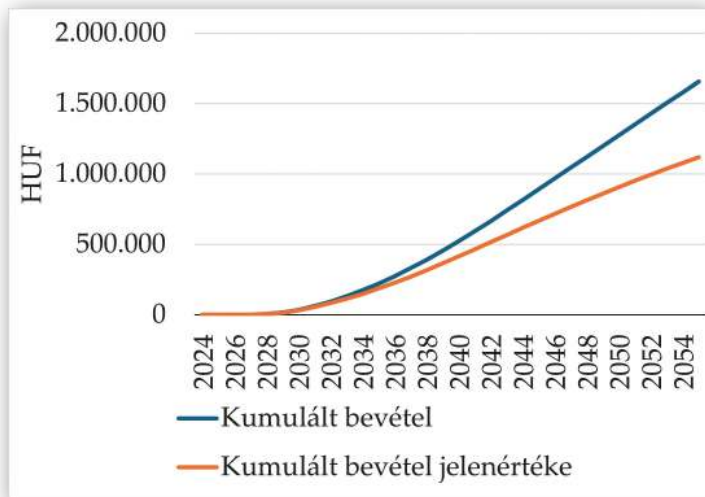
A telepített erdő prognosztizált szénkészlete széntárolók illetve fafajok szerint a 2024–2055 időszakban.



147. ÁBRA

A telepített erdő elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, valamint a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban.

A telepítéshez kapcsolódó teljes kvótabevétel a 2024–2055 időszakban várhatóan 1,65 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 1,11 millió HUF (148. ábra).



148. ÁBRA

A telepített erdőből származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban, az 1,04 hektáros projekt területére vonatkozóan.

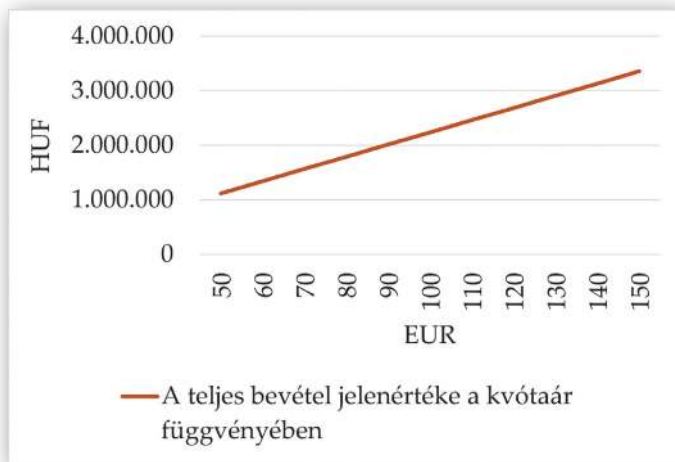
A 15. táblázat mutatja be összesítve a telepített erdő szénmegkötését, a kapcsolódó ÜHG-kibocsátásokat, illetve a várható kvóták számát és a várható kvótabevételt.

15. TÁBLÁZAT

A telepített erdő szénmegkötése, a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a telepítésből származó kvóták és kvótabevétel

	Telepítés területe (ha)	Teljes szénmegkötés (t CO ₂)	CO ₂ emisszió (kg)	N ₂ O emisszió (kg)	CH ₄ emisszió (kg)	Kvóták száma (db)	Kvóták száma (db/ha)	Kvótabevétel (M Ft)	Kvótabevétel (M Ft/ha)
Bejczyertyános 41/F	1,04	97	1124,0	0,1	0,9	81	77	1,65	1,59

A 149. ábra a teljes bevétel jelenértékének alakulását szemlélteti a kvótaárak változásának függvényében. A CRCF-rendelet hatálybalépésével és az általa szabályozott önkéntes piac elindulásával a kvótaárak várhatóan növekedésnek indulnak, ennek hatásait követhetjük nyomon az ábrán a bevételek alakulására.



149. ÁBRA

A telepített erdőből származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulása függvényében, az 1,04 hektáros projekt területére vonatkozóan.

14.1.2.5 Következtetések: az erdőtelepítés ígéretes és kifizetődő klímavédelmi beruházás

A bejegyertányosi esettanulmány alapján megállapítható, hogy az erdőtelepítési projektek – különösen a CRCF-rendelet keretei között – valós és mérhető szénmegkötési teljesítményt nyújtanak, miközben pénzügyileg is értékelhető megtérülést biztosítanak. Az általunk elemzett projekt keretében 2055-ig prognosztizált 97 tonna CO₂ ekvivalens szénmegkötés közel 1,65 millió forintos kvótabevételt generál, melynek jelenértéke 1,11 millió forint. Ez különösen kedvező hozamnak tekinthető, figyelembe véve a projekt kis méretét (1,04 ha), valamint azt, hogy a kvótabevétel csak egy a potenciális bevételi források közül. Emellett lehetőség van még a KAP-támogatás igénybevételére is, illetve a projekt- és monitoringidőszak lezárultával a fakitermelési lehetőség is megnyílik.

Az eredmények azt mutatják, hogy az erdőtelepítés egy költséghatékony természetalapú megoldás a klímavédelemben, különösen, ha megfelelően dokumentált és tanúsított módon történik. A CRCF-rendelet által biztosított tanúsítási és hitelesítési rendszer lehetővé teszi, hogy a projektek átlátható módon jelenjenek meg az önkéntes karbonpiacon, és a piaci szereplők bizalmát élvezve váljanak finanszírozhatóvá.

Fontos továbbá kiemelni, hogy az erdőtelepítési projektek nemcsak a klímavédelemhez járulnak hozzá, hanem egyéb ökoszisztéma-szolgáltatásokat is biztosítanak: növelik a biodiverzitást, javítják a talajszerkezetet, csökkentik az eróziót, és kedvezően befolyásolják a mikroklimát. A karbonkvóták révén ezek a társadalmi-gazdasági hasznok is monetáris értéket kapnak, amely új lehetőségeket nyit a vidéki területek számára.

Összegzésképpen elmondható, hogy a CRCF rendszer alapján megvalósított erdőtelepítési projektek egyszerre szolgálják a környezeti, gazdasági és társadalmi célokat. A jövőbeli karbonpiaci fejlemények – különösen a kvótaárak növekedése – további vonzerőt kölcsönözhetnek e beruházástípusnak, így az erdőtelepítés hosszú távon is ígéretes és kifizetődő klímavédelmi megoldás maradhat.

14.2 AZ IMPROVED FOREST MANAGEMENT PROJEKTEK A KLÍMAVÉDELEMBEN ÉS A KVÓTAKERESKEDELEMBEN

Könyvünk előző fejezetében az erdőtelepítési Carbon Farming projekteket vizsgáltuk. Jelen fejezetben egy sokkal komplexebb tématerületre térünk át: a már meglévő erdőkben kivitelezhető projektek lehetőségeinek és elszámolásának tárgyalására. Ezen projektek összefoglaló neve az ún. *Improved Forest Management* (IFM) projekt, amit talán klímabarát erdőgazdálkodási projektnek nevezhetnénk szabad fordításban.

Ebben a fejezetben megvizsgáljuk, hogy milyen jellegű IFM-projektek léteznek, illetve egy konkrét esettanulmányon keresztül bemutatjuk egy IFM-projekt szénmegkötésének, illetve az általa generált potenciális karbonpiaci bevételeknek a kiszámítását.

14.2.1 A CRCF-RENDELET SZABÁLYAI ÉS AZ IMPROVED FOREST MANAGEMENT PROJEKTEK TÍPUSAI

Az IFM-projektek a CRCF-rendelet szerint az erdőgazdálkodási Carbon Farming projektek körébe tartoznak. Az IFM-projekt indulásakor szükséges a projekthez kapcsolódó teljes jövőbeli szénmegkötésnek becslése, mely a projektindító dokumentáció, illetve a megfelelőségi tanúsítvány részét képezi.

Az erdőszeti projektek megvalósítása során rendszeres (legalább ötvenkénti) monitoringtevékenységre is szükség van, ahol dendrometria, illetve talajszénmérések segítségével szükséges felmérni, hogy a tervezett szénmegkötés a helyszínen valóban megvalósult-e. A terepi mérések kiegészíthetők távérzékeléses vizsgálatokkal is.

A szén-dioxid-kvóták (vagy más néven kreditek) képzése utólagos, tehát csak a már valóban megvalósult szénmegkötés eredményezhet kvótákat. Egy tonna megkötött szén-dioxid képez egy kvóta egységet. Jellemzően a projekt megkezdését követő ötödik évben kerülhet sor az első helyszíni auditra, mely után a kvóták kibocsátása megtörténik. Azonban már a projekt indulásakor kiadott megfelelőségi tanúsítvány is lehetővé teszi, hogy a gazdálkodó előszerződést kössön egy finanszírozóval, aki majd a később keletkező kvóták birtokosa lesz. Ez lehetővé teszi, hogy az első monitoringciklus lezárulta előtt is bevételhez jusson a gazdálkodó.

Az IFM-projektek hossza várhatóan 30 év lesz, amihez további 10 éves monitoringidőszak társul majd. Természetesen a projekt meghosszabbítására mindig van lehetőség, ami magával vonja a monitoring időszak további kitolódását is.

Az IFM-projektek esetében a megvalósuló szénmegkötést egy bázisértékhez (bázisvonal, baseline) kell viszonyítani a szabályozás szerint. Ennek értékét az EU Bizottság felhatalmazáson alapuló jogi aktusban állapítja majd meg egy részletes módszertani útmutató formájában. Jelenleg az IFM módszertani útmutató még nem ismert, így a bázisértékek sem. A bázisérték megállapítása erdőtípusonként és régióként történik majd meg távérzékelési és terepi adatgyűjtés, valamint erdőállomány-modellzés integrálása útján. Könyvünknek ebben a fejezetében egy példát adunk majd a bázisérték kiszámítására, azonban hangsúlyozzuk, hogy ez csak egy elméleti és hipotetikus példa, amelyről az EU Bizottság által alkalmazott számítási mód minden bizonnyal el fog térni, még akkor is, ha logikájában és koncepciójában hasonló lesz.

Jelenleg az sem ismert még, hogy mely erdőkezelési beavatkozások lesznek majd elfogadhatóak IFM-projektként. Ez a jogalkotó döntésének függvénye és ilyen formán nem jelezhető előre. A 16. táblázatban összefoglaljuk az önkéntes karbonpiacon jelenleg ismert legfontosabb IFM-projekt típusokat. Feltételezhető, hogy ezek egy része kerülhet majd be a CRCF által is elismert IFM-projektek körébe.

16. TÁBLÁZAT

Improved Forest Management projekt típusok a jelenlegi, a CRCF-rendelet által még nem szabályozott önkéntes karbonpiacon

Projekt megnevezése	Leírás
Kiterjesztett erdőciklus	A fakitermelés elhalasztása annak érdekében, hogy a fák <i>in situ</i> széntárolása fennmaradjon, illetve lehetőség nyíljon további szén-dioxid-megkötésére is az atmoszférából. Az adicionalitási kritériumok érvényesülése érdekében ez a projekt típus csak már vágásérett állományokban valósítható meg, ahol a véghasználatnak nincs jogi akadálya.
Klímaparát fakitermelési technológia	A fakitermelés környezeti kíméletességének növelése (pl. talajkímélő közelítés), melynek eredményeképp kisebb a talaj és a biomassa szénvesztése.
Gyérítés elhagyása, törzsszám növelése	Az állományok gyérítésének elhagyása az <i>in situ</i> szénraktározás mértékének növelése érdekében, alátelépítés vagy a természetes felújulás elősegítése a szénmegkötés fokozására.
Klímvédelmi szerkezetátalakítás	A fajösszetétel módosítása, jobb szénmegkötő képességű, őshonos vagy klímaturó fajok támogatása.
Gyorsan növő fajok cseréje lassabban növőkre	Hosszabb életciklusú, őshonos, tartósabb biomasszát képző fajok bevezetése, a természetességi állapot javítása.
Örökerdővé alakítás	A folyamatos erdőborítás biztosítása olyan területen, ahol ez korábban nem volt előírás és nincs erre vonatkozó jogi kötelezettség. Elegyes, többkorú állomány szerkezet kialakítása az erdő stabilitásának és szénmegkötő, valamint szénraktározó képességének növelése érdekében.
Tervezett fakitermelés elkerülése	Jogilag engedélyezett fakitermelés elhagyása az <i>in situ</i> szénmegőrzés érdekében.
Természetes felújulás támogatása	Az újulat természetes fejlődésének védelme. A természetes újulat megjelenését, a meglévő újulat változatosabbá tételét, illetve az újulatban az alkalmazkodást segítő többlet-beavatkozások.
Holtfa helyszínen hagyása	Az előírt mértéknél nagyobb mennyiségű álló és fekvő holtfa helyszínen hagyása az <i>in situ</i> széntárolás és a biodiverzitás növelése érdekében.
Károsodott erdők kitermelésének elkerülése	Vihar vagy tűz után az elpusztult fák helyben hagyása a szénmegőrzés érdekében.
Invasív fajok kezelése	Idegenhonos fajok eltávolítása az ökoszisztéma védelmében.
Vízgazdálkodási helyreállító projektek	Vizes élőhelyek, tőzeglápok helyreállítása a talajszén-vesztés elkerülése érdekében.

14.2.2 KVÓTAKERESKEDELEM ESETTANULMÁNY:

IMPROVED FOREST MANAGEMENT PROJEKTBŐL SZÁRMAZÓ SZÉN-DIOXID-KVÓTABEVÉTEL BECSLÉSE AZ EU CRCF-RENDELETÉNEK MÓDSZERTANA SZERINT

Az ebben a fejezetben bemutatott esettanulmányunk célja az, hogy számszerűsítsük egy IFM-projekt megvalósítása során keletkező elszámolható kvóták mennyiségét, és megbecsüljük az ebből származó bevételi lehetőség nagyságrendjét.

14.2.2.1 A tervezett projekt helyszínének bemutatása

A tervezett projekt egy kiterjesztett erdőciklus projekt klímavédelmi szerkezetátalakítással kiegészítve. A projekt helyszíne a Farkaserdő részét képező Káld 75/C erdőrészlet (150. ábra és 151. ábra). Az erdőrészlet területe 4,7 hektár (152. ábra), nem része a Natura 2000 hálózatnak üzemmódja vágásos. Természetességi állapota átmeneti erdő, amelyben nincs semmilyen korlátozás.

Az állomány felső szintje majdnem teljesen elegyetlen erdeifenyő, gyertyán alsó szinttel. Cserje- és gyepszint – a szegélyeket leszámítva – nincs az állományban. Az erdeifenyő kora 99 év, a gyertyáné 69 év. Az állomány már jelenleg is kilenc éve túltartott állapotban van. Az állomány egészségi állapota romló tendenciát mutat. A területi bejárás során meg lehetett állapítani, hogy a holtfa és száradék mennyisége megnövekedett az erdőtervezés során leírt állapothoz képest.

A projekt helyszínére vonatkozó jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyok megállapítására a SiteViewer 3.0 programot használtuk fel, mely a tervezés során elengedhetetlen döntéstámogatási eszköz. A döntéstámogató rendszer közelmúltra vonatkozó klímátípus adatfedvénye alapján jól látható, hogy a terület az 1981–2010-es időszakban a gyertyános-tölgyes klímába esett (153. ábra). A klíma jelen állapotban: kocsánytalan tölgyes, cseres klíma (154. ábra). A jelenre nézve a program célállomány-javaslati: erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), cser (*Quercus cerris*), hazai nyár (*Populus x canescens*) és akác (*Robinia pseudacacia*). Jelenleg erdeifenyő található a területen. A közeljövőben (2041–2070) a terület továbbra is a: kocsánytalan tölgyes, cseres klímába tartozik majd, s erre az időszakra a célállomány-javaslat szintén erdeifenyő, cser, hazai nyár és akác (155. ábra). A távolabbi jövőre vonatkozóan (2071–2100) sem a klímabesorolás, sem a célállomány-javaslat nem változik (156. ábra).

Borovics Á., Benke A., Borovics A., Király É., Schiberna E.



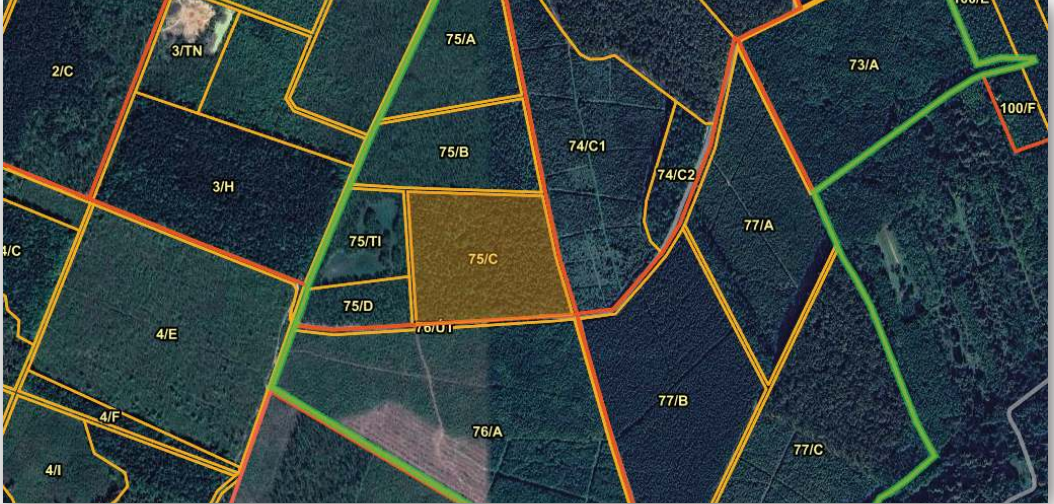
150. ÁBRA

A Káld 75/C erdőrészlet képei. (Fotók: Borovics Attila)

**151. ÁBRA**

Képek a száradékról a Káld 75/C erdőrészletben.
(Fotók: Borovics Attila)

Borovics Á., Benke A., Borovics A., Király É., Schiberna E.

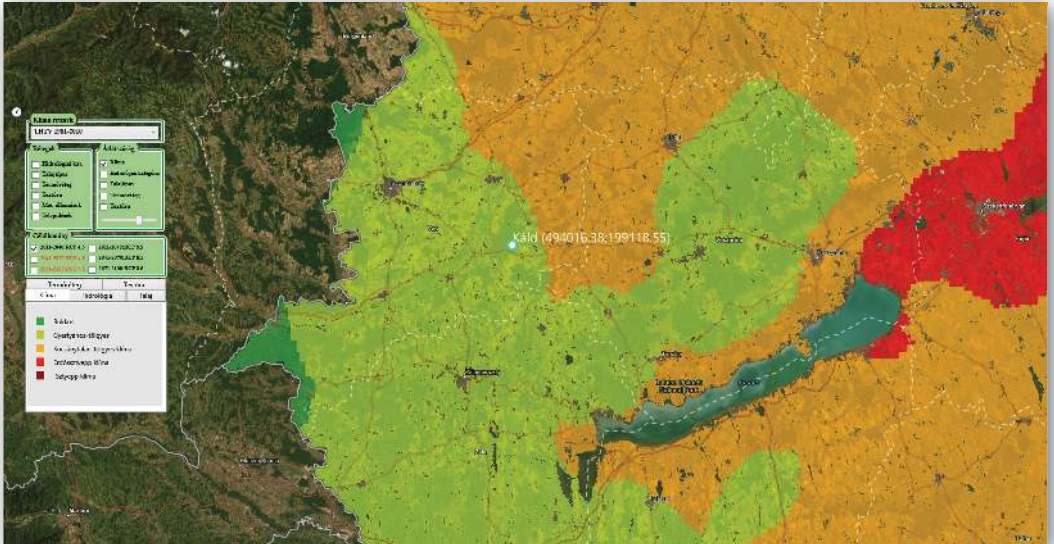


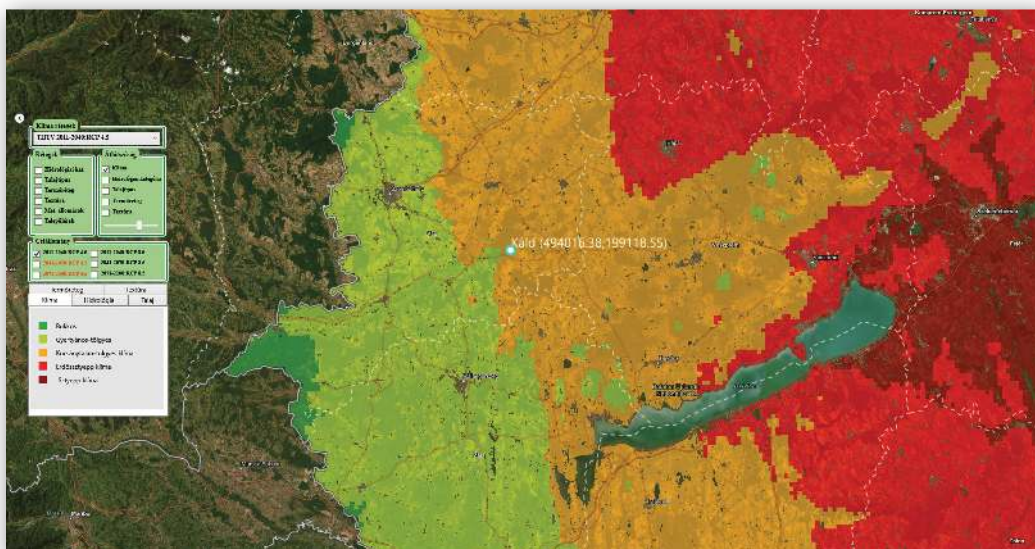
152. ÁBRA

Káld 75/C erdőrésztel
elhelyezkedése.(Forrás: <https://erdoterkep.nebih.gov.hu/>)Az erdőrésztel klímája a közelmúltban
(azaz az 1981–2010-es időszakban).

Forrás: SiteViewer 3.0)

153. ÁBRA



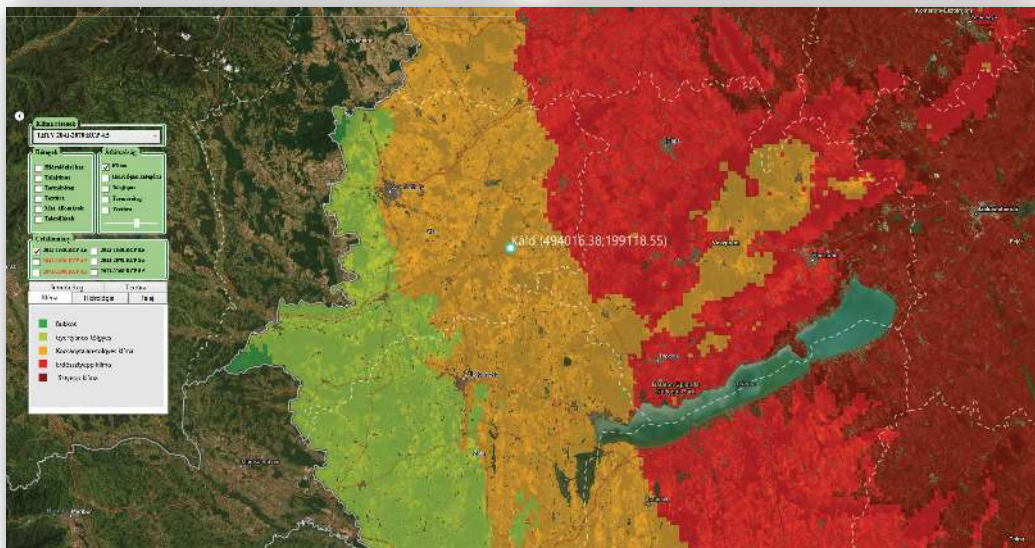


154. ÁBRA

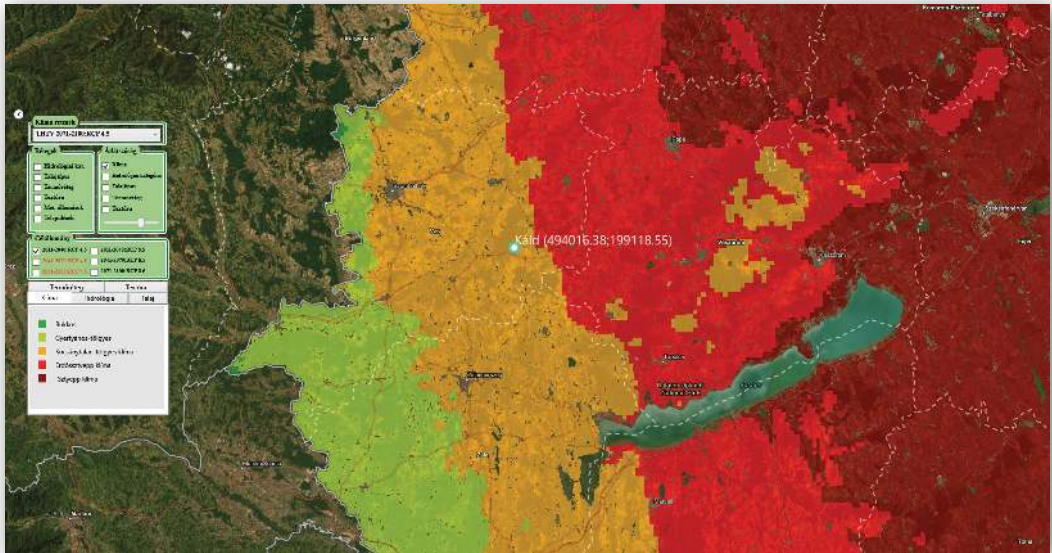
Az erdőrézlet klímája a jelen állapotban (azaz a 2011–2040-es időszakra jellemző állapot) az RCP4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint. (Forrás: SiteViewer 3.0)

Az erdőrézlet klímája a közeljövőben (azaz a 2041–2070-es időszakra jellemző állapot) az RCP4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint. (Forrás: SiteViewer 3.0)

155. ÁBRA



Borovics Á., Benke A., Borovics A., Király É., Schiberna E.



156. ÁBRA

A Káld 75/C erdőrezlet klímája a távolabbi jövőben (azaz a 2071–2100 időszakban) az RCP 4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint. (Forrás: SiteViewer 3.0)

A Káld 75/C erdőrezlet klímája a távolabbi jövőben

(azaz a 2071–2100 időszakban) az RCP 4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint.

(Forrás: SiteViewer 3.0)

A projekt helyszínének termőhelyi adatait, illetve jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyait a 17. táblázat ismerteti. A tervezés során a termőhelyi jellemzőket a helyszínen is ellenőriztük.

17. TÁBLÁZAT

A vizsgált erdőrezlet termőhelyitípus-változat adatai és kiterjedése

	Terület (ha)	Klíma 2011-2040	Klíma 2041-2070	Hidrologia	Genetikai talajtípus	Termőréteg-mélység	Fizikai talajféleség
Káld 75/C	4,7	gyertyános-tölgyes klíma	kocsánytalan tölgyes, cseres klíma	többlét-vízhatástól független	rozsdabarna erdőtalaj	mély	homok

14.2.2.2 A tervezett projekt bemutatása

A területen kiterjesztett erdőciklusprojektet tervezünk klímavédelmi szerkezetátalakítással kiegészítve. A projekt tervezett időtartama 30 év, így a projekciókat is a 2055-ös céldátumig végezzük.

A kiterjesztett erdőciklus lényege az állomány vágásérettségi kort meghaladó fenntartása a meghosszabbított *in situ* széntárolás, illetve további többlet-szénmegkötés megvalósítása érdekében. Ebben az esetben a szénmegkötés azért tekinthető addicionálisnak, mivel egy *Business as Usual* (BAU) szcenárió esetében az állomány letermelésre került volna.

Tekintettel arra, hogy az állományban jelentős a száradék mennyisége, az elszáradt faegyedek eltávolításával lékes felújítást is tervezünk, összesen 0,47 hektár területen. A felújítás szárazságtűrő, a területen várható klímához jobban adaptálódott fafajokkal történik meg, így a beavatkozás egyben klímavédelmi szerkezetátalakításként is értelmezhető. A telepítendő fafajokat a 18. táblázat mutatja be. A klímavédelmi szerkezetátalakítás által megvalósított szénmegkötés azért tekinthető addicionálisnak, mivel az erdőterv nem írt elő szerkezetátalakítást, így ez a beavatkozás kimondottan az önkéntes karbonkereskedelem ösztönző hatására történik meg, kifejezetten a tervezett Carbon Farming projekthez kötődően.

18. TÁBLÁZAT

A telepítésre tervezett fafajok és az érintett terület

Fafaj	Felújított terület %-ában	Terület
Csertölgy	40%	0,188 ha
Mezei juhar	10%	0,047 ha
Mezei szil	10%	0,047 ha
Rezgő nyár	20%	0,094 ha
Ezüsthárs	20%	0,094 ha

14.2.2.3 A bázisvonal meghatározása

Az IFM-projektekkel kapcsolatos legnagyobb bizonytalansági tényező a bázisvonal (baseline) meghatározása. A CRCF-rendelet szabályozása szerint a bázisvonalat az EU Bizottság határozza meg erdőtípusonként és régióként standardizált módon, távérzékelési információk, terepi mérések és erdőállomány-modellzés integrálása útján. A bázisvonal értéke az az átlagos szén-dioxid-megkötési érték, amely alapesetben, beavatkozás nélkül az adott erdőállománytól elvárható. Az IFM-projektek részletes szabályait az EU Bizottság felhatalmazáson alapuló jogi aktusként közreadott módszertani útmutatóban határozza majd meg, így a bázisvonal értékeket is ezen útmutató tartalmazza majd. Jelenleg ez az útmutató még nem készült el, így a majdani bázisvonal-értékek sem ismertek.

Könyvünkben egy hipotetikus példát adunk a bázisvonal meghatározására. A bázisvonal meghatározásához az Országos Erdőállomány Adattár adatait használjuk fel. Feltételezzük, hogy a bázisvonal értéke egyenlő lesz ezen állományok átlagos éves, CO₂-egyenértékben kifejezett növekményével.

Az ilyen módon számított bázisvonal értékét a 19. táblázat ismerteti.

19. TÁBLÁZAT

A bázisvonal értéke 101–120 év közötti erdeifenyő állományok esetében

Bázisvonal mértékegysége	Bázisvonal értéke
m ³ /ha/év	0,74
m ³ /év (4,7 ha esetén)	3,48
tCO ₂ /ha/év	-0,72
tCO ₂ /év (4,7 ha esetén)	-3,4

14.2.2.4 A fakitermelési, telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana

A tervezett lékes felújítás során a 20. táblázatban felsorolt munkákat fogják elvégezni. A CRCF-rendelet módszertani előírásaival összhangban elvégezzük az e munkákhoz kapcsolódó szén-dioxid-, dinitrogén-oxid (N₂O)- és metán-emissziók kiszámítását. A felújítási munkákhoz kapcsolódó üzemanyag-fogyasztást Erdeiné Késmárki-Gally és Rák (2020) útmutatója alapján, Benke és munkatársai (2015) számításaihoz hasonlóan számítjuk ki. A fakitermeléshez kapcsolódó kibocsátások értékét Polgár és munkatársai (2018) alapján számszerűsítjük. A gázolaj, illetve benzin elégetése során keletkező ÜHG-kibocsátások becsléséhez az IPCC által mezőgazdasági és erdészeti gépekre megadott legfrissebb konverziós faktorokat alkalmazzuk (IPCC 2006, 2019).

20. TÁBLÁZAT

Az IFM-projekt megvalósítása során tervezett fakitermelési, felújítási és ápolási munkálatok, illetve a projekt helyszínének területkategória szerinti besorolása

Területkategória			Gép típusa	Művelet gyakorisága
Műveletek	1. év	Erdeifenyő- és gyertyánzáradék letermelése a kijelölt lékekben	tréler, teherautó	1x (210 m ³)
		Talajelőkészítés tárcsás boronával	traktor	1x
		Kézi ékásós ültetés	–	1x
	2. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
	3. év	Pótlás	kézi gödörfúró	1x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
	4. év	Pótlás	kézi gödörfúró	1x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
	7. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x

14.2.2.5 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása

Az IFM-projektbe vont faállomány szénmegkötését a *Forest Industry Carbon Model* (Borovics et al., 2024) segítségével számítottuk ki, mely lehetővé teszi az erdei biomasz, a talaj, a holt szerves anyag, illetve a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások prognosztizálását is. A modell felhasználásával számítottuk a föld feletti és föld alatti biomaszában megvalósuló szén-dioxid-megkötést. A talaj, a holtfa és az avar széntárolókról azt feltételeztük, hogy a projekt időtartama során egyensúlyi állapotban maradnak. Ez egy konzervatív feltételezés, mely összhangban van a CRCF-rendelet szabályozásával is. A projekciót a 2024–2055 időszak vonatkozásában végeztük el. A választott fafajok fatermőképességét a SiteViewer 3.0 alkalmazás segítségével állapítottuk meg a 2041–2070 időszakra vonatkozó klimatikus adatokat alapul véve. A fafajokhoz a fatermési táblát az Országos Erdőállomány Adattárban is alkalmazott összerendelés szerint választottuk meg.

Az elszámolható szénmegkötés az a mennyiség, mely az önkéntes karbonpiacon a kvótakibocsátás alapját képezi. A CRCF-rendelet, illetve a módszertani útmutatók tervezetei szerint ez a mennyiség úgy képződik, hogy az erdőben megvalósuló szénmegkötés értékét korrigáljuk egy a modellezés bizonytalanságát leíró faktorról, majd az így korrigált szénmegkötés értékből levonjuk a fakitermelési munkák, illetve a telepítés és ápolás során keletkező fosszilis eredetű szén-dioxid-kibocsátásokat az (5–8) egyenletek szerint.

$$(5) \text{ Elszámolható szénmegkötés} = (CR_{\text{baseline}} - CR_{\text{total}}) \times (1 - UNC) - GHG_{\text{associated}} > 0$$

$$(6) CR_{\text{baseline}} = -3,4 \frac{tCO_2}{ha \times \text{év}}$$

$$(7) CR_{\text{total}} = CR_{\text{biomass}} + CR_{\text{soil}}$$

$$(8) GHG_{\text{associated}} = GHG_{\text{fossil fuel}} + GHG_{\text{fertilizer}}$$

ahol:

CR_{baseline} : a bázisvonal értéke, azaz a szénmegkötés feltételezett alapszintje;

CR_{total} : az IFM-projekt teljes szénmegkötése;

$GHG_{\text{associated}}$: a fakitermeléshez, illetve a felújításokhoz és ápolásához kapcsolódó addicionális ÜHG-kibocsátások;

CR_{biomass} : a biomaszában megvalósuló szénmegkötés;

CR_{soil} : a talajban megvalósuló szénmegkötés, jelen esetben ezt nullának tekintjük;

$GHG_{\text{fossil fuel}}$: a fakitermelés, telepítés és ápolása során üzemelő gépek ÜHG-kibocsátása;

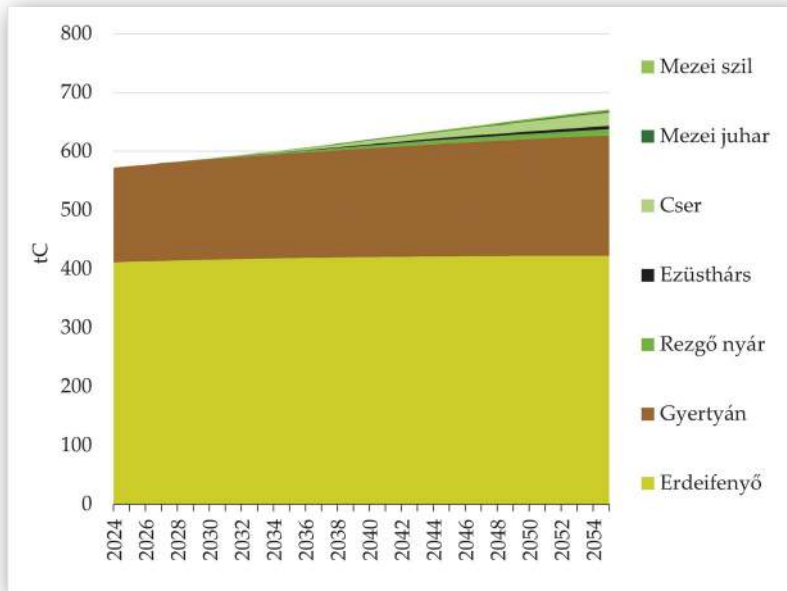
$GHG_{\text{fertilizer}}$: trágyázásból származó ÜHG-kibocsátások (esetünkben nem releváns);

UNC : a modellezés bizonytalanságát leképező bizonytalansági korrekció értéke, esetünkben $UNC = 0,15$.

Az elszámolható szénmegkötés tonna CO_2 -egyenértékben kifejezett értéke adja meg a keletkező kvóták darabszámát. A kvótabevételt ennek alapján 50 euró/tonna CO_2 -kvóta árat feltételezve számítottuk ki. A számítások során 408 HUF/EUR árfolyamot vettünk alapul. A bevétel jelenértékét 2%-os elvart reálkamatot feltételezve számszerűsítettük.

14.2.2.6 A várható szénmegkötés és kvótabevételek 2055-ig

Az IFM-projektbe vont erdőállomány élőfakészletében tárolt szénkészlet alakulását a 157. ábra szemlélteti a 2055-ig terjedő projekciós időszakban. Az állomány teljes biomasszában tárolt szénkészlete 572 tonna szénről 671 tonnára növekszik, ami azt jelenti, hogy összesen 99 tonna többletszenet köt meg a projektidőszak végére.

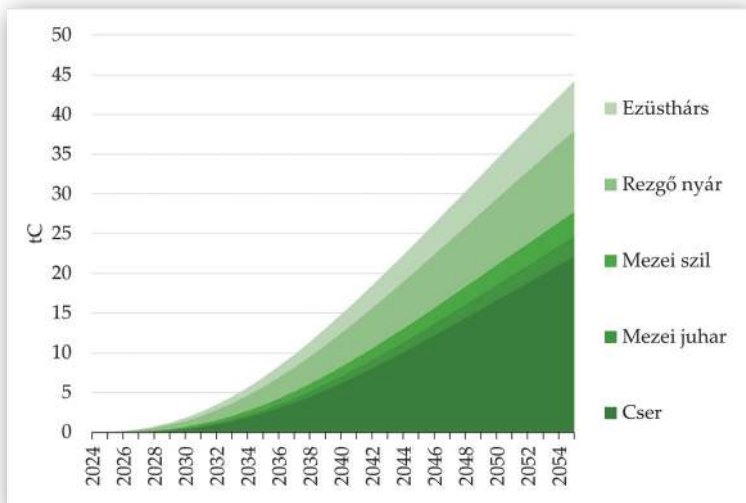


157. ÁBRA

Az IFM-projektbe vont erdőállomány szénkészlete fajok szerint a 2024–2055 időszakban.

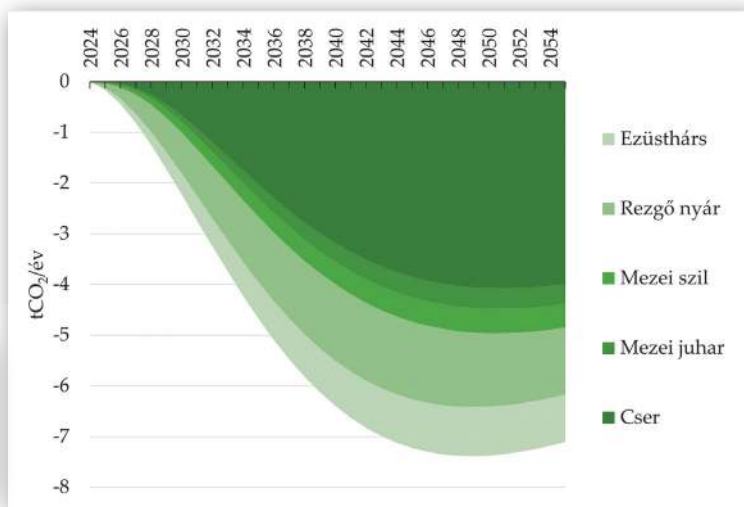
A 158. ábra és 159. ábra külön szemléltetik a lékes felújításban behozott új fajok szénkészletének és szénmegkötéseinek alakulását a prognosztizált időszakban.

A lékes felújítások által megvalósított teljes szénmegkötés a projektidőtartam végére 44 tonna szén (t C) értékű. Az átlagos éves szintű szén-dioxid-megkötés a lékekben – 5,1 tonna CO₂/év értékű.



158. ÁBRA

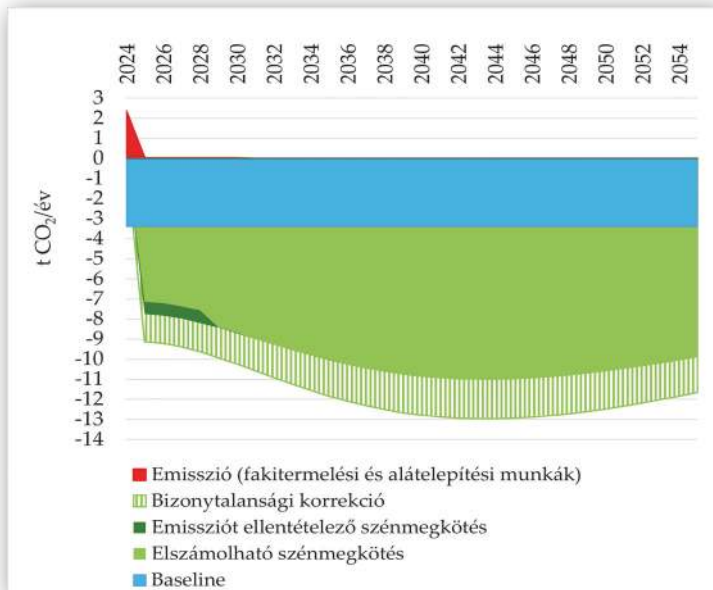
A lékes felújításban behozott fajok szénkészletének alakulása a 2024–2055 időszakban.



159. ÁBRA

A lékes felújításban behozott fajok szénmegkötésének alakulása a 2024–2055 időszakban.

Borovics Á., Benke A., Borovics A., Király É., Schiberna E.



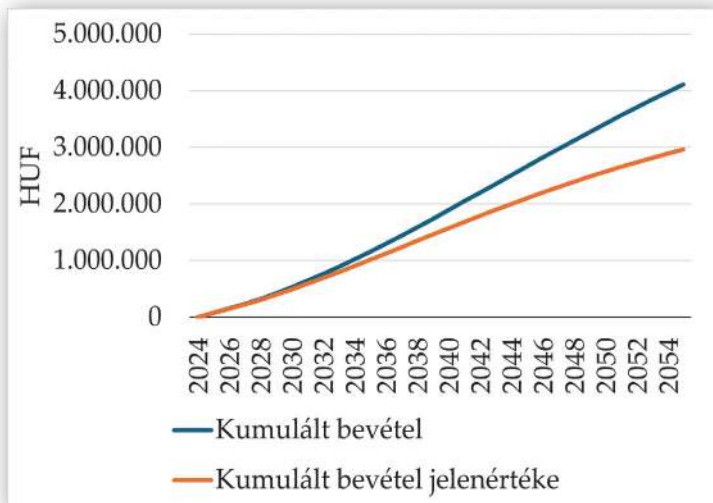
160. ÁBRA

Az IFM-projektben elszámolható szénmegkötés, a fakitermeléshez, telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, valamint a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban.

lódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. Emellett az ábra szemlélteti a modellezés bizonytalanságát számszerűsítő korrekció értékét is, mely szintén csökkenti a szén-dioxid-kvótaként elszámolható mennyiséget. Az erdőállomány szénmegkötését az ábrán megbontottuk kvótaként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra.

Számításaink szerint a projektben 2055-ig megvalósuló teljes szénmegkötésnek mindössze 0,7%-át teszik ki az üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

Az IFM-projekthez kapcsolódó teljes kvótabevétel a 2024–2055 időszakban várhatóan 4,11 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 2,96 millió HUF (161. ábra).



161. ÁBRA

Az IFM-projektből származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban, a 4,7 hektáros projekt területére vonatkozóan.

A 21. táblázat mutatja be összesítve az IFM-projekt szénmegkötését, a kapcsolódó ÜHG-kibocsátásokat, illetve a várható kvóták darabszámát és a várható kvótabevételt. Az egy hektárra normalizált kvótabevétel ez esetben 870 ezer forint a projekt teljes időtartama alatt.

21. TÁBLÁZAT

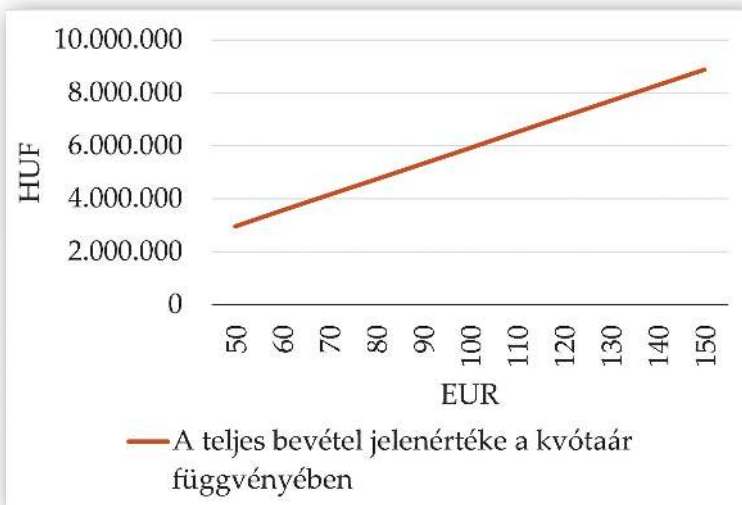
Az IFM-projekt szénmegkötése, a fakitermeléshez, felújításhoz és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a projektből származó kvóták és kvótabevétel

	Terület (ha)	Szénmegkötés (t CO ₂)	CO ₂ emisszió (kg)	N ₂ O emisszió (kg)	CH ₄ emisszió (kg)	Kvóták száma (db)	Kvóták száma (db/ha)	Kvóta bevétel (M Ft)	Kvóta bevétel (M Ft/ha)
Káld 75/C	4,7	-364	2524,6	0,01	0,2	201	43	4,11	0,87

A 162. ábra a teljes bevétel jelenértékének alakulását szemlélteti a kvótaárak változásának függvényében. A CRCF-rendelet hatálybalépésével és az általa szabályozott önkéntes piac elindulásával a kvótaárak várhatóan növekedésnek indulnak, ennek a bevételek alakulására gyakorolt hatásait követhetjük nyomon az ábrán.

162. ÁBRA

Az IFM-projektből származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulásának függvényében, a 4,7 hektáros projekt területére vonatkozóan.



14.2.2.7 Az IFM-projektekkel kapcsolatos következtetések

Az *Improved Forest Management* (IFM) típusú projektek a meglévő erdők szénmegkötési potenciáljának optimális kihasználására irányulnak, és a CRCF-rendelet révén az uniós szénmegkötési politika szerves részévé válhatnak. Az esettanulmányunkban vizsgált projekt alapján több fontos következtetés vonható le:

- **Adicionalitás és időzítés kérdése:** Az IFM-projektek akkor tanúsíthatóak és a szénmegkötés akkor számolható el kvótaként, ha igazolható, hogy a megvalósított intézkedések túllépnek a „szokásos gyakorlaton” (*Business as Usual* – BAU), és valódi többletet képviselnek szénmegkötés szempontjából. Ez a feltételrendszer lehetővé teszi a vágásérett, de még ki nem termelt állományok bevonását.
- **Hosszú távú elköteleződés szükségessége:** A projektidőszak jellemzően 30 év, amelyhez tízéves monitoringidőszak is társul. A hosszú távú elköteleződés alapfeltétele a projekt sikeres végrehajtásának, ugyanakkor ez kihívást is jelenthet az erdőtulajdonosok számára.
- **Bázisvonal meghatározásának kritikus szerepe:** A projektek pénzügyi eredményei nagyban függenek a bázisvonal értékétől, de a bázisvonalat az EU jelenleg még nem rögzítette. A bázisvonal jövőbeni pontosítása jelentős mértékben befolyásolhatja a projektekből származó kreditek mennyiségét.
- **Gazdasági életképesség és előfinanszírozás:** Az elemzések szerint a projekt pozitív pénzügyi eredményt hozhat, különösen, ha a kvótaárak a következő évtizedben emelkednek. A megfelelőségi tanúsítvány kiállítása a projekt elindulásakor lehetővé teszi előfinanszírozási konstrukciók kialakítását, így a gazdálkodók már az első újratanúsítási audit előtti időszakban is forrásokhoz juthatnak.
- **Szénlábnyom és emissziók:** A projekthez kapcsolódó kibocsátások – különösen a gépek foszszilis üzemanyag-használatából származók – általában a szénmegkötés kevesebb mint 1%-át teszik ki, így a projekt karbonlábnyoma kedvező. Ez megerősíti, hogy megfelelő tervezéssel az IFM-projektek karbonpozitív módon valósíthatóak meg.
- **Környezetvédelmi, természetvédelmi és klímapolitikai szerep:** Az IFM-projektek egy-szerre szolgálják a klímavédelmi, környezetvédelmi, biodiverzitás-védelmi és fenntartható erdőgazdálkodási célokat. A klímavédelmi szerkezetátalakítás révén a jövőbeli klímához jobban alkalmazkodó állományok jöhetnek létre, ezáltal növelve az erdők ellenállóképességét.
- **Döntéstámogatás szerepe:** A projekt tervezése során használt eszközök – például a SiteViewer 3.0 döntéstámogatási alkalmazás és a *Forest Industry Carbon Model* – kulcsszerepet játszottak a szakszerű tervezésben és előrejelzésben. Ezek a digitális döntéstámogató rendszerek nélkülözhetetlenek a Carbon Farming projektek tervezése során.

Összességében az IFM-projektek az önkéntes karbonpiac egyik legösszetettebb, de egyben legígéretesebb szegmensét képviselik, hiszen jóval nagyobb terület vonható be a kvótakereskedelemben ilyen formában, mint az erdőtelepítési projektek esetében. A szabályozási keretek véglegesítése után várhatóan szélesebb körben is elterjednek majd, különösen olyan térségekben, ahol a meglévő erdők állapota, klimatikus érzékenysége indokoltá teszi az ilyen típusú beavatkozásokat.

14.3 AZ AGRÁRERDÉSZETI PROJEKTEK A KLÍMAVÉDELEMBEN ÉS A KVÓTAKERESKEDELEMBEN

Könyvünk előző fejezeteiben kifejezetten az erdő- és faalapú szektorban vizsgáltuk a klímamitigáció lehetőségeit, azonban a földhasználati (LULUCF) szektor az erdők mellett magában foglalja a mezőgazdasági területek széles skáláját. Ezt a fejezetet kitekintésnek szánjuk, amely rámutat arra, hogy az ökoszisztéma-alapú szénmegkötés és klímamitigáció nem kizárólagosan az erdőgazdálkodás felhősségi köre és feladata.

Így ebben a fejezetben megvizsgáljuk az agrárerdészeti megoldások szerepét egy fenntarthatóbb, szénmegkötő mezőgazdálkodási forma kialakításában. A fejezet emellett egy konkrét esettanulmányon keresztül világít majd rá arra, hogy hogyan lehet egy mezőgazdasági területen telepített fásítás karbonpiaci beruházás, milyen feltételeknek kell megfelelnie, illetve milyen többletjövedelmek várhatóak egy ilyen projekt esetében.

14.3.1 AGRÁRERDÉSZETI MEGOLDÁSOK AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS MÉRSÉKLÉSÉRE ÉS AZ ALKALMAZKODÁS ELŐSEGÍTÉSÉRE A MEZŐGAZDASÁGBAN

Ahogy azt már az előző fejezetekben is megállapítottuk, a földhasználati szektor kulcsfontosságú szerepet játszik az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló erőfeszítésekben, különösen a Párizsi Egyezmény, az EU Zöld megállapodása (Green Deal) és a nettó nulla kibocsátási célkitűzés elérésében (Verkerk et al., 2022; Korosuo et al., 2023).

Az agrárerdészeti rendszerekben a fák és cserjék együttes jelenléte mezőgazdasági növényekkel vagy haszonállatokkal kedvező mikroklimatikus feltételeket teremt, valamint elősegíti az interakciókat a növények, állatok és a talaj organizmusai között (Borovics et al., 2017). Ennek eredményeként javul a tápanyagok körforgása, csökken a szél által okozott talajerózió, javul a talaj egészsége és vízmegtartó képessége, valamint nő a természetes élőhelyek diverzitása, hozzájárulva az ökoszisztéma egészségéhez és alkalmazkodóképességéhez (Nair et al., 2010).

Európában a mezővédő erdősávok, fasorok, a köztes termesztési rendszerek és a fás legelők tartoznak az agrárerdészet leggyakoribb formái közé (Joffre et al., 1988; Rigueiro-Rodríguez 2009). Az agrárerdészeti rendszerek kulcsszerepet játszanak az éghajlatváltozás mérséklésében is, mivel szén-dioxidot (CO₂) kötnek meg a légkörből, amelyet aztán a biomasszában, a holt szerves anyagokban és a talajban tárolnak (IPCC, 2022).

A mérsékelt égövben a természetes ökoszisztémák hagyományos mezőgazdasági területekké történő átalakítása Lal (2004) szerint akár 60%-os szénvesztést is eredményezhetett. A művelési technológia fejlődése, beleértve a gépesítést és a széles körben elterjedt monokultúrákat, hozzájárult a talaj szerves szén szintjének (SOC) csökkenéséhez az elmúlt évszázadban (Abbas et al., 2020; Tiefenbacher et al., 2021). Az agrárerdészeti gyakorlatok terjesztése lehetőséget adhat e káros tendencia ellensúlyozására azáltal, hogy csökkenti a talajból származó szén-dioxid-kibocsátást, és növeli a szénmegkötést a talajban és a dendromasszában (Eglin et al., 2010; Mayer et al., 2022; Dmuchowski et al. 2024). Kay és munkatársai (2019) környezeti kockázatokon alapuló prioritás-meghatározás segítségével 12,8 millió hektárt – ebből 9,96 millió hektár szántót és 2,84 millió hektár gyepterületet – azonosítottak az agrárerdészeti fejlesztések szempontjából kiemelt fontosságú területként Európában. E zónák beültetése hozzávetőleg 3,13 milliárd fa telepítését tenné lehetővé, közvetlenül támogatva az EU „3 milliárd fa” kezdeményezését. Ha 2025 és 2050

Borovics A., Ábri T., Benke A., Király É., Kovács Z., Schiberna E., Keserű Zs.

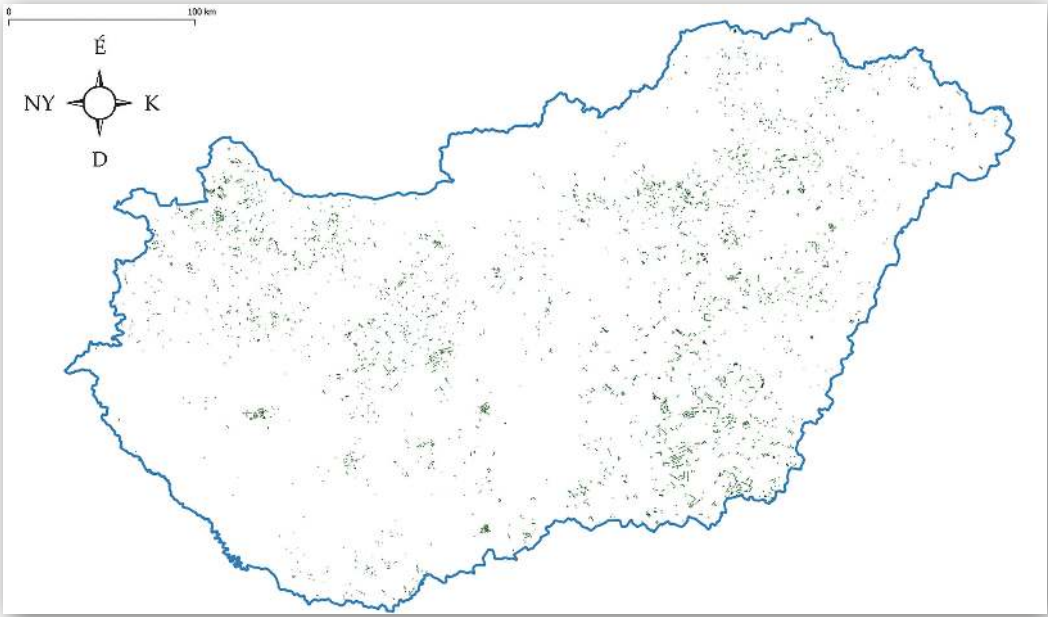
között évente 1 millió hektárnyi agrárerdészeti rendszert létesítenének, átlagosan hektáronként 150 fa sűrűséggel, akkor a hosszú távú éves szénmegkötési potenciál elérhetné a 192 millió tonna CO₂-t, ami megközelíti az EU földhasználati szektorának megkötési szintjét, amely 212 millió tonna CO₂-egyenérték.

Tehát az agrárerdészet szélesebb körű alkalmazása jelentős lehetőségeket kínál a jövőben a nettó nulla kibocsátású mezőgazdasági szektor létrehozására. Ezzel összhangban Hart és munkatársai (2017) és Aertsens és munkatársai (2013) az agrárerdészetet tartják a legígéretesebb eszköznek az éghajlatváltozás mérséklésére és az alkalmazkodás elősegítésére a mezőgazdaságban.

Az agrárerdészeti rendszerek szénmegkötő képességének becslése komplex feladat. A leggyakoribb módszerek közé tartozik a biomassza és a talaj szénkészletének közvetlen terepi mérése, valamint az olyan közvetett módszerek, mint a távérzékelés és a modellezési eljárások (Deng et al., 2024). Az agrárerdészeti rendszermodellek lehetőséget adnak az ökológiai folyamatok megértésének előmozdítására, miközben hozzájárulnak a jövőbeli kísérletek irányának meghatározásához is (Malézieux et al., 2009). Emellett az agrárerdészeti modellek előrejelzései segíthetnek a döntéshozóknak az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló stratégiák és beavatkozások megfelelő megtervezésében és kivitelezésében.

Az első agrárerdészeti modellek mezőgazdasági növénytermesztési modellek adaptációja útján jöttek létre. Például a CROPGRO (Boote, 1998) és a STICS (Brisson et al., 1998) modelleket használták agrárerdészeti rendszerek szimulálására, csökkentve a növények számára elérhető fény mennyiségét (Zamora et al., 2009; Dufour et al., 2013). A CROPGRO és az EPIC (Williams et al., 1989) adaptációját használták mezővédő erdősávok hatásának értékelésére is oly módon, hogy módosították a szélnek és a sugárzásnak való kitettség paraméterezését (Easterling, 1997; Qi et al., 2001). Az agrárerdészeti modellek közül a WaNuLCAS (Van Noordwijk–Lusiana, 1999) az egyik leggyakrabban alkalmazott és leghatékonyabb modell, amely képes szimulálni a fényért, vízért és nitrogénért folyó versenyt a fás növények teljes vágásfordulójára kiterjedően. A WaNuLCAS-t alapvetően nem mérsékelt égövi rendszerek modellezésére fejlesztették, hanem trópusi agrárerdészeti rendszerek leírására szánták (Walker et al., 2007; Martin–van Noordwijk, 2009; Pansak et al., 2010; Cahyo et al., 2016). A *Forest Industry Carbon Model* (FICM; Borovics et al., 2024) egy fatermési tábla alapú szénforgalmi modell, amelyet az ErdőLab-projekt (Borovics, 2022) keretében a Soproni Egyetemen fejlesztettünk ki a magyar erdészeti és faipari szektor szénegyenlegének számszerűsítése és előrejelzése érdekében. A modell rendelkezik mezővédő fásításokat kezelő modullal is (Király et al., 2024a), mely lehetővé teszi ilyen rendszerek szénmegkötésére vonatkozó projekciók készítését.

Magyarországon a mezővédő erdősávok, fásítások és fasorok a leggyakoribb agrárerdészeti tájelemek, amelyek a szél ellen védik a mezőgazdasági táblákat és ezáltal megelőzik a talajeróziót, valamint segítik megőrizni a talaj nedvességtartalmát is. Gál (1963, 1967) kiterjedt kísérleteket végzett a mezővédő erdősávok eróziót megelőző és hozamnövelő hatására vonatkozóan, és arra a következtetésre jutott, hogy minél kedvezőtlenebbek a klimatikus feltételek és minél szárazabb az éghajlat, annál kedvezőbb hatással vannak a mezővédő erdősávok a mikroklimára és ezáltal a termés hozamokra. E pozitív hatások és az éghajlatváltozás tükrében valószínűsíthető, hogy a mezővédő erdősávok egyre fontosabbá válnak a mezőgazdasági terméseredmények fenntartásában. Magyarországon a mezővédő erdősávokkal borított terület az 1970-es években jóval nagyobb volt, mint napjainkban. Akkor körülbelül 35 000 hektárt tett ki a területük (Danszky, 1970; Frank és Takács, 2012), ezzel szemben területüket ma már csak körülbelül 14 000 hektárra becsülik (Király

**163. ÁBRA**

Az erdőtervezett mezővédő erdősávok elhelyezkedése hazánkban az OEA adatai alapján.

et al., 2024b). Az erdőtervezett mezővédő erdősávok területe pedig ennél is alacsonyabb, mindössze 10 000 hektár (163. ábra).

Az egyik fontos újítás a magyar mezőgazdasági támogatási rendszerben 2023-tól az,

hogy az agrárerdészeti rendszerek által elfoglalt mezőgazdasági terület továbbra is jogosult közvetlen területalapú támogatásokra (NAK, 2022). Ezen kívül az agrárerdészeti rendszerek agrár-ökológiai program elemeként, illetve tájelemként is számba vehetők. Így tehát a mezővédő fasor, mezővédő erdősáv vagy gyepen telepített faegyedek által elfoglalt terület is támogatott terület marad. A támogatási rendszer ezen kedvező változásai alapján valószínűsíthető, hogy Magyarországon a mezővédő erdősávok területe növekedni fog. Ezért egyre fontosabbá válik ezen agrárerdészeti rendszerek szénmegkötési potenciáljának számszerűsítése.

Magyarországnak az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye felé benyújtott Nyolcadik nemzeti kommunikációja és Ötödik kétéves jelentése (2023) szerint az agrárerdészeti rendszerek hazánkban hozzájárulhatnak az éghajlatváltozás mérsékléséhez. A jelentés azonban nem tartalmaz numerikus becsléseket a hazánkban létező agrárerdészeti rendszerek szénmegkötésére, és nem számszerűsíti a további agrárerdészeti rendszerek telepítéséhez kapcsolódó klímamitigációs hatásokat sem. Király és munkatársai (2024b) a magyar mezővédő erdősávok föld feletti biomaszájában megvalósuló éves szénmegkötést -33 ezer tonna $\text{CO}_2/\text{év}$ értékűre becsülték, ami a magyarországi erdők föld feletti biomaszájában megvalósuló éves szénmegkötés 0,7%-ának felel meg az üvegházhatásúgáz-eltárjelentés szerint (NIR, 2023). A hazai agrárerdészeti rendszerek jövőbeli szénmegkötésének, illetve klímamitigációs potenciáljának számszerűsítése azonban még további vizsgálatokra szorul. Különösen

Borovics A., Ábri T., Benke A., Király É., Kovács Z., Schiberna E., Keserű Zs.

aktuálissá teszi ezt az EU *Carbon Removal and Carbon Farming* (CRCF, 2024) rendeletének elfogadása is, mely lehetővé teszi az agrárerdészeti rendszerek által megkötött szén kvótakereskedelemben vonását, ezzel többletbevételi lehetőséget kínálva a gazdálkodóknak.

14.3.2 A CRCF-RENDELET FÁSÍTÁSOKRA VONATKOZÓ SZABÁLYOZÁSÁNAK ISMERTETÉSE

A mezővédő fásítások létesítése a CRCF-rendelet szerint a mezőgazdasági Carbon Farming projektek körébe tartozik. Tanúsításra, illetve projekt létesítésére a fásítás telepítését követő öt éven belül van lehetősége a gazdálkodóknak. A telepítéshez használható KAP-támogatás, melyet azután a szén-dioxid-árzásból származó bevétel kiegészíti.

Fásítási projekt esetében az induláshoz szükséges a fásítás teljes jövőbeli szénmegkötésének becslése, mely a projektindító dokumentáció, illetve a megfelelőségi tanúsítvány részét képezi. Emellett az induláshoz szükséges egy kezdeti terepi felmérés is. Mivel a talaj szénkészletének növekedése is elszámolható a projekt keretében, ezért szükséges a talaj kezdeti szénkészletének és térfogattömegének megállapítása, amihez terepi mintavétel és laboratóriumi elemzés szükséges.

A projekt megvalósítása során rendszeres (legalább ötévenkénti) monitoringtevékenységre is szükség van, ahol dendrometriai és talajszénmérések segítségével szükséges felmérni, hogy a tervezett szénmegkötés a helyszínen valóban megvalósult-e. A terepi mérések kiegészíthetők, részben kiválthatóak távérzékeléses vizsgálatokkal is.

A szén-dioxid-kvóták (vagy más néven kreditek) képzése utólagos, tehát csak a már valóban megvalósult szénmegkötés eredményezhet kvótákat. Egy tonna megkötött szén-dioxid képez egy kvóta egységet. Jellemzően a fásítás telepítését követő ötödik évben kerülhet sor az első helyszíni auditra, mely után a kvóták kibocsátása megtörténhet. Azonban már a projekt indulásakor kiadott Megfelelőségi tanúsítvány is lehetővé teszi, hogy a gazdálkodó előszerződést kössön egy finanszírozóval, aki majd a később keletkező kvóták birtokosa lesz. Ez lehetővé teszi, hogy az első monitoring ciklus lezárulta előtt is bevételhez jusson a gazdálkodó.

Egy mezővédő fásítási projekt minimális hossza a módszertani útmutató tervezete szerint minimum 30 év, melyhez minimálisan további 10 éves monitoringidőszak társul. Természetesen lehetőség van a projekt meghosszabbítására is a 30 év letelte után, mellyel automatikusan a kötelező monitoring időszaka is kitolódik.

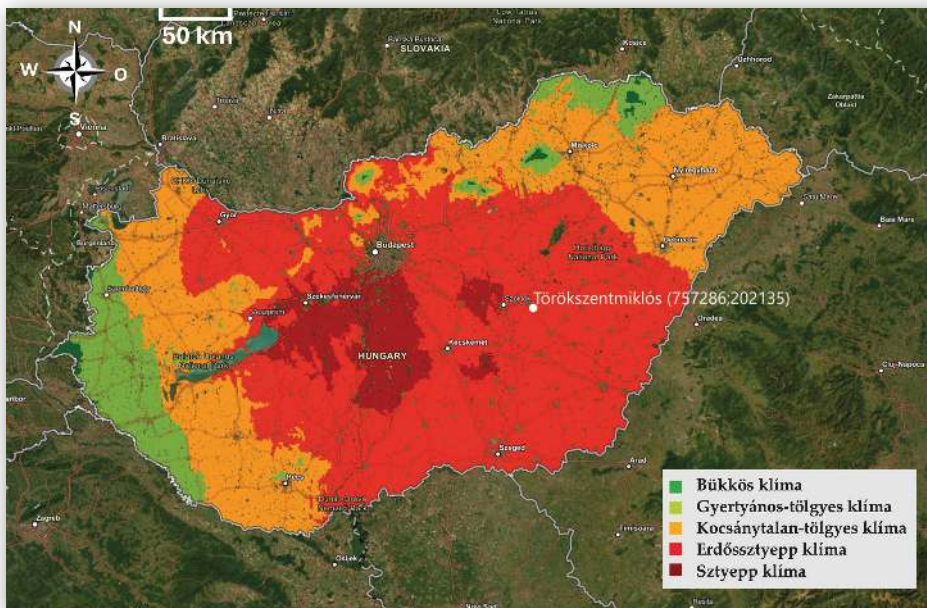
14.3.3 KVÓTAKERESKEDELEM ESETTANULMÁNY: MEZŐVÉDŐ FÁSÍTÁSOKBÓL SZÁRMAZÓ SZÉN-DIOXID-KVÓTABEVÉTEL BECSLÉSE AZ EU CRCF-RENDELETÉNEK MÓDSZERTANA SZERINT

Az ebben a fejezetben bemutatott esettanulmányunk célja az, hogy számszerűsítsük egy hazai mezővédő fásítás megvalósítása során keletkező elszámolható kvóták mennyiségét, és megbecsüljük az ebből származó bevételi lehetőség nagyságrendjét. Ehhez a fásítás kiviteli tervét vettük alapul, és az ebben található információk alapján modelleztük a fásítás szénmegkötését a 2055-ös céldátumig a *Forest Industry Carbon Model* (Borovics et al., 2024) felhasználásával. Emellett kiszámítottuk a fásítás telepítése és ápolása során keletkező ÜHG-kibocsátásokat is, melynek ismeretében meg tudtuk határozni az elszámolható szénmegkötést, illetve a várható kvótাবেvételeket.

14.3.3.1 A tervezett fásítás bemutatása

A tervezett fásítás a NEFAG Nagykunsági Erdészeti és Faipari Zrt. területén helyezkedik el, Törökszentmiklós település határában.

A fásítás kiviteli terveit a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete készítette. A fásítás tervezett helyszínét az 164. ábra és a 165. ábra szemlélteti. A telepítési helyszín jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyainak megállapítására a SiteViewer 3.0 programot használtuk fel, mely a tervezés során elengedhetetlen döntéstámogatási eszköz.

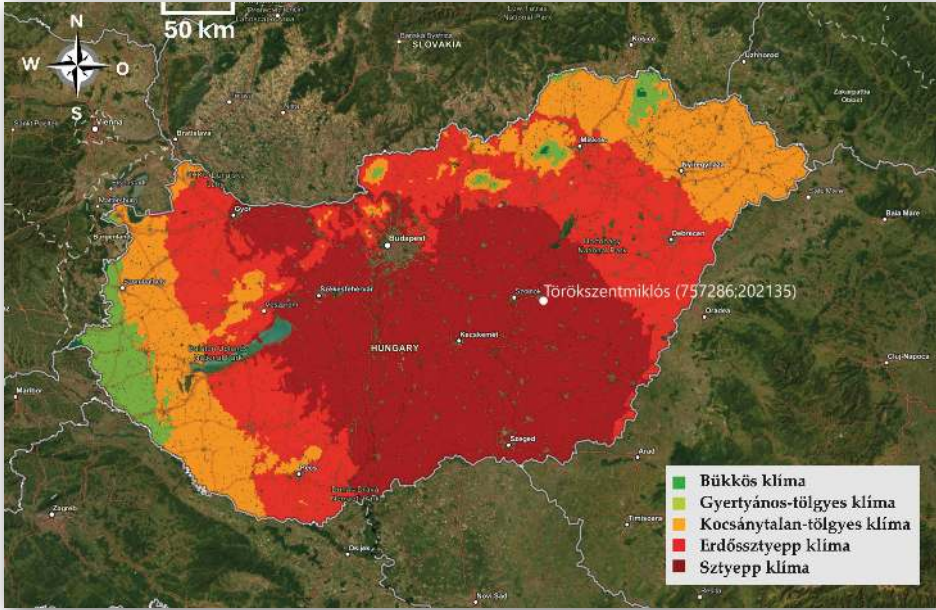


164. ÁBRA

A tervezett fásítás területének klímája a jelen (2011–2040) időszakban.

(Forrás: SiteViewer 3.0, 2024)

Borovics A., Ábri T., Benke A., Király É., Kovács Z., Schiberna E., Keserű Zs.



165. ÁBRA

A tervezett fásítás területének klímája a közeljövő (2041–2070) időszakban.

(Forrás: SiteViewer 3.0, 2024)

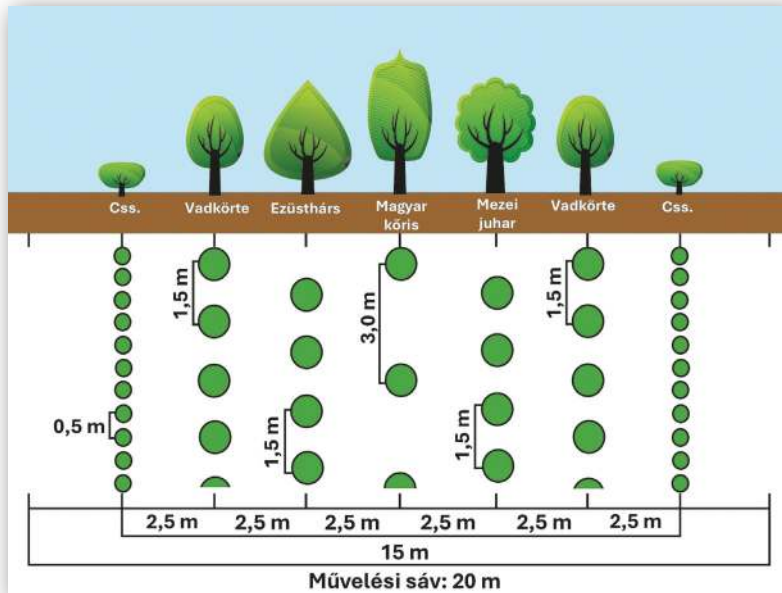
A fásítás helyszínének termőhelyi adatait, illetve jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyait a 22. táblázat ismerteti. A tervezés során a termőhelyi jellemzőket a helyszínen is ellenőriztük.

22. TÁBLÁZAT

A tervezett fásítás termőhelytípus-változat adatai és kiterjedése

	Tervezett sáv hossza (m)	Klíma 2011 – 2040	Klíma 2041 – 2070	Hidrologia	Genetikai talajtípus	Termőréteg- mélység	Fizikai talajféleség
Törökszentmiklós	500	erdős- sztyepp	sztyepp	többlet- vízhatástól független	réti csernozjom	közepes	agyag

A tervezett fásítás ültetési hálózatát és a telepített fafajokat a 166. ábra mutatja be.



166. ÁBRA

A törökszentmiklósi sáv ültetési hálózata.

A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: fagyal (*Ligustrum vulgare*), mogyoró (*Corylus avellana*).

14.3.3.2 A telepítési és ápolási munkákhoz kapcsolódó kibocsátások számszerűsítésének módszertana

A kiviteli terv szerint a fásítás telepítése és ápolása során a 23. táblázatban felsorolt munkákat fogják elvégezni.

A CRCF-rendelet módszertani előírásaival összhangban elvégeztük az e munkákhoz kapcsolódó szén-dioxid-, dinitrogén-oxid (N_2O)- és metán (CH_4)-emissziók kiszámítását. A munkagépek üzemanyag-fogyasztását Erdeiné Késmárki-Gally és Rák (2020) útmutatója alapján, Benke és munkatársai (2015) számításaihoz hasonlóan számítottuk ki. A fásítás területének területkategória szerinti besorolásait a 23. táblázat tartalmazza. A területkategória szerinti besorolás az üzemanyag-fogyasztás kiszámításához szükséges segédváltozó, mely megmutatja, hogy a terep mennyire könnyen járható, és ennek megfelelően mekkora üzemanyag-fogyasztás értékekkel kell kalkulálnunk.

A gázolaj, illetve benzin elégetése során keletkező ÜHG-kibocsátások becsléséhez az IPCC által mezőgazdasági és erdészeti gépekre megadott legfrissebb konverziós faktorokat alkalmaztuk (IPCC 2006, 2019).

23. TÁBLÁZAT

A fásítások telepítése és ápolása során tervezett munkálatok, illetve a fásítások területkategória szerinti besorolás

			Gép típusa	Művelet gyakorisága
Területkategória				I.
Műveletek	1. év	Szállítás	tréler, teherautó	1x
		Mélyforgatás	traktor	–
		Mélysántás	traktor	1x
		Simítózás	traktor	–
		Talajelőkészítés tárcsás boronával	traktor	1x
		Pásztás talajelőkészítés	traktor	–
		Gépi ültetés (fák)	suhángültető/csemeteültető	1x
		Kézi ékásós ültetés (cserjék)	–	1x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	–
		Szárzúzás	traktor	4x
	2. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	–
		Szárzúzás	traktor	4x
		Pótlás	kézi gödörfúró	1x
	3. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	–
		Szárzúzás	traktor	4x
		Pótlás	kézi gödörfúró	1x
	4. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	–
		Szárzúzás	traktor	4x
	5. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Szárzúzás	traktor	4x
	6. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Szárzúzás	traktor	4x
	7. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	4x
		Szárzúzás	traktor	4x

14.3.3.3 A szénmegkötés és a kvótabevétel számítása

A fásítás szénmegkötését a *Forest Industry Carbon Model* (Borovics et al., 2024) segítségével számítottuk ki, mely lehetővé teszi az erdei biomassza, a talaj, a holt szerves anyag, illetve a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások prognosztizálását is. A modell agrárerdészeti modulja (Király et al., 2024a) hazai mezővédő erdősávok adatainak átfogó elemzése és integrálása útján került kialakításra, ezért országspecifikus modellnek tekinthető. E modell felhasználásával számítottuk a tervezett sáv föld feletti és föld alatti biomasszájában, talajában, illetve a felhalmozódó holt szerves anyagokban megkötött szén-dioxid-mennyiséget. A projekciót a 2024–2055 időszak vonatkozásában végeztük el. A választott fafajok fatermőképességét a SiteViewer 3.0 alkalmazás segítségével állapítottuk meg a 2041–2070 időszakra vonatkozó klimatikus adatokat alapul véve. A fafajokhoz a fatermési táblát az Országos Erdőállomány Adattárban is alkalmazott összerendelés szerint választottuk meg.

Mivel a fásítások telepítése korábbi szántóterületen történik, ezért a telepítéshez kapcsolódóan talajemisszióval nem számoltunk.

Az elszámolható szénmegkötés az a mennyiség, mely az önkéntes karbonpiacon a kvótakibocsátás alapját képezi. A CRCF-rendelet szerint fásítások esetében ez a mennyiség úgy képződik, hogy a fásításban megvalósuló szénmegkötés értékét korrigáljuk egy a modellezés bizonytalanságát leíró faktorról, majd az így korrigált szénmegkötés-értékből levonjuk a telepítés és ápolás során keletkező fosszilis eredetű szén-dioxid-kibocsátásokat az (9–12) egyenletek szerint.

$$(9) \text{ Elszámolható szénmegkötés} = (CR_{\text{baseline}} - CR_{\text{total}}) - GHG_{\text{associated}} \times (1 - UNC) > 0$$

$$(10) CR_{\text{baseline}} = 0$$

$$(11) CR_{\text{total}} = CR_{\text{biomass}} + CR_{\text{soil}}$$

$$(12) GHG_{\text{associated}} = GHG_{\text{fossil fuel}} + GHG_{\text{fertilizer}}$$

ahol:

CR_{baseline} : a fásítás megvalósítása nélküli szénmegkötés alapszintje;

CR_{total} : a fásítás teljes szénmegkötése;

$GHG_{\text{associated}}$: a fásítás telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó addicionális ÜHG-kibocsátások;

CR_{biomass} : a biomasszában megvalósuló szénmegkötés;

CR_{soil} : a talajban megvalósuló szénmegkötés;

$GHG_{\text{fossil fuel}}$: a telepítés és az ápolása során üzemelő gépek ÜHG-kibocsátása;

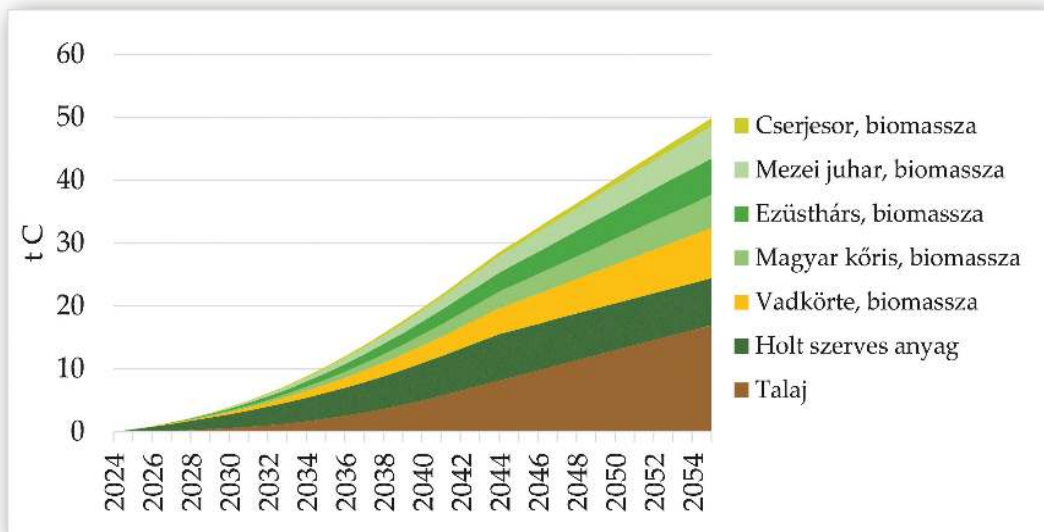
$GHG_{\text{fertilizer}}$: trágyázásból származó ÜHG-kibocsátások (esetünkben nem releváns).

Az elszámolható szénmegkötés tonna CO₂-egyenértékben kifejezett értéke adja meg a keletkező kvóták darabszámát. A kvótabevételt ennek alapján 50 euró/tonna CO₂ kvótaárat feltételezve számítottuk ki. A számítások során 408 HUF/EUR árfolyamot vettünk alapul. A bevétel jelenértékét 2%-os elvart reálkamatot feltételezve számszerűsítettük.

Borovics A., Ábri T., Benke A., Király É., Kovács Z., Schiberna E., Keserű Zs.

14.3.3.4 A fásítás szénmegkötése és a várható kvótabevételek 2055-ig

A törökszentmiklósi fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2055-ig 50 tC (167. ábra). Ebből a talajban és a biomasszában megkötött szén számolható el, és eredményez karbonkvótákat, a holt szerves anyag felhalmozódása csak addicionális előnyként tüntethető fel a projekt tanúsítványon, azonban kvótákat nem generál.



A 168. ábra együtt ábrázolja a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését itt megbontottuk kvótaként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a fásítás 2055-ig megvalósuló teljes szénmegkötésének mindössze 0,7%-át teszik ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

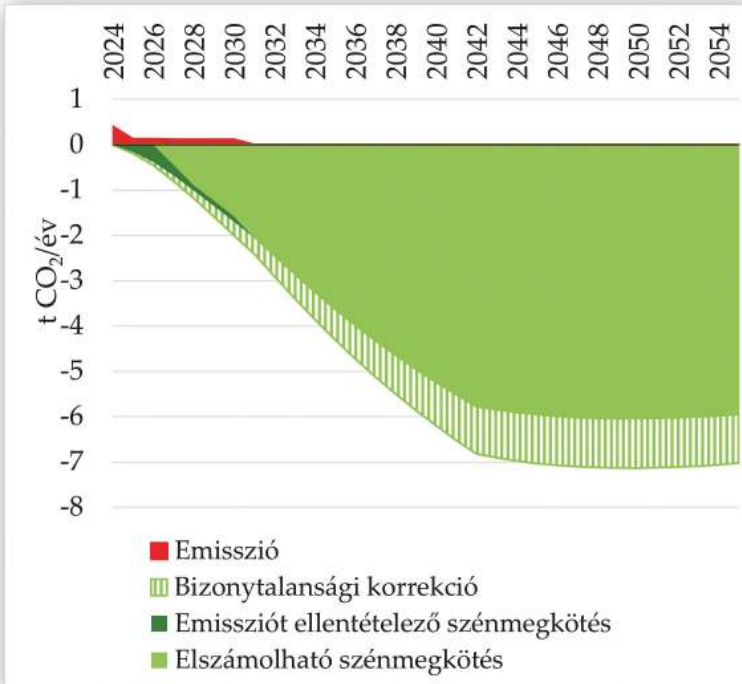
A fásításhoz kapcsolódó teljes kvótabevétel a 2024–2055 időszakban várhatóan 2,67 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 1,81 millió HUF (169. ábra).

A 24. táblázat mutatja be összesítve a fásítás szénmegkötését, a kapcsolódó ÜHG-kibocsátásokat, illetve a várható kvóták számát és a várható kvótabevételt. Az egy hektárra normalizált kvótabevétel ez esetben 3,56 millió HUF.

A táblázatban viszonyítási alapként a fásítás telepítéséhez igényelhető 12 EUR/folyóméterben meghatározott KAP-támogatás HUF-ra átszámított értékét is feltüntettük. Ennek alapján elmondhatjuk, hogy a fásításból származó teljes kvótabevétel 2055-ig összességében várhatóan meg fogja haladni a KAP-támogatás mértékét.

167. ÁBRA

A törökszentmiklósi sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2055 időszakban.

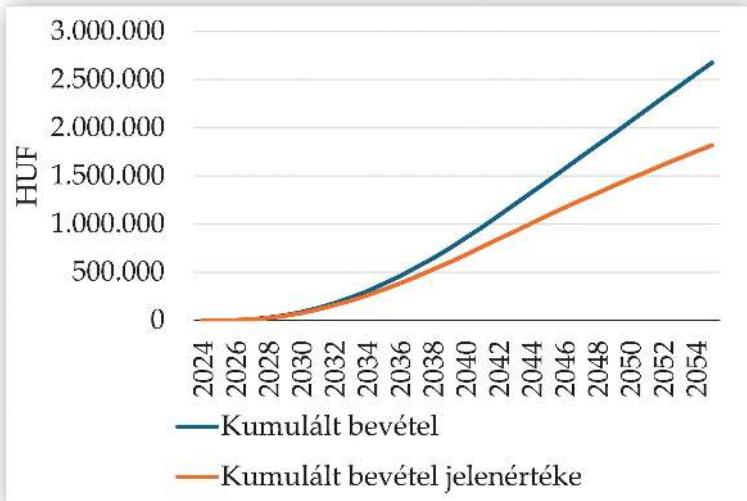


168. ÁBRA

A törökszentmiklósi sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, illetve a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban.

169. ÁBRA

A törökszentmiklósi sávból származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban, a 0,75 hektáros projekt területére vonatkozóan.



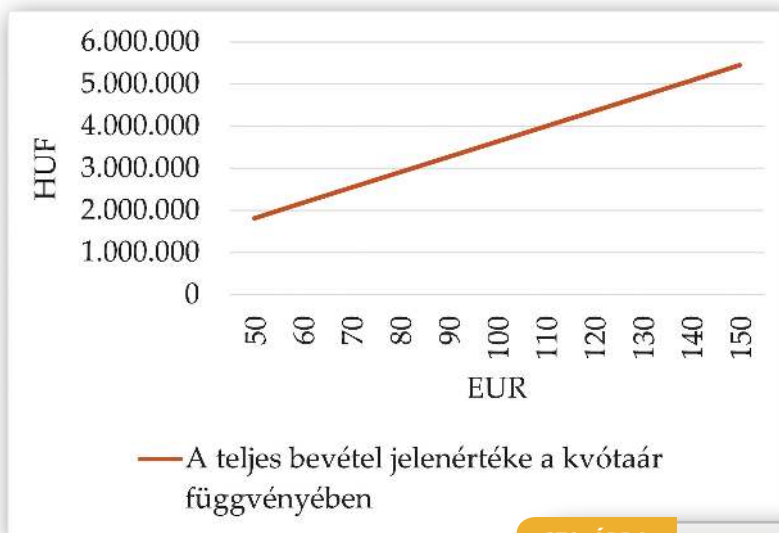
Borovics A., Ábri T., Benke A., Király É., Kovács Z., Schiberna E., Keserű Zs.

24. TÁBLÁZAT

A fásítás szénmegkötése, a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a fásításból származó kvóták és kvótabevétel

	Fásítás területe (ha)	Művelési sáv területe (ha)	Szénmegkötés (t CO ₂)	CO ₂ -emisszió (kg)	N ₂ O-emisszió (kg)	CH ₄ -emisszió (kg)	Kvóták száma (db)	Kvóták száma (db/ha)	Kvótabevétel (M Ft)	Kvótabevétel (M Ft/ha)	Kvótabevétel (Ft/folyóméter)	KAP-támogatás (Ft/folyóméter)
Török-szentmiklós	0,75	1,00	155	1072,8	0,2	0,6	131	174	2,67	3,56	5 340	4 896

A 170. ábra a teljes bevétel jelenértékének alakulását szemlélteti a kvótaárak változásának függvényében. A CRCF-rendelet hatálybalépésével és az általa szabályozott önkéntes piac elindulásával a kvótaárak várhatóan növekedésnek indulnak, ennek hatásait követhetjük nyomon az ábrán a bevételek alakulására.



170. ÁBRA

A török-szentmiklói sávból származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulása függvényében, a 0,75 hektáros projekt területére vonatkozóan.

14.3.3.5 Következtetések: az agrárerdészet hatásos és kifizető klímavédelmi beruházás

Vizsgálatunk eredménye szerint a fásítások telepítése viszonylag széles termőhelyi spektrumon jövedelmező befektetés lehet az erdőgazdálkodók és mezőgazdasági termelők számára. Tekintettel arra, hogy a sávok telepítését a KAP finanszírozza, a CRCF-rendelet által szabályozott önkéntes karbonpiacról származó bevételek többletbevételi forrást jelentenek.

Mindez a mezővédő fásítások telepítését jövedelmező és egyben környezetvédelmi szempontból is igen hasznos beruházássá teszi, amely így vonzóvá válhat az erdőgazdálkodók és mezőgazdasági termelők egyre szélesebb köre számára. A vizsgálatunkban prognosztizált szén-dioxid-kvótabevételek összemérhetőek a mezőgazdasági földhasznosításból származó jövedelmek nagyságrendjével.

Elemzésünk azt mutatja, hogy a fásítások telepítése és ápolása során üzemelő gépek ÜHG-emissziói elenyészően kicsik (csupán 1% alatti értékűek) a biomasszában és talajban megvalósuló szénmegkötéshez képest. Mindezek alapján elmondhatjuk, hogy a fásítások telepítése amellet, hogy kedvező mikroklimatikus hatású, csökkenti a deflációt és növeli a talajnedvességet, valamint a terméshozamot, még igen kedvező klímamitigációs hatással is bír. A CRCF-rendelet új szabályozási környezete lehetővé teszi, hogy e klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatás ellenértéként a gazdálkodók bevételeire tegyenek szert.

Fontos megemlíteni, hogy egy klímamitigációs projekt csak akkor jár kvótabevétellel, ha az előzetes kalkulációt és tanúsítást követően a szénmegkötés megvalósulását és mértékét terepi monitoring keretében ellenőrzik és igazolják. Különösen nagy jelentősége van ennek a talajban megvalósuló szénmegkötés esetében, melynek modellezése elsősorban nemzetközi adatokon alapul és ezért sokkal nagyobb bizonytalansággal terhelt. Gyengébb termőhelyi körülmények, illetve szárazabb klimatikus feltételek mellett a talajban megvalósuló szénmegkötés arányaiban nagyobb lehet a biomassza szénmegkötéséhez képest, így egy Carbon Farming szénmegkötési projekt megvalósítása folyamán különösen lényeges a talaj széntartalmának pontos laboratóriumi visszamérése, monitoringja, amelyre vonatkozóan a CRCF-rendelet módszertani útmutatói adnak majd részletes szabályozást.

Meg kell említenünk bizonyos korlátokat, bizonytalanságokat is, melyek a következőképpen foglalhatóak össze: (1) A szénmegkötésre vonatkozó modellbecsléseknek van bizonytalansága, különösen a talajban megvalósuló szénmegkötés esetében. Ezért elengedhetetlen a rendszeres monitoring és a laboratóriumi visszamérések alkalmazása. (2) A kvótabevételek függenek a karbonpiaci ártaktól és az árfolyam-ingadozásoktól. (3) A gazdálkodók számára az adminisztratív terhek akadályt jelenthetnek, különösen kisebb gazdaságokban, amelyet viszont ellensúlyozhat a csoportos tanúsítás lehetősége, melyet a CRCF-rendelet megenged.

Összességében megállapítható, hogy a CRCF-rendelet keretében megvalósuló Carbon Farming projektek ígéretesek az éghajlatváltozás mérséklésében és az agrárerdészeti megoldások fenn tartható finanszírozásában. Éppen ezért kiemelten fontos a széles körű népszerűsítésük, mivel hozzájárulnak egy karbonsemleges és reziliens mezőgazdasági szektor kialakításához.

14.4 A FA TARTÓS BEÉPÍTÉSÉRE IRÁNYULÓ PROJEKTEK A KLÍMAVÉDELEMBEN ÉS A KVÓTAKERESKEDELEMBEN

Miután könyvünk előző fejezeteiben részletes esettanulmányok segítségével megvizsgáltuk a Carbon Farming projektek CRCF (EU/2024/3012) rendelet szerinti szabályozását és az elszámolható szénmegkötés kiszámításának módját, most áttérünk a termékekben megvalósuló széntárolás tanúsításának esetére.

14.4.1 A CRCF-RENDELET SZERINTI TARTÓS BEÉPÍTÉSI PROJEKTEK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A CRCF-rendelet lehetőséget ad a biogén eredetű anyagokban megvalósuló tartós széntárolás premizálására. Tartós széntárolás alatt a rendelet a hosszú távú beépítést érti, mely legalább 35 év élettartamú épületekben valósul meg. A biogén anyagok csoportjában a fa kiemelkedő jelentőségű, így ebben az alfejezetben valójában a faépületek tanúsíthatósági kritériumaival foglalkozunk részletesen.

A faanyag hosszú távú beépítése révén jelentős mennyiségű szén-dioxidot képes tartósan tárolni a beépített szerkezetekben. A tanúsítás elsődleges célja az, hogy ösztönözze az olyan projekteket, amelyek hosszú távon stabil formában képesek a szén-dioxidot tárolni, és ezzel hozzájárulnak az uniós klímacélok teljesítéséhez.

A faépület-projektek esetében az elszámolható szénmegkötés, azaz a nettó szén-dioxid-eltávolítás meghatározása során figyelembe kell venni a beépített faanyagban megkötött szén-dioxid-mennyiségét, valamint a projekt teljes életciklusa során fellépő kibocsátásokat. Az aktív szénmegkötést a beépített faanyag tömegének, széntartalmának és a szén-dioxidra történő átváltási tényezőnek a szorzataként számítjuk.

Az így kapott érték adja meg a bruttó szén-dioxid-megkötést tonnában. Ebből a bruttó értékből le kell vonni az ún. bázisértéket. Ez azt adja meg, hogy az adott régióban, az adott épülettípusban átlagosan mennyi biogén eredetű szén található meg. Ez a bázisérték az, amely minden épület esetében elvárható, és általában megvalósul. Az ezt meghaladó többletteljesítmény (a beépített fa többletteljesítése) díjazható karbonkreditekkel. A bázisértékeket az EU Bizottság felhatalmazáson alapuló jogi aktusban fogja majd meghatározni. Mivel ez még nem történt meg, így teljesen pontos kalkuláció jelenleg a tanúsítható karbonkreditek mennyiségére nem adható egy tartós beépítési projekt esetében.

A nettó szén-dioxid-eltávolítás értékének meghatározásához szükséges számszerűsíteni még az épület életciklusa során fellépő többletkibocsátásokat is, melyek azonban az alternatív fosszilis alapú építőanyagok használata esetében általában magasabbak. A nettó szén-dioxid-eltávolítás ezek alapján a következő képlettel számítható:

$$\text{Nettó CO}_2 \text{ eltávolítás (tCO}_2\text{)} = (M_{fa} \times C_{frakció} \times (44/12)) - E_{bázis} - E_{életciklus}$$

ahol:

M_{fa} : beépített fa tömege (tonna)

$C_{frakció}$: széntartalom frakció

44/12: átváltási tényező (C → CO₂)

$E_{bázis}$: referencia szcenárió, az a biogén szénmennyiség, amely az adott épülettípus esetében a régióban egy átlagos épületben megtalálható (tCO₂)

$E_{életciklus}$: életciklus összes kibocsátása a bázis szcenárióhoz viszonyítva (tCO₂)

A fa beépítésére irányuló projektek tanúsíthatóságának több feltétele van. Először is, csak azok a projektek tanúsíthatók, amelyek hosszú távú tárolást biztosítanak, azaz a szén-dioxid legalább 35 évig stabilan megkötvé marad a beépített faanyagban. Ez jellemzően az épületszerkezeti elemekben és a szigetelőanyagokban történő tárolást jelentheti, mivel a monitoring 35 éven keresztül csak ebben az esetben biztosítható. A projekt tulajdonosa és a monitoring kötelezettje minden esetben az épület tulajdonosa.

A projekt időtartam meghosszabbítható, ha az üzemeltető vállalja a szénmegkötés fenntartását a továbbiakban is. Fontos, hogy a projekt többlet klímahasznót biztosítson a szokásos gyakorlathoz képest; azaz olyan innovatív faanyaghasználatot valósítson meg, amely magasabb szénmegkötést vagy hosszabb élettartamot eredményez. Ezen kívül nem elegendő önmagában a szénmegkötés; a projektnek járulékos környezeti előnyöket is kell biztosítania, például a biológiai sokféleség, a talajegészség, a vízgazdálkodás, a körforgásos gazdaság fejlesztése vagy a szennyezéscsökkentés terén.

A fenntarthatóság biztosítása érdekében a beépített faanyagnak fenntartható forrásból kell származnia. A projektek során előnyben kell részesíteni azokat a fafajokat és gazdálkodási módszereket, amelyek illeszkednek a természetes erdőszerkezethez, támogatják az ökoszisztéma-szolgáltatások fenntartását, és nem veszélyeztetik a helyi közösségek érdekeit. A tanúsítás során biztosítani kell, hogy a projektek ne járjanak spekulatív földszerzéssel vagy a helyi lakosság hátrányos helyzetbe hozásával, és tiszteltetben kell tartani a helyi közösségek jogait.

A tanúsítási rendszer részeként minden projektet független, külső tanúsító szervezetek ellenőriznek. A tanúsítást a projekt megkezdése előtt el kell végezni, majd legalább öt évente meg kell ismételni. Ezek az auditok kiterjednek a minőségi kritériumok teljesítésére, és a széntárolás fennmaradásának ellenőrzésére. A modern digitális technológiák, mint például a távérzékelés, a mesterséges intelligencia és az elektronikus adatbázisok is alkalmazhatók az ellenőrzések során, hogy biztosítsák az átlátható, pontos és hatékony nyomonkövetést.

Az elszámolási és jelentéstételi követelmények értelmében az üzemeltetőknek rendszeres jelentést kell készíteniük a projekthez kapcsolódó fenntarthatósági előnyökről, különösen, ha azok meghaladják a minimum fenntarthatósági elvárásokat. Az ilyen további előnyök a kreditek piaci értékét is növelhetik.

A CRCF-rendelet tehát elismeri, hogy a fa tartós beépítése révén jelentős szén-dioxid-tárolási kapacitás érhető el az építőiparban, ezért az EU Bizottság különös figyelmet fordít az építési fatermékek fejlesztésére és tanúsítására, ösztönözve ezzel a szén-dioxid-eltávolítási célkitűzések minél hatékonyabb teljesítését az Unió területén.

14.4.2 BIOGÉN VAGY FOSSZILIS ALAPÚ SZERKEZETI ANYAGOK ALKALMAZÁSA EGY HATEMELETES EGYETEMI ÉPÜLETBEN – KARBONKREDIT SZÁMÍTÁS A CRCF-RENDELET SZABÁLYAI SZERINT

A továbbiakban egy teljes épületre közlünk egy CRCF-rendelet szabályait alapul vevő mintaszámítást. Ehhez egy fából épített egyetemi épület példáját vesszük alapul. A számításban megvizsgáljuk a faépületben megvalósuló széntárolás-többlet értékét és kiszámítjuk, hogy ennek alapján milyen nagyságrendű karbonkredit-bevétel lenne realizálható a projekt CRCF-rendelet szerinti tanúsítása útján.

A mintaszámítást John et al. (2009) tanulmánya alapján végeztük. Egy hatszintes, körülbelül 4247 m² bruttó alapterületű (3536 m² nettó hasznos területű) épületet vizsgáltunk. Az eredeti épület a University of Canterbury (Christchurch, Új-Zéland) School of Biological Sciences számára készült

Borovics A., Csiha Cs., Király É., Suri V., Magoss E.

tudományos laboratórium volt. A vizsgálat során azonban ennek az épületnek az átdolgozott és leegyszerűsített változatát vettük alapul John et al. (2009) nyomán. Így egy általános célú egyetemi épületet kaptunk.

Az épületnek négy változatát vizsgáltuk: vasbeton, acél, LVL (Laminated Veneer Lumber, azaz rétegelt furnér tartó) és LVL-alapú ún. TimberPlus alternatívákat. Mind a négy alternatív épület ugyanarra az alaprajzi sablonra épült. Az épületek látványtervét és alaprajzát az 171. ábra – 174. ábra szemléltetik.



171. ÁBRA

Acélszerkezetű épület.



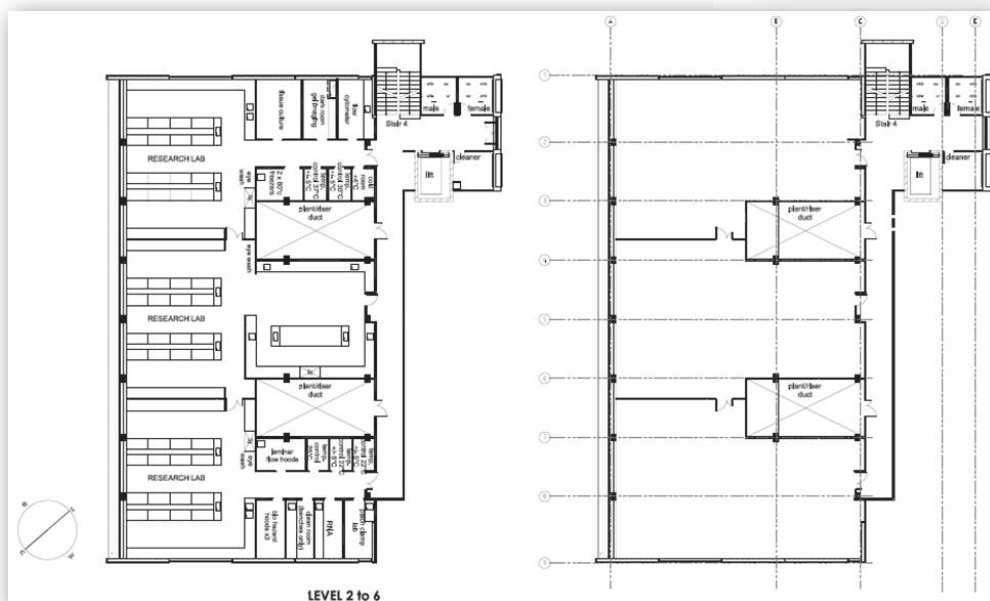
172. ÁBRA

Vasbeton épület.



173. ÁBRA

TimberPlus épület, LVL.



174. ÁBRA

Az épületek alaprajza.

(Forrás: John et al. 2009)

A vizsgálatban szereplő első épület a vasbeton épület, amely hagyományos, előregyártott vasbeton szerkezettel készült. Az oszlop-gerenda rendszert beton merevítőfalak egészítik ki, míg a födémszerkezetet üreges, előregyártott „Hollowcore” panelek alkotják, vasbeton felbetonnal kiegészítve. A falak jelentős része „Thermomass” rendszerű: külső betonréteg, belső szigetelés és belső vasbeton réteg kombinációja biztosítja a megfelelő hőtechnikai és szerkezeti tulajdonságokat. A belső válaszfalak favázás szerkezetűek, üveggypapot szigeteléssel és gipszkarton burkolattal készülnek, míg az akusztikai igényeket vakolt álmennyezettel oldják meg.

Az acélepület teljes szerkezeti rendszere acélból épül fel, melyet excentrikusan merevített acélkeretek stabilizálnak. A padlók és a tető acéllemezes „Comflor” rendszerrel készülnek, melyeken vasbeton réteg biztosítja a merevséget és szilárdságot. Az oldalfalak könnyű acélvázás szerkezetűek, szigeteléssel és acéllemezes külső borítással. Az összes válaszfal könnyű acélvázás, gipszkartonnal burkolt, belső szigeteléssel ellátott. Az épület alapozása beton, de a szerkezet könnyűsége miatt kevesebb betonmennyiséget igényel. Ugyanakkor a merevítő keretből származó felhajtóerők miatt az alapozás szükséges súlya kismértékben növekedett.

Az LVL-épület az innovatív „Laminated Veneer Lumber” technológiával készült. Az LVL egy ragasztott furnérlemez, mely korszerű, nagyszilárdságú faépitőanyag. Gyártása során vékony furnérrétegeket vágunk le a fatörzsről, majd ezeket speciális ragasztóval egymásra rétegezve préselik össze. Az így létrejövő anyag jóval teherbíróbb és mérettartóbb, mint a tömör fa, miközben megőrzi annak természetes megjelenését és melegségét. Az LVL-t elsősorban teherhordó szerkezeti elemekhez – például gerendák, oszlopok, födémtartók – használják mind családi házakban, mind nagyobb középületekben. Az ilyen termékek előnye, hogy hatékonyan hasznosítják a faanyagot, és fenntartható alternatívát kínálnak a hagyományos beton- vagy acélszerkezetekkel szemben. A vizsgált LVL-épületünk esetében az oszlopok, gerendák és falak nagy keresztmetszetű, előregyártott LVL-elemekből készülnek, amelyeket helyszíni összeszerelés során rögzítenek. A födémszerkezet LVL és rétegelt lemez kompozit, beton felbetonnal megerősítve. Az épület merevségét hosszanti irányban nyomatékálló keretek, keresztirányban pedig konzolos falak biztosítják. A falak között szerkezeti LVL-falak és könnyű favázás válaszfalak találhatóak, szigeteléssel és gipszkarton burkolattal, míg a belső terekben szintén fa vázszerkezetű válaszfalak kapnak helyet.

Végül a TimberPlus épület a fa szerkezetű LVL-épület továbbfejlesztett változata, amelyben maximálisan kihasználjuk a faanyag nyújtotta lehetőségeket. Az alumínium nyílászárók helyett fa ablakokat, az alumínium zsalugáterek helyett fa lamellákat alkalmazunk. A tető és a homlokzati burkolatok szintén faanyagból készülnek. A belső terekben is mindenhol faburkolatot és szerkezeti elemeket alkalmazunk, ahol ez lehetséges, így az épület nemcsak esztétikailag, hanem fenntarthatósági szempontból is kiemelkedő teljesítményt nyújt.

Az 25. táblázat részletesen bemutatja a négy alternatív épületben alkalmazott anyagokat és azok szükséges mennyiségeit.

Az elemzés során az anyagfelhasználás volumene, a beépített biogén szén-dioxid-tárolási kapacitás, valamint az ebből származó karbonkredit-bevételek kerültek számszerűsítésre.

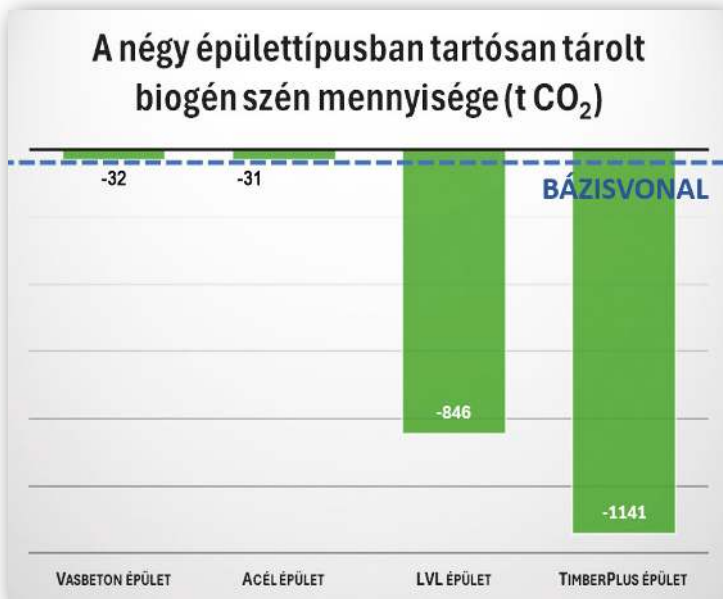
Az anyagfelhasználás tekintetében jelentős különbségek mutatkoztak az egyes szerkezeti típusok között. A vasbeton épület 4595 tonna előregyártott betont, 679 tonna magas szilárdságú betont és 114 tonna betonacélt igényel. Az acélszerkezetű épület ezzel szemben nagyságrendekkel kevesebb betont, viszont jelentős mennyiségű acélt, mintegy 342 tonna acélt tartalmaz. A faalapú szerkezetek esetében, mind az LVL, mind a TimberPlus variánsoknál, megjelent a nagy volumenű LVL-felhasználás, mely 343 tonnát tett ki mindkét esetben. A TimberPlus épület esetében ezen felül további 152 tonna fa, valamint jelentősen magasabb MDF és rétegelt lemez felhasználás is realizálódott.

25. TÁBLÁZAT

A négy vizsgált épülettípusban alkalmazott anyagmennyiségek

Anyag (tonnában)	Beton épület	Acél épület	LVL-épület	TimberPlus-épület
Beton – 17.5 MPa	61	62	53	53
Beton – 40.0 MPa	679	2,17	1316	1316
Előregyártott beton	4 595	101	N/A	N/A
Acél	23,51	343,04	9,59	9,59
Acéllemez	16,66	15,66	N/A	N/A
Betonacél (húzott acélhuzal)	114,41	24,03	19,48	19,48
Üveg	47,03	47,03	47,03	31,94
Fa	11,57	10,94	61,28	130,82
Fa ablakok és héjazat	N/A	N/A	N/A	22,8
LVL	N/A	N/A	343,94	343,94
Rétegelt lemez	4,09	4,09	54,45	64,79
MDF	2,00	2,00	2,00	70,62
Alumínium	6,63	6,63	6,63	1,06
Alumíniumlemez-keverék	27,26	27,26	27,26	N/A
Gipszkarton	38,83	56,10	43,24	N/A
Festék	0,69	0,77	1,03	1,11
Üveggyapot-szigetelés	3,30	8,34	7,93	8,42
Polisztírol-szigetelés	2,31	N/A	N/A	N/A
Szálcement	36,39	44,89	73,82	N/A

A beépített faanyag révén jelentős mennyiségű biogén szén-dioxid-tárolására nyílt lehetőség az LVL- és a TimberPlus-épületek esetében. A szén-dioxid-tárolást az IPCC (2019) fatermék-specifikus konverziós faktorainak felhasználásával számszerűsítettük. Az LVL-épületben összesen 846 tonna CO₂ került tartósan lekötésre, míg a TimberPlus változat esetében ez az érték 1141 tonnára emelkedett. A TimberPlus szerkezet esetén különösen az LVL, a faburkolatok, valamint az egyéb faforgácslap- és rétegeltlemez-felhasználás járult hozzá a magas szénmegkötési értékhez. Az egyes épületvariánsokban megkötött szén-dioxid-mennyiségeket az 175. ábra szemlélteti.

**175. ÁBRA**

A négy vizsgált épülettípusban tartósan tárolt biogén szén mennyisége és a bázisvonal értéke.

Az addicionális biogén széntárolást a faalapú épületek (LVL és TimberPlus) széntárolása és a vasbeton referenciaépület (bázis) széntárolása közötti különbségként kaptuk meg. Az addicionális széntárolás értékéből számítható ki a CRCF-tanúsítás esetében forgalmazható karbonkreditek mennyisége.

Ezen mennyiségek karbonkredittként történő értékesítéséből származó potenciális bevétel is kiszámításra került 50 EUR/tonna CO₂ önkéntes karbonpiaci árat alapul véve. A számítások eredményei szerint az LVL-épület esetén 40 695 EUR (kb. 16,4 millió HUF), míg a TimberPlus-épület esetén 55 464 EUR (kb. 22,35 millió HUF) összegű karbonkredit-érték realizálható (26. táblázat).

26. TÁBLÁZAT

Széntárolás (szén-dioxid-egyenértékben kifejezve), illetve a keletkező karbonkreditek és a karbonkredit-bevétel a vizsgált épülettípusok esetében

	Beton épület	Acél épület	LVL-épület	TimberPlus-épület	Addicionális biogén széntárolás LVL esetén	Addicionális biogén széntárolás TimberPlus esetén
tCO ₂						
Fa	-21	-20	-112	-240	-91	-219
Fa ablakok és héjazat	0	0	0	-42	0	-42
LVL	0	0	-632	-632	-632	-632

	Beton épület	Acél épület	LVL-épület	TimberPlus-épület	Adicionális biogén széntárolás LVL esetén	Adicionális biogén széntárolás TimberPlus esetén
tCO ₂						
Rétegelt lemez	-7	-7	-98	-117	-91	-110
MDF	-3	-3	-3	-111	0	-107
Összesen	-32	-31	-846	-1141	-814	-1109
Keletkező karbonkredit mennyiség (darab kredit)					814	1109
Karbonkredit bevétel (EUR)					40 695	55 464
Karbonkredit bevétel (HUF)					16 400 170	22 352 120

Tekintettel arra, hogy az acél és a vasbeton gyártása során magasabbak a társult fosszilis kibocsátások, mint az LVL gyártása során (Leskinen et al. 2018), így nem kellett korrigálnunk a számításunkat teljes életciklusra vonatkozó társult kibocsátási értékekkel. Azt azonban fontos kiemelni, hogy a fatermékek ezen termékhelyettesítési előnyét a jelenlegi szabályozás szerint nincs lehetőség az önkéntes karbonpiacon kreditté alakítani és értékesíteni.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a faalapú építési megoldások jelentős mértékben képesek hozzájárulni a hosszú távú szén-dioxid-tároláshoz. Különösen a TimberPlus változat mutatott kiemelkedő teljesítményt mind a biogén szén-dioxid-tárolás, mind a karbonkredit-potenciál tekintetében. Ez jól szemlélteti a fa tartós beépítésének lehetőségeit a fenntartható építési megoldások és a klímavédelemmel, továbbá a biogazdasággal kapcsolatos célok támogatásában.

A széntárolás épületekben (vagyis carbon storage in buildings) egyre fontosabb és aktuálisabb téma a fenntartható építészetben. A széntárolás mind az EPD-k (környezeti terméknyilatkozatok), mind a CRCF szerinti karbonkreditek rendszerének összefüggésében arról szól, hogy az épületek anyagaiban hosszú távra meg lehet kötni a szenet (azaz a CO₂-t, szén-dioxidot), ezáltal hozzájárulva a klímasemlegességi célokhoz, de az LCA (életciklus-elemzés) és a CRCF (Carbon Removal Certification Framework) – ugyanarra a jelenségre (biogén széntárolás) két egymástól eltérő módszert és számítási elvet alkalmaz.

A szén-dioxid-egyenérték számítás (CO₂ e) az építési termékek fenntarthatósági nyilatkozataiban (Environmental Product Declaration – EPD) és a CRCF (Carbon Removal Certification Framework) szerinti számításban eltérő célokat és elveket követ. Az EPD életciklus-elemzés (LCA) alapján számítja ki, hogy egy termék előállítása, használata és életciklusa során mennyi üvegházhatású gázt bocsát ki vagy köt meg (CO₂-egyenértékben kifejezve). A CRCF szerint számított karbonkreditekkel ellentétben ez nem jogosít fel kibocsátás-kompenzációra, csak tájékoztatás a termék környezeti teljesítményéről.

14.4.3. A SZÉN-DIOXID-EGYENÉRTÉK-ÉLETCIKLUS-ELEMZÉS SZEMLÉLETŰ SZÁMÍTÁSA KÖRNYEZETVÉDELMI TERMÉKNYILATKOZATOKHOZ

2025-től fokozatosan, 2027-től széles körben kötelező lesz az építési termékek fenntarthatósági minősítése, mely kötelezettség az Európai Unió új Építési termék rendeletéből (CPR – Construction Products Regulation) és a zöld átállás (Green Deal) keretrendszeréből ered, különösen az EPD-k (Environmental Product Declaration, vagyis környezeti terméknnyilatkozat) és LCA (Life Cycle Assessment vagyis életciklus-elemzés) vonatkozásában. A minősítés célja: az építési termékek egységes fenntarthatósági követelmények szerinti forgalmazása az EU-n belül.

Az új Építési termék rendelet (CPR 2.0) bevezetése jelenleg (2025. augusztus) zajlik – az EU Tanácsa és a Parlament 2024-ben politikai megállapodást ért el a végleges szövegről, várható hatálybalépés 2025 ősze (kétéves átmeneti időszakkal). A rendelet teljes körű alkalmazása 2027-től lesz kötelező sok építési termékre a fenntarthatósági teljesítmény (pl. környezetterhelés, újrahasznosíthatóság, karbonlábnyom) szerinti adatszolgáltatást illetően. A fenntarthatósági nyilatkozat alapvető közzétételi formája továbbra is az EPD, de szabványosított formában kell majd tartalmaznia:

- ◆ CO₂-lábnyomot (Global Warming Potential, vagyis GWP-t, ami a globális felmelegedési potenciál) A1–A3, C, D szakaszokra,
- ◆ újrahasznosítási arányokat,
- ◆ tartósság, javíthatóság vonatkozásában nyilatkozatot.

Az építési termékek forgalmazására vonatkozó új rendelet (CPR, Construction Products Regulation) mellékleteiben és az új harmonizált műszaki előírásokban (European Assessment Documents – EAD) lesznek megadva az új fenntarthatósági mutatók. Az EPD közzététele digitális formában (machine-readable XML/JSON) is kötelező lesz, hogy az épület BIM-modelljébe vagy LCA-szoftverekbe automatikusan beilleszthető legyen.

A Környezeti terméknnyilatkozatok esetében az életciklus-elemzés elvei szerint a szén-dioxid-egyenérték számítása során a cél a teljes életciklusra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátás (GHG-emisszió) meghatározása, általában CO₂-egyenértékben. Az emissziós tényező (emission factor) kiszámítása azt mutatja meg, hogy egységnyi anyag, energia vagy tevékenység mennyi szén-dioxid-egyenértékű üvegházhatású gázt bocsát ki az életciklusa során. Ez a tényező alapadat a termék életciklus-elemzésben és a karbonlábnyom-számításban. A számítás általában az EN 15978 szabvány alapján történik, ami az épületek környezeti teljesítményének értékelését írja le, a következő szakaszokra bontva:

- A-szakasz: termékfázis és kivitelezés
 - ◆ A1–A3: nyersanyag-kitermelés, gyárba szállítás, gyártás,
 - ◆ A4–A5: építkezés helyszínére szállítás és szerelés.
- B-szakasz: használati fázis (B1 beépítés, B2 karbantartás, B3 javítás, B4 csere, B5 felújítás, B6 energiahasználat, B7 vízhasználat).
- C-szakasz: élettartam vége (C1 bontás, C2 szállítás, C3 hulladékkezelés, C4 ártalmatlanítás).
- D-szakasz: hasznosítási potenciál (pl. újrahasznosításból származó előnyök).

A szén-dioxid-egyenérték számítása: pl. a D-szakaszban akkor jelenik meg, ha egy építőanyag a bontás után újrahasznosítható, és ezzel más anyagokat helyettesít. Ezekben az esetekben az így elkerült kibocsátások „jóváírásként” jelennek meg.

A szén-dioxid-egyenérték a teljes életciklusra vetítve leggyakrabban a faanyagok révén lehet pozitív, mivel ezek képesek szén-dioxidot tárolni a használat idejére. A teljes épületre történő számításakor a különféle szerkezeti elemek összeadódnak, és a megkötött szén-dioxid is beépül a végső egyenlegbe.

Az eddigi elemzések alapján mára már közismert, hogy a tömörfa falszerkezet, illetve a könnyűszerkezetes fa falszerkezet nettó szénmegkötőként működhet – emiatt is részesítik előnyben a fenntartható építészetben.

Szén-dioxid-egyenértéket a teljes épületre és a termékre is lehet számolni.

Szén-dioxid-egyenérték számítás egyes építési termékre/szerkezetre:

- Ez jellemző az anyaggyártókra, tervezési optimalizálásra, vagy új építőanyagok összehasonlítására.
- Ilyenkor csak az adott termék vagy szerkezeti egység (pl. falpanel, tetőgerenda) életciklusát vizsgáljuk.

Az LCA-alapú számítás főbb szempontjait a 27. táblázat tartalmazza összefoglalva.

27. TÁBLÁZAT

Az LCA-alapú számítás főbb szempontjai

Hogyan kell számolni?	Életoikus-elemzéssel (LCA), főleg az EN 15978 szerint, CO ₂ eq-ben kifejezve
Mire kell számolni?	Attól függ: épületre stratégiai szinten, termékre részletes elemzéshez
A pozitív széntárolás hol jelenik meg?	Az életoikus-elemzés D-szakaszában (újrahasznosítási előnyök, elkerült emissziók)
Adatok forrása	EPD-k, LCA-szoftverek (pl. Gabi, LCA, Tally), nemzeti adatbázisok

14.4.4. EGY FÁBÓL KÉSZÜLT KÖNNYŰSZERKEZETES FALSZERKEZET CO₂-EGYENÉRTÉK SZÁMÍTÁSA

Tegyük fel, hogy vizsgálunk egy 1 m² fából készült külső falszerkezetet, amely rétegrendben tartalmazza az alábbi anyagokat:

28. TÁBLÁZAT

A külső falszerkezet rétegrendje

Réteg neve	Vastagsági mérete	Anyagfajta
Gipszkarton	12,5 mm	CaSO ₄
OSB panel	15 mm	ragasztott célforgács
Hőszigetelés	200 mm	kőzetgyapot
Fa vázszerkezet	200 mm	fenyőpalló
Páraáteresztő fólia	–	PE
Faburkolat	25 mm	fenyődeszka

A gyártási szakaszra vonatkozóan (A1-A3)

29. TÁBLÁZAT

A külső falszerkezet gyártási szakaszára vonatkozó anyagmennyiségek és emissziók/szénmegkötések

Réteg neve	Mennyiség (kg/m ²)	Emissziós tényező (kg CO ₂ e/kg)	Részösszeg (kg CO ₂ e/m ²)
Gipszkarton	10,0	0,25	2,5
OSB panel	11,0	0,22	2,42
Hőszigetelés (kőzetgyapot)	20,0	1,05	21,0
Fa vázszerkezet	25,0	-1,1 (tárolt CO ₂)	-27,5
Páraáteresztő fólia	0,5	2,0	1,0
Faburkolat (külső)	15,0	-1,1	-16,5
Összesen (A1-A3)	-	-	-17,08 kg CO₂e/m²

Tehát az A1-A3 szakaszra **-17,08 kg CO₂e/m²** a szén-dioxid-egyenérték négyzetméterenként, a gyártás szaldója negatív, mivel a faanyagban jelentős szén-dioxid van elraktározva („carbon storage”).

Az emissziós tényező számításához az adatok a Circular Ecology (<https://circularecology.com>) adatbázisból származnak. Jelenleg a DG-Grown belül egyeztetések folynak arról, hogy melyik szoftver szerinti számítások fogadhatók el a rövidesen kötelezővé váló építésiprodukciók fenntarthatósági nyilatkozathoz. Várhatóan az EC-szoftvert nem, de egységes adatszetteket bocsát rendelkezésre a 2027-től kötelezővé váló nyilatkozattételi kötelezettség teljesítése után létrejövő adatok összehasonlíthatósága érdekében.

D-szakasz (újrahasznosítás)

Tegyük fel, hogy a bontás után:

- az OSB és a vázszerkezetű faanyag energetikailag felhasználható (elégetés → hőtermelés), és ezzel fosszilis tüzelőanyagot helyettesít.

Kalkulált szén-dioxid-egyenérték:

- fa újrahasznosítása: **~1,0 kg CO₂e/m²**,
- OSB elégetése haszonnal: **~0,8 kg CO₂e/m²**.

D-szakasz összes elkerült kibocsátás: ~1,8 kg CO₂e/m² (jóváírásként)

Összesített CO₂-egyenérték (fából készült könnyűszerkezetes falszerkezetekre, mint építési termékre, m²-re vetítve):

A1-A3 szakasz szén-dioxid- egyenérték: **-17,84 kg CO₂e/m²**

D-szakasz szén-dioxid-egyenérték: **-1,8 kg CO₂e/m²**

Összesen a jövőrható nettó szén-dioxid-megkötés és kibocsátás elkerülés (CO₂-egyenérték):

$$- 17,84 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 - 1,8 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 = -18,88 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$$

Egy átlagos, 100 m² alapterületű családi ház falfelületével és 3 méteres falszerkezet magassággal (2,8 m belmagasság + 0,2 m földémvastagság) számolva, az 50 m × 3 m = 150 m²-nyi hasonló szerkezetű külső határoló falakra számolt nettó szén-dioxid-megkötés és kibocsátás elkerülés 150 m² × (-18,88 kg CO₂e/m²) = -2832 kg CO₂e.

Vagyis az épület külső falazata 2,832 tonna CO₂-tárolást valósít meg.

Az emissziós tényező számítása az adott anyag vagy tevékenység **teljes életciklusán** alapul (általában az A1–A3 szakaszra) és a következő paraméterek figyelembevételével történik:

- **A1:** nyersanyag-kitermelés
- **A2:** szállítás a gyártóhoz
- **A3:** gyártási folyamat

Ez adja a termék **beágyazott karbonlábnyomát** (*embodied carbon*).

A számítás során a következő adatok és lépések szükségesek:

a) Anyagmennyiség/alapanyag

- Pl. 1 kg beton, 1 m² OSB-lap, 1 MJ földgáz stb.

b) Energiafelhasználás és nyersanyagok a gyártásban

- Mekkora a gyártási energiaigény (kWh/kg)?
- Milyen fosszilis forrást használnak (pl. földgáz, szén)?

c) Szállítási távolság és mód

- Teherautó, hajó, vasút? Hány km?

d) Folyamatemissziók

- Kémiai reakciók során felszabaduló CO₂ (pl. cement égetése → kalcinálás).
- Égetés (pl. acél, téglagyártása).

e) ÜHG-k (felszabaduló üvegházhatású gázok) konvertálása CO₂e-re

Mivel többféle ÜHG létezik – pl. metán (CH₄), dinitrogén-oxid (N₂O), fluorozott gázok (HFC-k, SF₆) – ezek eltérő mértékben járulnak hozzá a globális felmelegedéshez, ezért az összehasonlíthatóság érdekében minden gázt átszámítunk CO₂-egyenértékre, a globális felmelegedési potenciál alapján. Azaz:

$$\text{Tömeg (kg)} \times \text{GWP érték (100 évre)} = \text{CO}_2\text{e(kg)}$$

A **GWP₁₀₀** (Global Warming Potential over 100 years) értékét – azaz, hogy egy adott üvegházhatású gáz milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez a szén-dioxidhoz viszonyítva 100 év alatt – hivatalosan az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) értékelő jelentéseiből veszik a különféle LCA-szoftverek a számolásakor, automatikusan. 2007-ben készült az IPCC AR4-es jelentése, 2014-ben az AR5 és 2023-ban az AR6, amelyek egyazon ÜHG-re különböző értékeket adnak meg. Sok régebbi LCA-számítás, szabályozás és szoftver még mindig az AR4 GWP-értékeit használja, a Kiotói Jegyzőkönyv és több ENSZ-dokumentum is az AR4-re épült. De az újabb szabványok (pl. EN 15804+A2, ISO 14067:2018) már AR5 vagy AR6 adatait követik.

A környezeti terméknnyilatkozatokban (EPD, Environmental Product Declaration) a termékszaszra (A1–A3) kötelező megadni az ÜHG-kibocsátást, ezzel szemben az életciklus-elemzés (LCA) az üvegházhatású gázok kibocsátását minden **életciklus-szakaszra** elkülönítetten számolja, majd ezeket összesíti, az **EN 15804** szabvány szerint: $A + B + C + D$.

Stratégiai tervezés során, beruházói döntéshozatal, fenntarthatósági minősítések esetén mindig a teljes épületre számítunk. Ebben az esetben az LCA-szemlélet szerint összeadjuk az összes beépített építőanyag (A1–A3), szerelés (A4–A5), üzemeltetés (B1–B7), bontás (C1–C4) és újrahasznosítás (D) szénlábnymát.

14.4.5. KÖVETKEZTETÉSEK: A TARTÓS FAÉPÜLETEK FENNTARTHATÓ ÉS GAZDASÁGOS KLÍMAVÉDELMI BERUHÁZÁSOK

Az építőiparban megvalósuló, faalapú tartós széntárolási projektek a CRCF-rendelet keretében új és ígéretes lehetőséget kínálnak a klímavédelem támogatására. A vizsgált esettanulmány egyértelműen rávilágít arra, hogy a biogén anyagok – különösen a fa – alkalmazása nemcsak környezeti szempontból előnyös, hanem gazdaságilag is megtérülő megoldás lehet a karbonkereskedelem tükrében. A TimberPlus-épület példája azt mutatta, hogy a fában kiemelten gazdag szerkezeti kialakítások révén akár 1100 tonnát is meghaladó CO_2 -tárolás valósítható meg egy egyetemi épületben, ami több mint 22 millió forint potenciális kvótabevételt jelenthet.

A CRCF-rendeletben rögzített szigorú tanúsítási követelmények biztosítják, hogy csak a valóban hosszú távú, fenntartható széntárolást megvalósító projektek részesülhetnek karbonkredit-bevétélből. Ez jelentős előrelépést jelent a szén-dioxid-eltávolítás hitelességének és nyomon követhetőségének terén, miközben ösztönzi az építési szektor dekarbonizációját. A bázisértéken felüli széntárolás, az életciklus-hatásvizsgálat és a fenntarthatósági szempontok együttes figyelembevétele révén a faépületek versenyképes alternatívát nyújtanak a fosszilis alapú szerkezetekkel szemben.

Különösen fontos megemlíteni, hogy a fa tartós beépítése nem csupán szénmegkötési potenciállal bír, hanem számos egyéb társadalmi és ökológiai előnyt is hordoz. Ilyenek többek között a helyi gazdaság élénkítése, a természetes építőanyagok iránti kereslet növelése, a körforgásos gazdaság erősítése és a CO_2 -lábnym csökkentése az építkezések során.

A hazai fenntartható erdőgazdálkodásból származó lombos faanyagok építőipari felhasználásának jelentőségét az is mutatja, hogy jelenleg a hazai építőipari tömörfa és rétegelt-ragasztott faanyag-felhasználás túlnyomó többsége fenyőalapú importból származik. Skinner és társai 2024-es kutatási jelentése szerint a szállításhoz kapcsolódó szénkibocsátás a tömörfa esetén a legmagasabb:

- ◆ tömörfánál: 35–37%,
- ◆ betonnál: 4%,
- ◆ acélnál: 2%.

Az anyagválasztásokat más anyagokkal összevetve, valamint az energia- és vízhasználatot is figyelembe kell venni. A bioalapú szigetelés növelheti a széntárolást, javíthatja az életminőséget, és csökkentheti az energiafogyasztást, ezért is nagyon fontos a faalapú szigetelőanyagok alkalmazása és további kutatása a tűzvédelmi előírások függvényében.

Az épületek teljes életciklusú szén-dioxid-kibocsátásának gyakorlatban alkalmazható mérési módszerére egyre több módszert publikálnak. Így a 2025-ben megjelent *Research Report of Measuring Mass Timber* kutatási jelentés egy olyan módszertant mutat be, amellyel a tömörfa épületek teljes

életciklusra vetített szén-dioxid-kibocsátása mellett az életminőségre gyakorolt hatása is mérhető, méghozzá észszerű költségek mellett, és olyan módon, ami könnyen megismételhető és skálázható.

Összességében elmondható, hogy a fa tartós beépítésére irányuló projektek a CRCF-rendelet által kijelölt úton haladva képesek valódi klímavédelmi hatást elérni, miközben piaci alapú bevételi lehetőséget is biztosítanak a beruházók és üzemeltetők számára. A megfelelő szabályozási háttér, a technológiai fejlesztések és a társadalmi elfogadottság együttesen teremthetik meg annak feltételeit, hogy ezek a projektek a jövőben meghatározó szereplőivé váljanak a szén-dioxid-eltávolítás és -tárolás európai gyakorlatának.

A Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karán több olyan kutatás is folyik, amelyek a hazai alulhasznosított lombos faállomány zéróhulladék-technológiával való feldolgozását célozzák építési terméké (tartószerkezetek, hőszigetelő panelek, előregyártott falpanelek stb.).

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

14. FEJEZET: ÖNKÉNTES KARBONPIACI PROJEKTTÍPUSOK AZ ERDÉSZETI SZÉKTORBAN

Az erdészetben lehetőség nyílik arra, hogy különböző típusú önkéntes karbonpiaci projektekkel járuljanak hozzá a klímavédelemhez és a szén-dioxid-kvótakereskedelemben. A fejezet négy projektkategóriát mutat be, különös tekintettel a CRCF-rendelet új uniós szabályozására.

Elsőként az erdőtelepítési projektek kerülnek bemutatásra, amelyek új erdőállományok létrehozásával valósítanak meg hosszú távú szénmegkötést. A szakszerűen kivitelezett telepítések nemcsak klímavédelmi hasznot hoznak, hanem a karbonpiacon bevételi forrást is jelenthetnek.

A javított, klímabarát erdőgazdálkodási projektek (*Improved Forest Management*) célja a meglévő erdők kezelési gyakorlatának optimalizálása a szénmegkötés maximalizálása és a kibocsátások minimalizálása érdekében. Ezek a projektek már meglévő erdőterületeken fejtenek ki pozitív hatást, anélkül, hogy új területeket kellene bevonni.

Az agrárerdészeti projektek szerepe is fontos, hiszen ezek révén lehetőség nyílik mezőgazdasági területek esetében is a karbonpozitív megoldások alkalmazására, ráadásul megfelelő tervezéssel és végrehajtással jelentős karbonkredit-bevételek érhetőek el.

Végül a fa tartós beépítését célzó projektek – melyeknek célterülete az épületekben megvalósuló széntárolás – olyan megoldásokat kínálnak, ahol a faanyag szénraktározását hosszú időn keresztül fenn lehet tartani. Ezek a projektek különösen előnyösek a termékhelyettesítés és az anyagciklus optimalizálása szempontjából.

Összességében a fejezet gyakorlati üzenete, hogy a hazai erdőalapú széktornak komoly lehetősége van a karbonpiacon való részvételre, ha megfelelő típusú, jól tervezett és tanúsítható projekteket valósít meg az erdőtelepítés, a klímabarát erdőgazdálkodás, valamint az agrárerdészet és a faépítészet területén. Ez nemcsak a klímacélokot szolgálja, hanem új jövedelmi forrást is nyithat az ágazat számára.




AZ ERDŐK SZÁMOS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁST NYÚJTANAK

Az erdők ellátó, szabályozó, támogató és kulturális szolgáltatásai közül egyre nagyobb figyelmet kap a szén tárolása és megkötése, kiemelkedő klímavédelmi szerepe és jelentős karbonpiaci értéke miatt.

Fotó és szöveg: Borovics Attila





AZ ERDŐK ÁLTAL BIZTOSÍTOTT KLÍMAMITIGÁCIÓS SZOLGÁLTATÁSOK HATALMAS ÉRTÉKET KÉPVISELNEK

Az erdőgazdálkodás tehát nem csupán faanyag-termelőként, hanem szénmegkötési szolgáltatóként is értelmezhető. A jövő kulskérdése az lesz, hogy ezt a szerepet hogyan tudjuk pénzügyi szempontból is elismerni és kompenzálni – például karbonpiaci bevételek, támogatások vagy ösztönzőrendszerek révén. Ez nemcsak a klímacélok elérését segítheti, hanem az erdők hosszú távú fenntarthatóságát is megalapozhatja.

Fotó és szöveg: Borovics Attila



SZÉNTÁROLÁS ERDŐTALAJBAN

Gyakran alulértékelik az erdők talajában tárolt szén mennyiségét, mert nem látható, nehezen mérhető, de a jelentősége egyre nyilvánvalóbb a klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésekor.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

**AZ ERDŐK
KLÍMAMITIGÁCIÓS
ÖKOSZISZTÉMA-
SZOLGÁLTATÁSAINAK
GAZDASÁGI ÉRTÉKELÉSE**

15.

AZ ÖKOSZISZTÉMA-

szolgáltatások olyan előnyöket jelentenek, amelyeket az emberek a természetes ökoszisztémák működéséből nyernek, beleértve a kézzelfogható javakat – például a fát és az erdei gombákat –, valamint a kevésbé nyilvánvaló, de alapvető funkciókat, mint az éghajlatszabályozás, a beporzás vagy az esztétikai élmény. A Millenniumi Ökoszisztéma Értékelés (MEA, 2005) az ökoszisztéma-szolgáltatásokat négy fő kategóriába sorolja, ezek az ellátó-, a szabályozó-, a kulturális- és a támogató szolgáltatások (176. ábra). Az erdők multifunkcionális ökoszisztémák, amelyek olyan széles körű szolgáltatásokat biztosítanak, mint például az iparifa és a bioenergia, a szén-dioxid (CO₂) megkötése és tárolása, az árvizek elleni védelem, a talaj védelme, valamint a rekreációs lehetőségek, illetve az élőhely- és biodiverzitás-védelmi szolgáltatások (Costanza et al., 1997; Chiabai et al., 2011; Groot et al., 2010; Ding et al., 2016).



176. ÁBRA

Az erdők ökoszisztéma-szolgáltatásainak típusai.

Annak ellenére, hogy ezek a szolgáltatások alapvető fontosságúak az emberi jólét és a bolygó stabilitása szempontjából, jelentős részük kívül esik a hagyományos piaci mechanizmusokon. Egyes esetekben ennek oka lehet, hogy szabadon hozzáférhető és bőséggel rendelkezésre álló közjavakról van szó, vagy pedig az, hogy elérhetőségüket és igénybevételük mértékét jogi és nem piaci eszközökkel szabályozzák. Ez alapvető kihívást jelent gazdasági értékelésük során, mivel az ökoszisztéma-szolgáltatások pénzértékének meghatározásához – piac hiányában – nem állnak rendelkezésre árak. Pénzbeli értékük becslésére elterjedt módszerek a feltételes értékelés, a választási kísérletek, a helyettesítési költség, az elkerült kár költsége, a piaci árképzés és a haszonátvitel (Farber et al., 2002; Bateman et al., 2011; Pascual et al., 2010). Ezen belül az erdők szénmegkötési és -tárolási szolgáltatásainak pénzügyi értékelése különösen előrehaladott, mivel szorosan kapcsolódik a globális klímapolitikákhoz és a karbonpiacokhoz (Griscom et al., 2017; Häyhä et al., 2015).

A szén-dioxid-megkötése során az erdők elnyelik a légköri CO₂-t, és a biomasszában, a talajban, illetve a faanyagban tárolják. E folyamat egyedülálló abban a tekintetben, hogy közvetlenül összekapcsolható a kibocsátás-csökkentési célokkal, és karbonkreditként értékesíthető az önkéntes vagy a megfelelési karbonpiacokon (Peters-Stanley és Yin, 2013; Stern, 2007). Jelentős különbségek tapasztalhatóak azonban abban, hogyan értékelik a szénmegkötést és a hosszú távú széntárolást, különösen azokban az esetekben, amikor az adott terület vagy készlet nem jogosult jóváírásra a működő szén-dioxid-piacokon. A megfelelési piacok – például az Európai Unió Kibocsátáskereskedelmi Rendszere (EU ETS) – szigorú szabályok mentén működnek, és ellenőrzött kibocsátás-csökkentést követelnek meg. Ugyanakkor a földhasználatból, földhasználat-változásból és erdőgazdálkodásból (LULUCF) származó szénmegkötés jelenleg nem szerepel az EU ETS-rendszerében, így ezekhez a nyelőkhoz nem rendelhető hivatalos piaci ár. Ezzel szemben az önkéntes karbonpiacok (VCM) nagyobb rugalmasságot kínálnak, és gyakran alkalmazzák a természetalapú megoldásokat, például az erdőtelepítést vagy a klímabarát erdőgazdálkodást (Donofrio et al., 2019).

Az ökoszisztéma-alapú szénmegkötés pénzügyi ösztönzése felértékelődött a globális klíma-egyezmények (pl. Párizsi Egyezmény) és a regionális kezdeményezések (pl. EU Zöld megállapodás, LULUCF-rendelet, szén-dioxid eltávolítási és karbonszén-dioxid-kezelési tanúsítási keretrendszer – CRCF, EU/2024/3012) fényében. Ezek a keretrendszerek nemcsak a nettó nulla kibocsátási célokat támogatják, hanem a fenntartható természeti tőkére épülő bioökonómia fejlődését is elősegítik. Az EU körforgásos bioökonómiai stratégiáján belül egyre hangsúlyosabb szerepet kap a fatermékekben (HWP) tartósan tárolt szén, amely egyaránt hozzájárul a kibocsátás-csökkentéshez és a klímabarát anyaghasználathoz (Verkerk et al., 2020; Camia et al., 2018).

15.1 A HAZAI ERDEI ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK GAZDASÁGI ÉRTÉKELÉSÉNEK EDDIGI EREDMÉNYEI

Magyarország az elmúlt években jelentős előrelépést tett az erdei ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésében több átfogó nemzeti tanulmány révén. Ezek közül kiemelkedik a nemzeti ökoszisztéma-szolgáltatás-térképezés és értékelés (NÖSZTÉP) projekt, amely módszertani alapot dolgozott ki a szénmegkötés, a széntárolás, az árvízszabályozás, a rekreáció és a földhasználati változások hatásainak értékelésére. A Szerényi és Széchy (2020) által jegyzett tanulmány az elkerült károk költsége, a mérséklési költség és a haszonátvitel módszertani megközelítéseit alkalmazta a klímavédelmi szolgáltatások értékének meghatározására, hektárra normalizáltan, valamint országos szinten egyaránt.

Eredményeik azt mutatják, hogy a magyarországi erdőtalajok lényegesen több szenet tárolnak, mint a biomassza: becslésük szerint előbbiben körülbelül 1,62 gigatonna, utóbbiban pedig 0,45 gigatonna CO₂ található, amely összesen 121,7 milliárd euró (48 665 milliárd forint) értékű készletet jelent a talaj esetében. Ezzel szemben az erdei biomassza széntárolásának értékét 33,8 milliárd euróra (13 513 milliárd forintra) teszik. Az éves szénmegkötés általuk becsült értéke 525 millió euró (210 milliárd forint). A rekreációs szolgáltatások értékét – elsősorban a gyalogos turizmushoz kapcsolódóan – 75–125 millió euróra (30–50 milliárd forintra) becsülik évente. Az árvízszabályozási potenciál, amelyet a Zala vízgyűjtőjén végzett hidrológiai modellezés alapján állapítottak meg, országos szintre felskálázva akár 90 millió euróra (36 milliárd forintra) is becsülhető a tanulmányuk szerint.

A közelmúltban Széchy és Szerényi (2023) frissített országos szintű pénzügyi értékelést készített a hazai erdők rekreációs szolgáltatásairól. Tanulmányukban kombinálták a helyszínspecifikus utazásiköltség-módszert (a Pilisi Bioszféra-rezervátum esetében) és a haszonátviteli technikát az országos becslésekhez. Eredményeik szerint a magyarországi erdőkben történő túrázás és séta évi 52,4–161 millió euró közötti gazdasági értéket képvisel, amelynek középértéke 101,7 millió euró évente. Ez azt mutatja, hogy a rekreációs szolgáltatás jelentős részét képezi az erdők által nyújtott nem-piaci előnyöknek, és akár a magyar erdők éves faanyagtermeléséből származó bevételek 20%-ával is egyenértékű lehet.

A 30. táblázat a fent említett magyar tanulmányokban szereplő főbb ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékeit foglalja össze.

30. TÁBLÁZAT

Az erdei ökoszisztémák legfontosabb szolgáltatásainak pénzügyi értékelése Magyarországon. (Forrás: Szerényi és Széchy 2021, Széchy és Szerényi 2023)

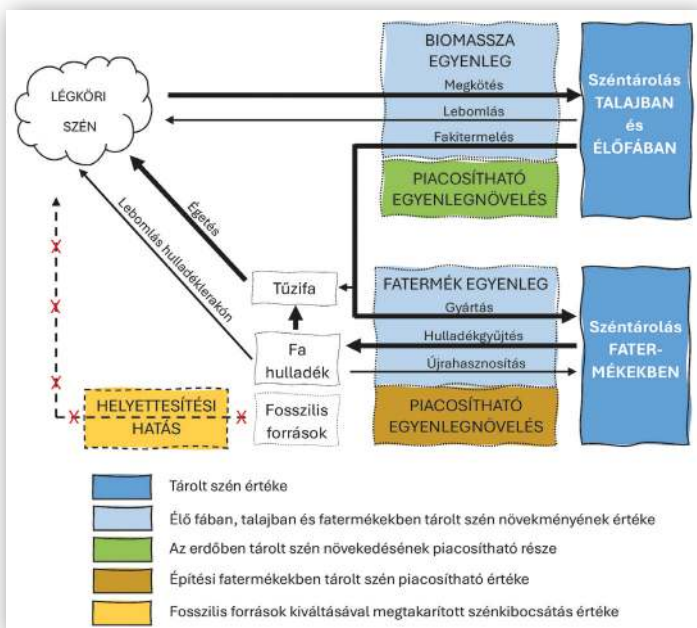
Ökoszisztéma-szolgáltatás	Becsült érték (EUR)	Becsült érték (HUF)	Értékelési alap	Forrás
Szén-dioxid megkötés (éves nettó nyelés)	525 millió EUR/év	210 milliárd Ft/év	magyar ÜHG-leltár: 3,82 tCO ₂ /ha/év, 30 000 Ft/tCO ₂ ár mellett	Szerényi és Széchy (2021)
Az erdei biomassza szén-dioxid-tárolása (teljes készlet)	33,8 milliárd EUR	13 513 milliárd Ft	az erdők teljes élőfakészletének szénkészlete 30 000 Ft/tCO ₂ áron	Szerényi és Széchy (2021)
Az erdőtalajok szén-dioxid-tárolása (teljes készlet)	121,7 milliárd EUR	48 665 milliárd Ft	a talaj szénkészlete 47 élőhelytípusban 30 000 Ft/tCO ₂ ár mellett	Szerényi és Széchy (2021)
Rekreáció a Pilisi Bioszféra-rezervátumban	9,25–11,56 millió EUR/év	3,7–4,6 milliárd Ft/év	utazásiköltség-módszer (félnapos és egész napos látogatások)	Széchy és Szerényi (2023)
Rekreáció, országos becslés	101,7 millió EUR/év	40,7 milliárd Ft/év	haszonátruházás, 45 millió látogatás × 2,26 EUR/látogatás	Széchy és Szerényi (2023)
Árvízszabályozás/vízviisszatartás	Legfeljebb 90 millió EUR/év	36 milliárd Ft/év	az árvízkarok elkerülhető költségei	Szerényi és Széchy (2021)

15.2 AZ ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK ÉRTÉKELÉSÉNEK CÉLJA ÉS ELEMEI

Jelen fejezet célja a magyarországi erdők szén-dioxid-megkötési és -tárolási szolgáltatásainak pénzügyi értékelése négy egymást kiegészítő értékelési koncepció mentén:

- (1) a teljes tárolási érték: az erdei biomasszában, a talajban és a fatermékekben tárolt szén értéke,
- (2) a megkötési érték: a biomasszában és a fatermékekben tárolt szén éves növekményének értéke,
- (3) az elkerült kibocsátások értéke: az egyutas kibocsátással járó fosszilis források megtakarításával elkerült CO₂-kibocsátás értéke, amelyet a biomasszából készülő termékekkel, valamint a biomassza és a fatermékek életciklusvégi energetikai használata által érünk el, továbbá
- (4) a piacosítható érték: az önkéntes karbonpiaci projektek keretében tanúsítható és forgalmazható szén-dioxid értéke.

A fenti koncepciók viszonyát az 177. ábra szemlélteti. Az erdők klímaszabályozási szolgáltatásainak értékelése során széntárolóként vesszük figyelembe az erdei talajt, az erdei biomasszát (élőfakészletet) és a használatban lévő fatermékeket. Az erdei ökoszisztémákban a fotoszintézis által megkötött és a lebomlás útján felszabaduló szén egyenlege növelheti, illetve csökkentheti az élőfakészletben tárolt szén mennyiségét. Ezt a természetes folyamatot módosítja a fakitermelés, amely az élőfakészletet, és ezzel együtt a benne tárolt szénkészletet csökkenti.



177. ÁBRA

A magyarországi erdők szén-dioxid-megkötési és -tárolási szolgáltatásainak pénzügyi értékelése során alkalmazott koncepciók viszonya.

A fakitermelésekkel nyert faanyag beépítése és termékként történő, hosszabb-rövidebb ideig tartó használata hozzájárul a fatermékekben tárolt szén növeléséhez, míg azok elhasználódása és kivonása a használatból csökkenést eredményez. Az erdőkből kitermelt faanyag egy része energetikai célokra hasznosítható. A biomassa energetikai hasznosítása és a fatermékek készítése ahhoz is hozzájárul, hogy helyettük ne fosszilis forrásokat kelljen használni, amelyekből a szénkibocsátás egyirányú és végleges lenne. Mind az élőfakészlet növelésére, mind a biomassa fatermékekbe építésére fennállnak olyan lehetőségek, amelyeknek a széntárolás-növelési hatását értékesíteni lehet. Ezek egy részét jelenleg is alkalmazzuk, tehát hozzájárulnak a széntárolás folyamatához, a jövőben azonban ezek pénzügyi értékesítésére is lehetőség nyílik, illetve új eljárások alkalmazása is elképzelhető.

15.3 AZ ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

Fejezetünkben integrált gazdasági értékelési megközelítést alkalmazunk a magyarországi erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak számszerűsítésére, négy egymást kiegészítő értékelési koncepció mentén: (1) teljes tárolási érték, (2) szénmegkötési érték, (3) elkerült kibocsátások értéke, (4) piacosítható érték. Mindegyik értékelési szempont a szénhez kapcsolódó ökoszisztéma-szolgáltatások eltérő aspektusait képviseli, különböző szakpolitikai és gazdasági keretek között – a hipotetikus megfelelési költségektől egészen a lehetséges piaci bevételekig.

Az elemzés az Országos Erdőállomány Adattár (OEA), a nemzeti üvegházhatásúgáz-leltár (ÜHG-leltár; NIR, 2023), valamint Borovics és munkatársai (2024) és Illés és munkatársai (2025) adatain alapul.

Az elemzések során figyelembe vett széntárolókban a szén (C) jellemzően szerves vegyületekben megkötött állapotban található, de a mérésére minden esetben szén-dioxid-egyenértéket használunk, amely az egyenlő szénmennyiséget tartalmazó szén-dioxid tömegét jelenti.

15.3.1 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 „klímaadósság” vagy éghajlati felelősség, amely költségként akkor realizálódna, ha a hazai erdei ökoszisztémák teljes degradációja következtében a bennük tárolt szén a légkörbe kerülne. Az értékeléshez szükséges adatokat az OEA 2021. évi statisztikai állapota szolgáltatta, a fatermékek széntartalma az 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 karbonpiacokon jellemző jelenlegi átlagos árszintnek (Borovics és Király, 2024). Ez az ár azonban alacsonyabb, mint az IPCC (2018) által meghatározott, földhasználati nyelők árnyékára, amelyet Szerényi és Széchy (2021) alkalmaztak korábbi becsléseikben.

15.3.2 SZÉNMEGKÖTÉSI ÉRTÉK

A szénmegkötési érték a magyarországi erdők éves nettó szén-dioxid-elnyelését, valamint a fatermékekben tárolt szén éves növekményét tükrözi. Ez az éghajlati felelősségi költség abban az esetben jelentkezne, ha az erdők szénelnyelő funkciója megszűnne, azaz a nettó megkötés nullára csökkenne. Ebben az esetben az ENSZ és az EU joganyagban vállalt vagy előírt célértékek nem-teljesülése miatt a megfelelési LULUCF karbonpiacokon debitek jelentkeznének. Ezek számszerűsítése teljes egészében az ÜHG-leltár (NIR 2023) hivatalos adataira épül, amely minden 1985-2021 közötti évre becsléseket közöl a LULUCF-szektor, és azon belül az erdők nettó nyeléséről. Az éves CO₂-elnyelést szintén az önkéntes karbonpiacon jellemző 50 EUR/tonna CO₂ árfolyammal értékeljük, amelyet itt olyan szakpolitikai költségként értelmezünk, amely a LULUCF megfelelési keretrendszerben a nyelőkapacitás fenntartását célozza.

15.3.3 ELKERÜLT KIBOCSÁTÁS ÉRTÉKE

Az elkerült kibocsátás értéke a faalapú termékek és energiaforrások helyettesítési hatásainak értékét számszerűsíti, amely az egyutas és nagyobb CO₂-kibocsátással jellemezhető fosszilis alternatívák kiváltása révén valósul meg. Ez a becslés azt méri, hogy mekkora kibocsátás keletkezne az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerének (ETS) hatálya alá eső ágazatokban abban az esetben, ha megszűnne az ipari- és tűzifa hazai előállítása, 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) szolgáltatották, amelyek országos szinten határozzák meg a faanyag alkalmazásával elért kibocsátás-csökkentési potenciált. A pénzügyi értékelés során 100 EUR/tonna CO₂ karbonárat alkalmaztunk, amely az ETS-rendszerben jellemző átlagos kvótaár.

15.3.4 PIACOSÍTHATÓ ÉRTÉK

A piacósítható érték az erdő- és faalapú szén-dioxid projektek révén az önkéntes karbonpiacon ténylegesen realizálható bevételi lehetőséget jelenti. Ezen értékelési mód két egymást kölcsönösen kizáró projektformát vizsgál: (a) a klímabarát erdőgazdálkodási (ún. *Improved Forest Management*, IFM) projektek, amelyek a faállomány fenntartását helyezik előtérbe a fakitermelés elhalasztása révén, és (b) a fa tartós beépítésére irányuló projektek, amelyek az építőiparban alkalmazott fatermékek révén biztosítanak tartós széntárolást.

Az IFM forgatókönyvhöz az OEA-ból származó állományleíró- és erdőgazdálkodási adatokat használtuk, azokat az erdőterületeket vizsgálva, amelyek vágásos üzemmódban vannak és elérték a hazai erdészeti hatóság által kijelölt vágásérettségi kort. A jelen fejezetben vizsgált IFM típusú 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 50 EUR/tonna CO₂ karbonárral számszerűsítettük. Az EU CRCF-rendelete által előírt biodiverzitásra vonatkozó addicionalitási kritérium teljesítése érdekében a nem őshonos fajokat – nemesnyár és akác (*Robinia pseudoacacia*) – kizártuk az IFM forgatókönyvből, mivel ezek valószínűleg nem léphetnek be a karbonpiacra CRCF-tanúsított IFM-projektekben.

A fa tartós beépítésén alapuló önkéntes piaci projektek az IFM-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 (BAU) mértéket. A kitermelt fakészletet ebben az esetben tartós épületszerkezeti elemekként használják fel, amelyek évtizedeken vagy akár évszázadokon át képesek megőrizni a szén. Ez a projektípus megfelel az EU CRCF-rendelet 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 EUR/tonna CO₂ árfolyamon határoztuk meg. Ennél a projektípusnál két esetet 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 szcenárió feltételezéseivel.

Fontos megjegyezni, hogy a klímabarát erdőgazdálkodás és a tartós beépítés egyszerre nem valósítható meg ugyanazon erdőterületen, sem egyazon projektben. Az IFM-projektek célja a fakitermelés csökkentése vagy teljes elhagyása a faállomány megtartása érdekében, míg a hosszú távú beépítés éppen a kitermelt faanyag-felhasználását feltételezi. Ennek megfelelően a két megközelítés alternatív szén-dioxid-jóváírási stratégiaként értelmezhető. E fejezetben mindkettőt értékeljük a teljes magyar erdőalapú szektor szintjén annak érdekében, hogy meghatározzuk, melyik stratégiával érhető el magasabb bevétel az önkéntes karbonpiacon.


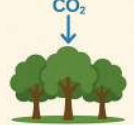





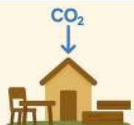
15.4 AZ ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSÉNEK EREDMÉNYEI

Eredményeink szerint a hazai erdőgazdálkodási és faipari szektor klímavédelmi ökoszisztéma-szolgáltatásainak gazdasági értéke mind a négy vizsgált értékelési kategóriában jelentős (178. ábra).

Az erdei biomasszában, a talajban és a fatermékekben tárolt szén összmenyisége számításaink szerint eléri az 1289 millió tonna CO₂-t, amelynek becsült pénzügyi értéke 64 milliárd euró (25 772 milliárd forint). Ezen belül a legnagyobb részarányt az erdőtalajok képviselik: 764 millió tonna CO₂-t tárolnak, ami 38 milliárd euró (15 289 milliárd forint) értéknek felel meg. Ezt követi az erdei biomassza 478 millió tonna CO₂-egyenértékkel, amelynek értéke 23 milliárd euró (9565 milliárd forint), valamint a fatermékek, amelyek 46 millió tonna CO₂-egyenértéket tartanak megkötvé, mintegy 2 milliárd euró (917 milliárd forint) értékben. Ez az értékelés hipotetikus felelősségi költséget tükröz, mely költségként abban az esetben jelentkezne, ha az erdei ökoszisztémák teljes degradációja során a tárolt szénkészlet egésze a légkörbe kerülne – vagyis ez az érték a magyarországi erdők hosszú távú éghajlati értékét jelképezi.

Az éves szinten megvalósuló nettó szén-dioxid-megkötés értéke szintén jelentős. 2021-ben a magyar erdők 6,7 millió tonna CO₂-t kötöttek meg, amelynek becsült pénzügyi értéke 334 millió euró (133 milliárd forint), míg a fatermékek további évi 0,9 millió tonna CO₂-vel járultak hozzá a szénmegkötéshez, melynek értéke 47 millió euróra (19 milliárd forintra) tehető. A két komponens együttesen 380 millió euró (152 milliárd forint) éves megkötési értéket képvisel. Ez azt az éghajlati költséget jelenti, amely akkor jelentkezne, ha Magyarország erdei megszűnnének nettó szénelnyelőként működni.

Borovics A., Király É., Kottek P., Illés G., Schiberna E.

 <p>Széntárolás az erdei biomasszában</p> <p>9 565 milliárd HUF</p>	 <p>Szén-dioxid megkötés az erdei biomasszában</p> <p>133 milliárd HUF</p>	 <p>Improved Forest Management projektek</p> <p>8 milliárd HUF</p>
 <p>Széntárolás az erdőtalajban</p> <p>15 289 milliárd HUF</p>	 <p>Termék- és energiahelyettesítés</p> <p>181 milliárd HUF</p>	 <p>Építési fatermékek tartós beépítésére irányuló önkéntes karbonpiaci projektek</p> <p>14 - 36 milliárd HUF</p>
 <p>Széntárolás fatermékekben</p> <p>917 milliárd HUF</p>	 <p>Szén-dioxid megkötés új fatermékekben</p> <p>19 milliárd HUF</p>	

178. ÁBRA

A hazai erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak pénzügyi értéke.

Meghatároztuk az elkerült kibocsátások értékét is, amely a faalapú termékek és energiaforrások helyettesítési hatásaihoz kapcsolódik. 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 EUR/tCO₂ ár alapján az elkerült kibocsátások pénzügyi értéke 453 millió euró évente (181 milliárd forint/év), amely alátámasztja a fa alapanyagok felhasználásának klímavédelmi jelentőségét.

A szénmegkötés piacosítható értéke két szén-dioxid-jóváírási stratégia mentén került vizsgálatra, ezek a fatermékek tartós beépítése által megvalósított hosszú távú tárolás, valamint a klímabarát erdőgazdálkodási projektek (IFM), amelyek a fakitermelés elkerülésére alapulnak. A fatermékek tartós beépítése esetén két forgatókönyvet modelleztünk. Az egyikben – az ipari választékarányok növelése, de a fakitermelési szint változatlanul tartása mellett – évente további 0,7 millió tonna CO₂ irányítható hosszú távú beépítésre az építőiparba, amely mintegy 36 millió euró (14 milliárd forint) éves karbonpiaci bevételt eredményezhet. A másik, fokozott fakitermelést és növelt ipari választékarányt feltételező forgatókönyvben ez az érték 1,8 millió tonna CO₂-re emelkedik, ami évente akár 90 millió euró (36 milliárd forint) bevételt is jelenthet az önkéntes karbonpiacon.

Ezzel szemben a klímabarát erdőgazdálkodás – amely a véghasználat teljes mellőzésén alapul – évente 0,4 millió tonna CO₂-többlet megkötését teszi lehetővé, ennek becsült pénzügyi értéke 21 millió euró/év (8 milliárd forint/év). Az értékelés eredményeit a 179. ábra foglalja össze, amely összehasonlítást nyújt a szénkészletek, az éves szénmegkötés, valamint az elkerült kibocsátások pénzügyi értéke, illetve a karbonpiaci bevételi potenciál tekintetében a vizsgált forgatókönyvek között.

	millió t CO ₂	millió EUR	milliárd HUF	
Hazai erdei biomasszában tárolt szén	478	23.913	9.565	Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha a teljes hazai erdőállomány megsemmisülne
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	6,7	334	133	Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha a hazai erdőállomány nettó éves szintű szénmegkötése nullára csökkenne
Hazai fatermékek éves szénmegkötése	0,9	47	19	
Összesen	7,6	380	152	
Hazai fatermékek termék- és energiahelyettesítési hatása	4,5	453	181	Eszmei érték: az a befizetési kötelezettség, ami akkor keletkezne, ha megszűnne a hazai fatermék- és tűzifa termelés
Tartós beépítési projektbe bevonható széntárolás				
Tartósan beépíthető fatermék (intenzifikált faipar, változatlan fakitermelés)	0,7	36	14	Becsült bevételi lehetőség: a fatermékek tartós beépítéséből keletkeztethető teljes karbonpiaci bevétel intenzifikált faipar, illetve intenzifikált faipar és megnövelt fakitermelés esetében
Tartósan beépíthető fatermék (intenzifikált faipar, növelt fakitermelés)	1,8	90	36	
Improved forest management projektbe bevonható szénmegkötés	0,4	21	8	Becsült bevételi lehetőség improved forest management projektekből, a véghasználatok teljes elhagyásával

179. ÁBRA

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

15.5 AZ ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSÉNEK KÖVETKEZTETÉSEI

Jelen fejezet négy különböző, egymást kiegészítő értékelési megközelítést alkalmazott a magyar erdők éghajlatvédelemhez kapcsolódó ökoszisztéma-szolgáltatásainak értékelésére: a teljes szénkészlet, az éves szénmegkötés, az elkerült kibocsátás pénzügyi értéke, valamint a piacosítható érték. Az eredmények jelentős mennyiségi különbségeket mutatnak ezen értékelési kategóriák között. A teljes szénkészlet, amelyet 1289 millió tonna CO₂-egyenértékre becsültünk, 64,4 milliárd euró (25 772 milliárd forint) elméleti felelősségi értéknek felel meg. Ez messze meghaladja az éves áramlásokból levezetett értékeket: 380 millió EUR/év (152 milliárd forint/év) a szénmegkötési szolgáltatás értéke, 453 millió EUR/év (181 milliárd forint/év) az elkerült kibocsátások értéke, és 21–90 millió EUR/év (8–36 milliárd forint/év) az önkéntes karbonpiacon értékesíthető szénmegkötés értéke a projektforgatókönyvtől függően. Ezek az eltérések kiemelik a készletalapú és az áramlásalapú értékelések közötti koncepcionális különbséget: az előbbi az erdei ökoszisztémákba ágyazott kumulatív éghajlati felelősséget, míg az utóbbi a folyamatban lévő mérséklési szolgáltatásokat és a potenciális bevételi forrásokat veszi alapul.

Elemzésünk egyik 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 addicionalitási kritériumok eredménye, amelyek csak olyan szén-dioxid-megkötések esetében teszik lehetővé a jóváírást, amelyek a szokásos üzleti alaphelyzethez (BAU) képest többletet jelentenek.

Fontos hangsúlyozni, hogy a jelen fejezet becslései friss és aktualizált adatokon alapulnak, amelyek tükrözik a magyarországi erdőterület bővülését, valamint a nettó szén-dioxid-megkötés növekvő trendjét, amint azt az ÜHG-leltár (NIR 2023) is dokumentálja. Ugyanakkor Szerényi és Széchy (2021) becsléseivel összehasonlítva számításunk a teljes szénkészlet- és az éves szénmegkötés-értékre vonatkozóan is némileg alacsonyabb eredményeket ad, annak ellenére, hogy a korábbinál frissebb erdőállomány-adatokkal dolgozunk, amelyek már figyelembe veszik az új erdőtelepítésekkel adódó területnövekedést. A különbség nagyrészt a szén-dioxid-árra vonatkozó feltételezéseknek tudható be: ebben a fejezetben 50 EUR/tCO₂ árat alkalmazunk, amely igazodik a közelmúlt önkéntes karbonpiaci trendjeihez (Borovics és Király, 2024), míg Szerényi és Széchy (2021) tanulmánya egy magasabb, 70–100 EUR/tCO₂ árnyékára támaszkodott, amely az IPCC (2018) értékelését vette alapul. Ebben az értelemben a mi becsléseink konzervatívabbnak tekinthetők, ugyanakkor jobban igazodnak a jelenlegi piaci helyzethez és szakpolitikai környezethez.

Értékelésünk kulcsfontosságú újítása a helyettesítési hatások különálló ökoszisztéma-szolgáltatásként történő értékelése. Becsléseink szerint a magas fosszilis energiaigényű anyagok – például beton, acél és fosszilis tüzelőanyagok – faalapú anyagokkal és bioenergiával történő helyettesítésével évente 4,5 millió tonna CO₂-kibocsátás kerülhető el, ami éves szinten mintegy 453 millió euró (181 milliárd forint) értékű klímavédelmi szolgáltatást eredményez. Ez a szolgáltatáskategória – amely a korábbi hazai ökoszisztéma-szolgáltatás értékelésekben jellemzően nem szerepelt – az erdőszeti szektor klímavédelmi hozzájárulásának jelentős hányadát képviseli, és szorosan illeszkedik a körkörös biogazdaság elveihez, valamint az Európai Unió éghajlat-politikai célkitűzéseihöz (Camia et al., 2018; Sathre és O'Connor, 2010). Ez az eredmény rávilágít az erdők és a faanyag azon közvetett, ám kulcsfontosságú szerepére, amelyet nemcsak szénelnyelőként, hanem az ipari értékláncokon belüli szén-dioxid-kiváltó tényezőként is betöltenek. Értékelésünk központi eleme a piacosítható karbonkredit-bevételi lehetőségek két, egymást kizáró kreditálási stratégia szerinti összehasonlító értékelése: (1) a klímabarát erdőgazdálkodás (IFM), amely a véghasználat felfüggesztésével az élőkészlet helyben történő megtartására és így *in situ* szénraktározásra törekszik; (2) a fatermékek tartós beépítése, amely megnövelt ipariválaszték-arányt és változatlan vagy intenzívebb fakitermelést feltételez, és az így kitermelt faanyagot tartós építőipari felhasználás révén több évtizedes vagy akár évszázados széntárolási potenciállal ruhazza fel.

Eredményeink azt mutatják, hogy a klímabarát erdőgazdálkodás országos szinten évi 21 millió euró (8 milliárd forint) karbonpiaci bevételt eredményezhet, míg a tartós beépítési forgatókönyv akár 90 millió euró (36 milliárd forint) éves bevételt is lehetővé tehet. Ez a különbség egy alapvető gazdasági és szakpolitikai dilemmára mutat rá: bár a klímabarát erdőgazdálkodási projektek elősegíthetik az ökoszisztéma rezilienciájának növelését és a biológiai sokféleség megőrzését, 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 bioökonómia 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 IFM-projektek esetében. Ennek következtében a CRCF jelenleg nem támogatja azokat az integrált megközelítéseket, amelyek az élő biomasszában és a faanyagban történő széntárolást egyaránt elismernék. 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, hogy a jövőben milyen típusú IFM-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 – ahogyan azt Borovics és munkatársai (2024) is hangsúlyozzák.

Elemzésünk további lényeges eredménye a talajszénkészlet szerepének kiemelt jelentősége: az erdőtalajok mintegy 1,6-szor annyi szenet tárolnak, mint az élőfakészlet. Ugyanakkor értékelésünkben nem tudtuk számszerűsíteni a talajszénkészlet változásainak folyamatait, illetve ezek pénzügyi értékét, mivel ehhez jelenleg még nem áll rendelkezésre elegendő adat. Ez egy jelentős hiányosság, hiszen a talaj szénkészlete növekedhet vagy csökkenhet a különféle erdőgazdálkodási beavatkozások hatására. A jövőbeli kutatásoknak prioritásként kell kezelniük a talajszén-monitoring és -modellezés fejlesztését, hogy a talaj szénforgalma is beépíthető legyen a hitelesített mérési, jelentési és ellenőrzési (MRV) rendszerekbe, mind az önkéntes, mind pedig a megfelelési karbonpiac keretei között.

15.6 AZ ERDŐALAPÚ KLÍMAMITIGÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSÉNEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Az ökoszisztéma-szolgáltatások alapvető szerepet játszanak a környezeti stabilitás fenntartásában, az emberi jólét biztosításában és a hosszú távú gazdasági fejlődés előmozdításában. Az erdők szabályozó-, ellátó- és támogató szolgáltatások széles körét nyújtják, amelyek közül a szén-dioxid-megkötése és tárolása központi jelentőségű az éghajlatváltozás mérséklésében. Jelen fejezetben a magyarországi erdők szénhez kapcsolódó ökoszisztéma-szolgáltatásainak átfogó pénzügyi értékelését valósítottuk meg négy egymást kiegészítő értékelési megközelítés alkalmazásával: a teljes szénkészlet, az éves szénmegkötés, az elkerült kibocsátások és a piacosítható karbonkreditek értékelésével. E dimenziók nagyságrendileg jelentősen eltérnek egymástól: a készletalapú érték meghaladja a 64 milliárd eurót (25 772 milliárd forint), míg az éves áramlások értékei 21 és 453 millió euró (8 és 181 milliárd forint) közé esnek. Becsléseink a legfrissebb erdőállomány- és szénelnyelési adatokon, valamint az aktuális önkéntes karbonpiaci árakon alapulnak, így pontosítják és kiegészítik a korábbi országos szintű értékeléseket.

Értékelésünk egyik kulcsfontosságú eredménye, hogy a helyettesítési hatásokat önálló ökoszisztéma-szolgáltatásként azonosítjuk, ezáltal rámutatva arra, hogy az erdők nemcsak szénraktárként és szénelnyelőként alkalmazhatók, hanem a faalapú anyagok és energiaforrások révén a fosszilis kibocsátások mérséklésében is jelentős szerepet töltenek be. A klímabarát erdőgazdálkodás és a fatermékek tartós beépítésén alapuló hosszú távú széntárolás összehasonlító elemzése azt mutatja, hogy bár az IFM-projektek ökológiai szempontból előnyösek lehetnek, a fatermékek tartós beépítése

magasabb bevételi potenciállal és nagyobb klímavédelmi haszonnal jár. Az EU CRCF-keretrendszer jelenlegi szabályozása ugyanakkor nem teszi lehetővé a fatermékekben történő széntárolás elszámolását az IFM-projektek esetében, ezáltal nem biztosít keretet a komplex, integrált klímavédelmi stratégiák együttes alkalmazásához. E szabályozási hiányosság akadályozhatja a különböző mitigációs útvonalak hatékony összehangolását, ezért indokolt a vonatkozó jogszabály felülvizsgálata és újragondolása.

Az eredményeink kiemelik az erdőtalajok szénraktározó szerepének meghatározó jelentőségét. A talajszénkészlet-változások kvantifikálását a megfelelő adatok hiánya akadályozza, ami korlátot jelent az értékelésben. A jövőbeni kutatásoknak ezért prioritásként kell kezelniük a talajszénkészletek hosszú távú megfigyelését és modellezését, hogy azok integrálhatóvá váljanak a szénelszámolási és hitelesítési rendszerekbe mind az önkéntes, mind mind a szabályozott karbonpiacokon.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

15. fejezet: Az erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak gazdasági értékelése

Ez a fejezet azt vizsgálja, hogyan számszerűsíthető az erdők által nyújtott klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értéke. A cél az, hogy olyan gazdasági értékeket rendeljünk a széntároláshoz, a szénmegkötéshez és az elkerült kibocsátásokhoz, amelyek segíthetik a politikai és gazdasági döntéshozatalt, valamint az erdők klímavédelmi szerepének elismerését.

A módszertan négy kulcsértéket különít el:

- » a teljes széntárolási érték, amely lefedi az erdei biomasszában, a talajban és a fatermékekben tárolt szén;
- » a megkötési érték, amely a légköri CO₂ éves nettó elnyelésének értékét jelöli;
- » az elkerült kibocsátások értéke, amely az anyag- és energiahelyettesítési hatások értékét jelenti; valamint
- » a piacosítható érték, amely az önkéntes karbonpiaci projektek keretében tanúsítható és forgalmazható szén-dioxid-mennyiséget jelöli.

Az eredmények azt mutatják, hogy az erdők által biztosított klímamitigációs szolgáltatások hatalmas értéket képviselnek, melynek azonban a jelenlegi szabályozás szerint csak töredéke (8–36 milliárd forint) jelenhetne meg bevételként az önkéntes karbonpiacon. Az erdőgazdálkodás tehát nem csupán faanyagtermelőként, hanem szénmegkötési szolgáltatóként is értelmezhető. A jövő kulcskérdése az lesz, hogy ezt a szerepet hogyan tudjuk pénzügyi szempontból is elismerni és kompenzálni – például karbonpiaci bevételek, támogatások vagy ösztönzőrendszerek révén. Ez nemcsak a klímacélok elérését segítheti, hanem az erdők hosszú távú fenntarthatóságát is megalapozhatja.





**A FÁT GYAKRAN VÁLASZTIK TERMÉSZETES SZÉPSÉGE,
MELEGE ÉS ESZTÉTIKAI VONZEREJE MIATT,
AMELYEK HOZZÁJÁRULNAK A FELHASZNÁLÓK JOBB KÖZÉRZETÉHEZ**

A gazdasági elemzések alátámasztják, hogy a klímabarát erdőgazdálkodás és a faipari innováció összehangolása nemcsak környezeti, hanem jelentős gazdasági előnyökkel is járhat, miközben hozzájárul az ágazat karbonpiaci szerepének erősítéséhez.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

16.

**A HAZAI ERDŐKEZELÉS
HÁROM REPRESENTATÍV
SZCENÁRIÓJÁNAK
KONCEPCIONÁLIS
GAZDASÁGI
HATÁSÉRTÉKELÉSE**

KÖNYVÜNK

11. fejezetében bemutatásra került az a három erdőkezelési modell, amelyeknek szénmegkötésre és széntárolásra gyakorolt hatása jelentősen eltér egymástól. Az extenzív gazdálkodási modell (EXT) a fahasználatok csökkentése és az emberi beavatkozások mérséklése mellett az erdők szénkészletének megőrzésére fókuszál. Az intenzív gazdálkodási modell (INT) a fakitermelési lehetőségek maximális kihasználásával és faipari innovációkkal az erdőből kitermelt faanyag szénkészletének tartós beépítésével számol, míg a harmadik modell, a szokásos ügymenet (BAU) a jelenlegi gyakorlat folytatását feltételezi (Borovics et al., 2024).

Joggal merül fel a kérdés, hogy az egyes modellek milyen gazdasági következményekkel bírnak, másként fogalmazva, azok megvalósulása milyen mértékű ráfordításokat követel, illetve mekkora gazdasági hatást gyakorol ágazati szinten.

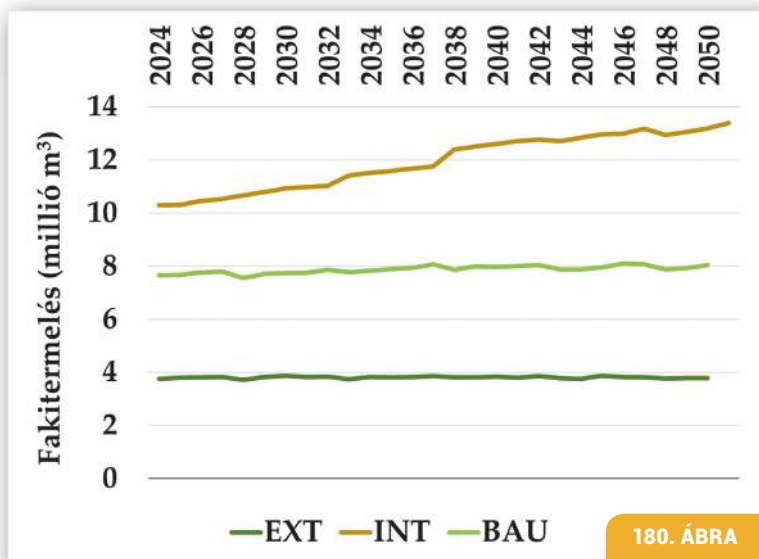
A kérdés megválaszolásához az erdőgazdálkodási és faipari ágazat öt fő területét vizsgáltuk, úgymint **fahasználatok** (1), **fafeldolgozás** (2), **erdőfelújítási tevékenység** (3), **erdőtelepítés** (4) és **karbonbevételek** (5). Az egyes területek értékelésében közös volt, hogy az elérhető legutolsó nyilvánosságra hozott adatokkal dolgoztunk, így a költségek és az egyes választékok piaci ára esetén is a 2023-ban érvényes értékeket vettük figyelembe, valamint az erdősítések létrehozási költségértéke tekintetében is a 2023/24-es adatsorokkal számoltunk. Az elemzés során figyelmen kívül hagytuk az egyes vizsgált szcenáriók okozta kereslet- és kínálatváltozás árakra gyakorolt hatásait, valamint az infláció mértékét.

A vizsgálat során nem tértünk ki a munkaerőpiaci, a szabályozási, a támogatási és egyéb ágazati kérdésekre, melyeket az egyes forgatókönyvek egyébként jelentős mértékben befolyásolnak.

16.1 FAHASZNÁLATOK

A fahasználatok gazdasági hatásainak vizsgálatához felhasznált forgatókönyvek közül a jelenlegi fakitermelési szint fenntartását tekintjük a kiindulási alapnak (BAU). Eszerint a forgatókönyv szerint 2050-ig átlagosan évente 7,8 millió bruttó m³ fakitermeléssel lehet számolni, amelynek az éves ingadozása 7,6 és 8,0 millió bruttó m³ között marad. Ehhez a szinthez képest az intenzifikációs forgatókönyv (INT) szerint jelentősen magasabb mennyiségű fa is kitermelhető lenne, amelynek mértéke az időszak kezdetén 10,3 millió bruttó m³-ről indulva 2050-re 13,4 millió bruttó m³-re emelkedik, azaz a BAU-forgatókönyv kétszeresét érné el. Ezzel szemben, az élőfakészlet megőrzését vagy növelését, illetve a holtfa felhalmozódását egy extenzifikációs forgatókönyv (EXT) szolgálná. Ebben az esetben a fakitermelések a BAU-szint felére, 3,8 millió bruttó m³ éves szintre csökkennének, és a teljes időszak alatt a BAU-hoz hasonlóan stabilak maradnának (180. ábra).

A fakitermelésekből eredő, közvetlenül az erdőgazdálkodóknál keletkező gazdasági hatásokat összefoglalóan a hozami érték fejezi ki. Hozami érték alatt értjük itt a fakitermelés árbevételének értékét, valamint a fakitermelés révén létrejövő aktivált saját teljesítmények értékét, és a belső felhasználás értékét. A rendelkezésünkre álló – az állami erdőgazdálkodók gazdálkodását jellemző – adatok alapján a 2023. évi árszínvonalra tehetünk becsléseket, amelyek szerint egymillió bruttó köbméter fakitermelés-változás 25,7 milliárd Ft hozami értékváltozást eredményez. Ennek megfelelően a hozami érték a BAU-forgatókönyv éves hozami értéke átlagosan 202 milliárd Ft, az extenzív forgatókönyvé 98 milliárd Ft, míg az intenzív forgatókönyvé átlagosan 307 milliárd Ft (263 milliárd Ft-ról 344-ra emelkedve).



180. ÁBRA

Fakitermelési szintek
az egyes szcenáriókban.

31. TÁBLÁZAT

Az egyes forgatókönyvek fakitermelési
tevékenységeinek hozami értéke.

Év	BAU (millió Ft)	EXT (millió Ft)	INT (millió Ft)
2023	194 558	96 377	263 104
2024	196 986	96 704	264 826
2025	197 307	97 459	265 038
2026	199 482	97 935	268 870
2027	200 500	98 401	270 827
2028	194 205	95 764	274 308
2029	198 118	98 290	277 425
2030	198 893	99 639	280 824
2031	199 039	98 267	282 158
2032	202 471	98 625	283 333
2033	199 651	96 204	293 357
2034	201 318	98 219	295 792

Év	BAU (millió Ft)	EXT (millió Ft)	INT (millió Ft)
2035	202 673	97 864	297 899
2036	204 085	98 299	299 990
2037	207 619	99 125	302 360
2038	202 141	98 082	318 762
2039	205 605	97 914	321 554
2040	204 903	98 425	324 052
2041	205 878	97 730	326 691
2042	206 974	99 158	328 285
2043	202 485	97 355	326 462
2044	202 284	96 730	330 263
2045	204 535	99 443	333 202
2046	208 202	98 110	334 029
2047	207 510	97 987	338 861
2048	202 459	97 118	332 791
2049	203 590	97 293	335 501
2050	206 857	97 418	338 966

A hozami érték a gazdasági folyamatok révén fedezetül szolgál az erdőgazdálkodó, a szakszemélyzet és egyéb szakemberek, a kivitelezők, valamint az erdőtulajdonosok jövedelmére, illetve az államot illető adókra és járulékokra is. A számítások során az általános forgalmi adóval nem számoltunk, de amennyiben a fakitermelés áfaalanyoknál történik, akkor a belföldre értékesített mennyiségre 27%-os többletérték is beszámítandó. A magyar erdőgazdálkodási ágazatot 99%-ban lefedő állami és magán erdőgazdálkodási szektorban a hozami érték érintettek közötti megoszlása jelentősen eltérő, ezért ezekkel nem számoltunk.

16.2 FAFELDOLGOZÁS

A fafeldolgozás fent már említett fejlesztése mind a feldolgozási volumen emelkedését, mind pedig a termékkörök növekedését is magával vonhatná. Ennek előfeltétele a kereslet növekedése, amely ekkora mértékben olyan jogszabályi előírások esetén képzelhető el, amelyek kifejezetten fatermékek alkalmazását írják elő egyes iparágakban, például építőiparban, vagy nagy volumenű, koordinált állami és nagyvállalati megrendelések mellett.

A fafeldolgozás közvetlen gazdasági hatása összefoglalóan a faipar által előállított hozzáadott értékben mérhető, amit jelen esetben a végtermék és az alapanyag értéke különbözeteként értelmezzünk, és értéknövekményként hivatkozunk rá. Ki kell emelni, hogy az alábbi értékek számításakor feltételeztük, hogy a Magyarországon megtermelt faipari alapanyagokat belföldön dolgozzák fel, il-

letve az elemzésnek nem részei a magasan feldolgozott termékek, mint például a bútorgyártás vagy a nyílászárók gyártása.

A számítások részletessége csak nagyvonalú becslést tesz lehetővé, ezért az eredményeket 50 milliárd Ft pontossággal közöljük. A BAU-forgatókönyv esetén a fafeldolgozás évente 300 milliárd Ft érték növekményt állít elő, míg az EXT-forgatókönyv esetén csak feleakkora értékkel, 150 milliárd Ft-tal lehet számolni. Az INT-forgatókönyv faipari többletértéke a fakitermeléssel és egyúttal a feldolgozott alapanyag-mennyiséggel arányosan folyamatosan emelkedik, a vizsgálati időszakban az átlagértéke 1000 milliárd Ft-ra tehető.

16.3 ERDŐFELÚJÍTÁSOK

Az erdőfelújítás az erdőgazdálkodásnak szerves része, az erdőművelés fatermesztési munkafolyamata, bár számviteli értelemben hozamot nem produkál.

Jelen fejezetben a fenti forgatókönyvekben kalkulált fakitermelési adatokra (éves fakitermelési mennyiség m³-ben) támaszkodva határozzuk meg az erdőfelújításokhoz kapcsolódó természetes és költségértékeket. A természetes alapok meghatározásához az Agrárminisztérium által évente kiadott erdőmérleg statisztikákat vesszük figyelembe.

A jövőbeni erdőfelújítások területi nagyságának a meghatározását a 2006–2021 közötti 16 év átlagadataiból származtatjuk. A kapott eredmények azt mutatják, hogy a véghasználatok tekintetében a hazai erdőgazdálkodást – a kitermelt faanyag mennyisége (m³) alapján – kb. 70%-ban tarvágás (TRV), és csak 30%-ban jellemzi a felújító vágások (FV) (fokozatos felújító (FF) és szálaló vágás (SZV) együtt kezelve) alkalmazása.

Jelen munkánkban a tarvágást és a felújítóvágásokat elemezzük, mivel itt keletkeztet a fakitermelés erdőfelújítási kötelezettséget. Minden fakitermelési módot (tisztítástól egyéb termelésig) tekintve köbméterarányosan a tarvágások aránya 48,8%, míg a felújítóvágások aránya 20,7% a 16 év átlagának vonatkozásában. A fajlagos mutatókat vizsgálva a tarvágások kapcsán egy hektáron 216 m³, míg a felújítóvágásoknál 364 m³ a fakitermelés volumene. Ezen paraméterek alapján mindhárom forgatókönyvre meghatároztuk 2023–2050 között az erdőfelújítással érintett területek nagyságát hektárban (32. táblázat). A tarvágások után a BAU esetén évi 17,1–18,3 ezer ha, az EXT-nél évi 8,4–8,7 ezer ha, az INT-nél évi 23,1–29,8 ezer ha erdőfelújítási kötelezettség keletkezne. A felújítóvágások után a BAU esetén évi 4,3–4,6 ezer ha, az EXT-nél évi 2,1–2,2 ezer ha, az INT-nél évi 5,8–7,5 ezer ha felújítási kötelezettség jönne létre.

32. TÁBLÁZAT

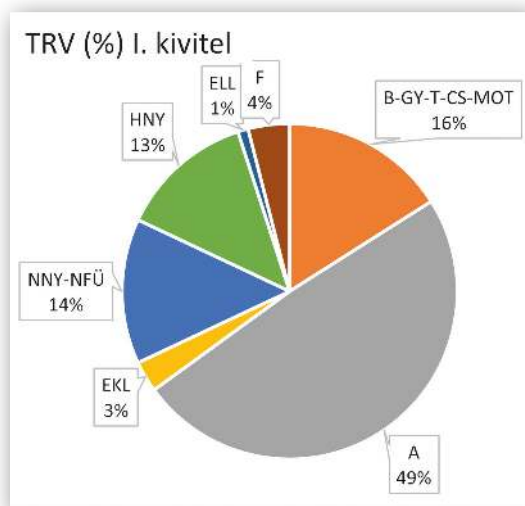
Erdőfelújítások átlagos területi nagyságai 2023–2050 között évente (ezer ha)

	BAU	EXT	INT
TRV felújítás	17,1–18,3	8,4–8,7	23,1–29,8
FV felújítás	4,3–4,6	2,1–2,2	5,8–7,5

A következő lépésben mind a tarvágáshoz, mind a felújítóvágáshoz kapcsolódó területértékeket fafajcsoportokra szétbontottuk. A fafajcsoport-arányok meghatározásához szintén az Agrárminisztérium erdőmérlegeit elemeztük 2000–2023 vonatkozásában, tehát 24 év adatai alapján.

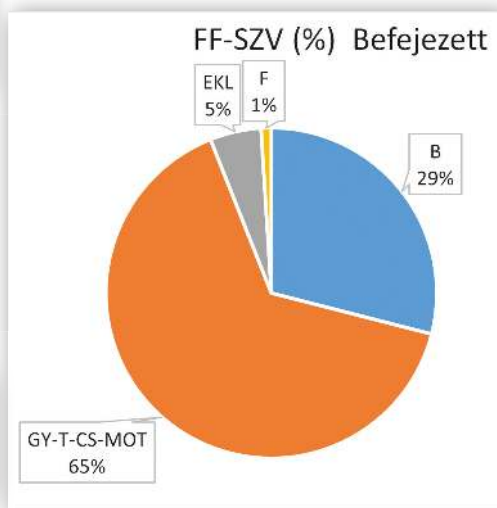
A kapott eredményeket a tarvágás utáni első kivitelre az 181. ábra mutatja be, ahol az akác mint domináns fajfaj közel 50%-os részaránya jól látható. Az erdőfelújításokat jelentősen meghatározzák a fajfajok. Az akác, nemesnyár tekintetében szektortól függetlenül csaknem 100%-ban a tarvágásos modell jellemző, míg a bükk esetén a tarvágások aránya 5% alatt marad. Szektorálisan is mutat az erdőfelújítási eljárás eltéréseket, míg a magánban közel 95%-ban a tarvágás utáni technológia jellemző, addig az állami szektorban a tarvágások aránya 70% körül alakul.

A következő ábrán (182. ábra) a felújítógátások utáni befejezett erdőfelújítások fajfajcsoportok szerinti arányait mutatjuk be. A felújítógátások elsősorban a hazai őshonos fajfajainkhoz kapcsolódnak, területileg a hegy- és dombvidéki területekhez köthetők. Mindkét vizsgált esetben feltételezzük, hogy a fajfajcsoportok arányai nem változnak 2050-ig, és a számításainkban végig ugyanazzal az aránnyal számolunk.



181. ÁBRA

Tarvágásokat követő erdőfelújítások területének megoszlása fajfajcsoportok szerint. (Forrás: AM, Erdőmérlegek 2000–2023)



182. ÁBRA

Felújítógátásokat követő erdőfelújítások területének megoszlása fajfajcsoportok szerint. (Forrás: AM, Erdőmérlegek 2000–2023)

A fentiek alapján felújítási módokként és azokon belül fajcsoportonként előállított természetes adatokhoz a fafajra jellemző technológia szerint felújítási költségértéket rendeltünk (Nagy Imre¹, 2024). A tarvágást követő erdőfelújítás költségeire a mesterséges erdőfelújítás létrehozási költségértékeit, a felújítógátások utáni felújításra a természetes mag- és sarj-erdőfelújítás létrehozási költségértékeit vettük alapul, amelyek az önköltség mellett 30%-os általános költséggel is kalkulálnak, áfa nélkül értendő, és géppel járható terepre vonatkoznak. A költségértékek 2023/2024. évek országos erdőgazdálkodási piaci árai alapján képződtek, és 2050-ig változatlan árszinttel kerültek bele a számításainkba. A BAU-forgatókönyv esetén a kerítésépítés költségei az erdőfelújítási költségekbe belekerültek, míg az EXT-, INT-szenáriók esetén nem számoltunk kerítésépítési költségekkel.

A 33. táblázat és a 183. ábra a három forgatókönyv erdőfelújítási költségeit mutatja be. A jelenlegi szinten folytatódó erdőgazdálkodási gyakorlat mellett átlagosan évi kb. 27 milliárd forint szükséges az erdőfelújítások kivitelezéséhez (vadkárelhárító kerítések építésének költségeivel), az extenzifikációs modell a jelenlegi szint kevesebb mint felével kalkulál, tehát évi kb. 12 milliárd forint elegendő lenne az erdőfelújítások finanszírozására (kerítésköltségekkel nem számolva).

33. TÁBLÁZAT

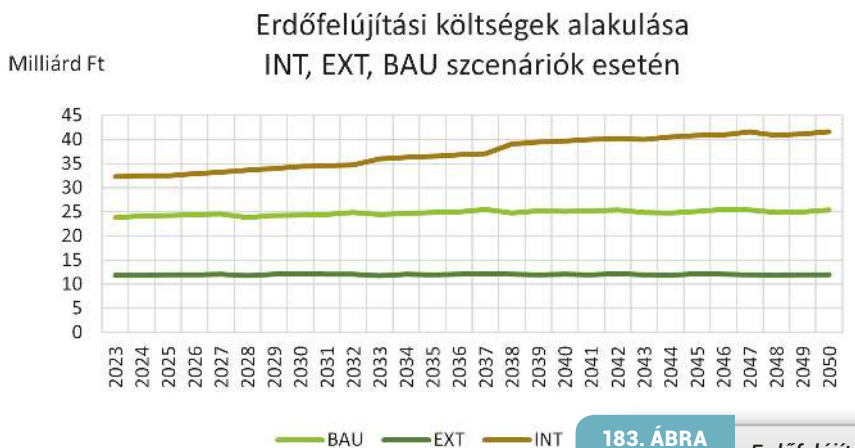
Az egyes forgatókönyvek erdőfelújítási tevékenységének költségei 2050-ig

Év	BAU (millió Ft)	EXT (millió Ft)	INT (millió Ft)
2023	25 538	11 820	32 260
2024	25 859	11 860	32 470
2025	25 903	11 949	32 495
2026	26 188	12 007	32 965
2027	26 322	12 065	33 205
2028	25 496	11 741	33 632
2029	26 009	12 051	34 014
2030	26 111	12 216	34 431
2031	26 130	12 048	34 594
2032	26 581	12 092	34 738
2033	26 211	11 795	35 967
2034	26 429	12 042	36 266
2035	26 607	11 999	36 524
2036	26 793	12 052	36 781

¹ Forrás: <https://erti.uni-sopron.hu/letoltesek>

Hegedűs A., Kovács Z., Mertl T., Schiberna E.

Év	BAU (millió Ft)	EXT (millió Ft)	INT (millió Ft)
2037	27 257	12 153	37 071
2038	26 538	12 025	39 082
2039	26 992	12 005	39 424
2040	26 900	12 068	39 731
2041	27 028	11 982	40 054
2042	27 172	12 157	40 250
2043	26 583	11 936	40 026
2044	26 556	11 860	40 492
2045	26 852	12 192	40 852
2046	27 333	12 029	40 954
2047	27 242	12 014	41 546
2048	26 579	11 907	40 802
2049	26 728	11 929	41 134
2050	27 157	11 944	41 559



183. ÁBRA

Erdőfelújítási költségek
alakulása BAU-, EXT-, INT-szenáriók
esetén.

Az intenzifikációs forgatókönyv lényege, hogy a faanyag iránti kereslet emelkedése miatt a fakitermelés is nő. Emiatt viszont gyorsabb ütemű, vélhetően drágább erdőfelújításokra lesz szükség, hogy az erdőgazdálkodás fenntartható maradjon. A számításaink szerint a növekvő erdőfelújítási igény jelentős állami vagy piaci finanszírozási forrást igényelne. Emellett a növekvő csemeteigény kielégítésére, a termelés felfuttatására kellő időt kell biztosítani. Az intenzifikációs forgatókönyv szerint a fakitermelések utáni erdőfelújítások költségének éves mértéke 32 milliárdról évi 41 milliárd forint fölé is felkúszhat 2050-re, nem számolva a kerítések költségeivel, illetve az inflációs és egyéb makrogazdasági tényezőkkel.

16.4 ERDŐTELEPÍTÉSEK

Az erdőtelepítések mint beruházások, és mint a szénmegkötés alapvető infrastrukturális létesítményei, az erdészeti ágazat hozamán túl további források bevonásának következményeként fejthetik ki gazdasági hatásukat.

Az erdőtelepítések esetén a számítás alapját a létrehozási költségérték, azaz az első kivitel költsége jelentette. Az elmúlt tíz év erdőtelepítéseinek fajaj-összetétele alapján meghatároztuk, hogy a létrehozási költségérték táblázatokban meghatározott fajaj/technológia csoportok milyen arányban képviseltették magukat az elmúlt tíz év erdőtelepítéseiben, majd ez alapján számítottuk ki az egyes fajaj/technológia csoportokkal súlyozott átlagos létrehozási költségértéket, amely C_1 kivitel (átlag) = 542 071 Ft/ha².

Az ápolási költségek számításánál a támogatási egységköltség számítás alapján az első éves ápolás költségét egységesen 180 000 Ft/ha összegben, míg a további évek ápolási költségét 120 000 Ft/ha összegben határoztuk meg. Az ápolás időtartamát a számítások egyszerűsítése érdekében átlagosan 8 évnek vettük. Az 1. éves ápolással kiegészített első kiviteli költség tehát: C_1 kivitel (átlag, 1. éves ápolással) = 722 071 Ft/ha, amelyhez a létesítés évét követő további 8 éven keresztül 120 000 Ft/ha/év ápolási költség adódik. A BAU-forgatókönyv esetén figyelembe vettük a vadkárelhárító kerítések létesítésének költségét is, míg az EXT- és az INT-forgatókönyvek esetében azzal a feltételezéssel éltünk, hogy az erdőtelepítések vadkárelhárító kerítés nélkül is eredményesen létesíthetőek. A BAU-forgatókönyv esetén a létesítendő kerítések hosszát az erdőtelepítések csúcsidejének számító Nemzeti Vidékfejlesztési Terv tényadataiból számítottuk. Ezek alapján a vonatkozó időszakban létesített 42 180 ha erdőtelepítés védelme érdekében 2 510 750 fm kerítést építettek a gazdálkodók, amely fajlagosan 59,5 fm/ha kerítést jelent. Így a BAU-forgatókönyvben a C_1 kivitel (átlag, 1. éves ápolással, kerítéssel) = 878 740 Ft/ha.

A fentieknek megfelelően az egyes forgatókönyvek erdőtelepítési költsége az alábbi (34. táblázat).

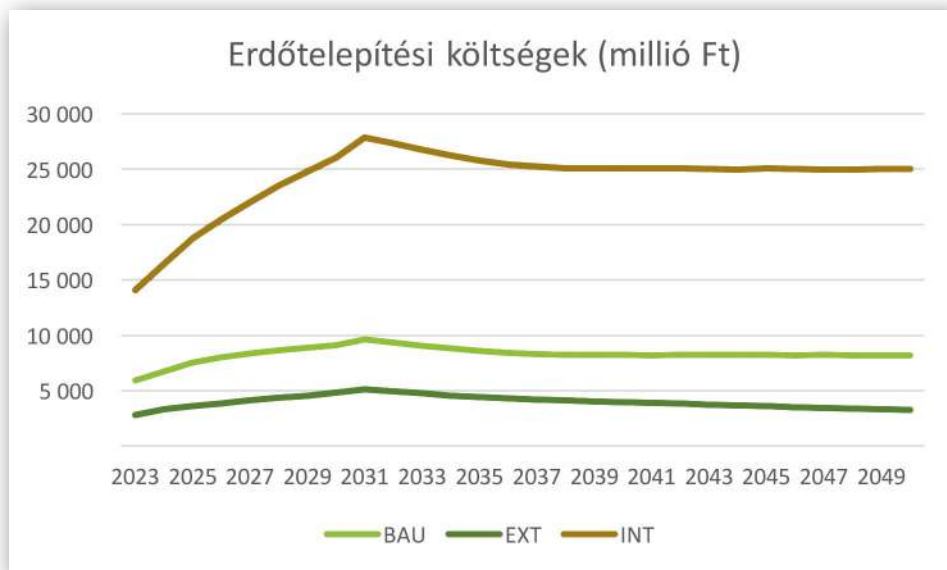
² C_1 : telepítés első kivitel költsége

34. TÁBLÁZAT

*Az egyes forgatókönyvek erdőtelepítési
tevékenységének költsége 2050-ig*

Év	BAU (millió Ft)	EXT (millió Ft)	INT (millió Ft)
2023	5 940	2 812	14 098
2024	6 741	3 306	16 434
2025	7 546	3 586	18 764
2026	7 987	3 854	20 433
2027	8 371	4 128	22 015
2028	8 642	4 339	23 519
2029	8 898	4 527	24 814
2030	9 098	4 811	26 066
2031	9 620	5 111	27 883
2032	9 344	4 931	27 331
2033	9 034	4 738	26 793
2034	8 818	4 551	26 225
2035	8 583	4 433	25 776
2036	8 397	4 290	25 453
2037	8 290	4 201	25 241
2038	8 255	4 153	25 067
2039	8 218	4 016	25 068
2040	8 252	3 976	25 096
2041	8 204	3 896	25 064
2042	8 220	3 845	25 068
2043	8 223	3 729	25 006
2044	8 218	3 654	24 992
2045	8 210	3 622	25 058
2046	8 203	3 511	25 030
2047	8 216	3 434	24 985
2048	8 196	3 373	24 996
2049	8 204	3 289	25 037
2050	8 195	3 274	25 037

A táblázatban szereplő költségek 2023. évi költségszinten, átlagosan 8 év ápolással mutatják be az egyes forgatókönyvek erdőtelepítési költségeit 2050-ig. Míg a szokásos ügymenet (BAU) modell többé-kevésbé kiegyensúlyozottan évente 8–9 milliárd Ft költséget jelent, addig az extenzív modell (EXT) 2036-tól jelentős csökkenést követően az időszak végére 1,3 milliárd Ft költséget feltételez. A legjelentősebb ráfordítást értelemszerűen az intenzív gazdálkodási modell (INT) igényli, melyben a költségek a 27 milliárd Ft-ot is elérhetik, de az időszak végén is meghaladják a 25 milliárd Ft-ot. Az eredményeket a 184. ábra mutatja be.



184. ÁBRA

Erdőtelepítési költségek az egyes forgatókönyvekben 2050-ig.

16.5 KARBONBEVÉTELEK

Az erdőgazdálkodás jövőbeni finanszírozásában várhatóan növekvő szerepet fog játszani a szénmegkötés piacosítása. Ennek egyik lehetősége az Európai Unió belső szén-dioxid-piacába történő becsatlakozás, amelynek szabályozása jelenleg a kialakítási fázisban van. Ebből kifolyólag a jövőben rendelkezésre álló karbonpiaci lehetőségeket egyelőre csak becsülni lehet.

A jelen vizsgálatban felvázolt három forgatókönyv két irányban határozza meg a fenti lehetőségeket: az élőfakészlet felhalmozása az erdőkben tárolt szén mennyiségének növekedését eredményezi. Ennek az a része lehet potenciálisan értékesíthető, amely a megszokott erdészeti gyakorlathoz képest többletmegkötést eredményez – azaz ha például a faállományokat a vágáskor felett is állva hagyjuk.

Schiberna E., Király É., Kovács Z., Merti T., Hegedűs A.

A másik hatás nem közvetlenül az erdőgazdálkodási tevékenységeken, hanem a kitermelt faanyag-felhasználásán keresztül érvényesül: a tartósan beépített – jellemzően épületfa – minden bizonnyal eladható szénmegkötésnek minősül majd. Fontos azonban megjegyezni, hogy a magyarországi fafajválaszték mellett ez a lehetőség csak úgy lesz kihasználható, ha a jelenleg alulhasznosított fafajokat faipari innovációk képessé teszik építési fatermékek előállítására.

A könyvünk 15. fejezetében bemutatott becslés szerint az EXT-forgatókönyv esetén a piacosítható előfakészlet-növelés értéke elérheti az évi 8 milliárd Ft bevételt. A faipari innovációk által elérhető tartós fatermék-beépítés még a BAU-forgatókönyv esetén is elérheti a 14 milliárd Ft-ot, amely megnövekedett fakitermelés, azaz az INT-forgatókönyv esetén 36 milliárd Ft-ra emelkedhet.

Az erdőtelepítésekkel új szénmegkötés kapacitás jön létre, amely minden valószínűség szerint alkalmas lesz szén-dioxid kredit értékesítésére. A BAU-forgatókönyv szerint ennek mértéke évi 9 milliárd Ft, az EXT-forgatókönyv szerint 5 milliárd Ft, míg az INT-forgatókönyv szerint 37 milliárd Ft lehet.

16.6 ÖSSZEZÉS

Az erdőgazdálkodás fő folyamataira és a faanyag hasznosítására vonatkozó forgatókönyvek gazdasági elemzésének célja az volt, hogy bemutassuk a várható pénzügyi hatások irányait és nagyságrendjét. Az eredmények alkalmasak arra, hogy a jövőbeli szakpolitikai fejlesztési irányokat értékelni lehessen, és kijelölhetőkké váljanak a részletesebb modellezésen alapuló tervek, előrejelzések és értékelések.

A jelen tanulmány koncepcionális szintű vizsgálatainak kiindulási pontja az aktuális gyakorlat folytatása (BAU-forgatókönyv), amelyben évente mintegy 8 millió bruttó m³ kitermelésével hozzávetőleg 200 milliárd Ft hozami érték érhető el. Ez a hozami érték magába foglalja a kitermelt fa értékesítéséből és felhasználásából származó teljes értéket, amelyet részben az erdők felújítására kell fordítani. Ez utóbbi közel 27 milliárd Ft-ot tesz ki évente. Ebben a forgatókönyvben erdészeti többletvállalásokkal keresztül elérhető karbonkredit-bevételekkel nem számolunk.

A faipari felhasználás az elsődleges feldolgozási termékeken keresztül további 300 milliárd Ft értéket termel az alapanyag értékén felül, amelyhez hozzáadódik a tartós fatermék-beépítéssel elérhető szénkreditbevétel, amelynek nagysága 14 milliárd Ft.

A BAU-forgatókönyvben az erdőtelepítések az éves 5 ezer hektáros szintet nem haladják meg, amelynek éves költsége 8 milliárd Ft forrást igényel – illetve ekkora mértékben növeli az ágazat gazdasági teljesítményét –, valamint ezen felül mintegy 9 milliárd Ft szénkreditbevétel elérésére ad lehetőséget.

A BAU-forgatókönyvhöz képest a fakitermelések visszafogása értelemszerűen a gazdasági teljesítmény csökkenésével jár. Mivel az EXT-forgatókönyvben a fakitermelés feleződik, a fakitermelés hozami értéke is felére, azaz hozzávetőlegesen 100 milliárd Ft-ra esik, amelyből az erdőfelújításhoz szükséges rész 12 milliárd Ft, és a faanyag feldolgozása által elérhető többletérték szintén a felére, azaz 150 milliárd Ft-ra esik. Tekintettel az igen sok ki nem használt fakitermelési lehetőségre, ebben a forgatókönyvben nagyobb tér nyílik az erdőművelési többletvállalásokkal történő szénmegkötésre, és az ezek értékesítéséből származó szénkreditbevételek elérésére, amelynek értéke 8 milliárd Ft-ra becsülhető.

A visszafogott fakitermelések forgatókönyvében visszafogott erdőtelepítésekkel számoltunk, amelyek mértéke átlagosan évi 2500 ha. Így az erdőtelepítések forrásigénye 3 milliárd Ft, és 5 milliárd Ft szénkreditbevétel elérésére adnak lehetőséget.

Az erdőgazdálkodás intenzifikációjára vonatkozó (INT) forgatókönyv a fakitermelések folyamatos emelkedését feltételezi, amely az időszak végére a kitermelt faanyag megkétszereződésével jár. A fakitermelések hozami értéke 300 milliárd Ft-ra emelkedik, amelyből évi 37 milliárd Ft az erdőfelújítások finanszírozási igénye. A faanyag feldolgozása nemcsak volumenében emelkedne, hanem az innovációk által megnövelhető az ipari feldolgozás aránya is, így az elsődleges faipari hozzáadott érték jelentősen ugrana meg, a becsléseink szerint 1000 milliárd Ft nagyságúra. A nagyobb beépíthető faanyagmennyiség 37 milliárd Ft szénkreditbevételre adna lehetőséget, amely ugrásszerű emelkedést jelent.

Az INT-forgatókönyv az erdőtelepítésekben is nagymértékű növekedést feltételez: évente csaknem 15 ezer ha-t. Ennek forrásigénye 27 milliárd Ft, az elérhető karbonkredit-bevétel pedig 37 milliárd Ft (35. táblázat).

35. TÁBLÁZAT

*Az erdő- és fagazdaság forgatókönyvei gazdasági hatásainak összefoglaló adatai
(adatok egész milliárd Ft-ra kerekítve)*

	EXT milliárd Ft/év	BAU milliárd Ft/év	INT milliárd Ft/év
Erdőtelepítés			
Létrehozási érték	3	8	24
Karbonkredit (erdőtelepítés)	5	9	37
Fakitermelés és erdőművelés			
Hozami érték	98	202	307
ebből: erdőfelújítás	12	27	32
Karbonkredit (erdőművelési vállalás)	8	–	–
Faipar			
Értéktöbblet	150	300	1000
Karbonkredit (tartós beépítés)	–	14	36

Bár ezek az elemzések sok ponton nagy bizonytalanságokkal terheltek, összességében megállapítható, hogy a faanyag hasznosításának növelése többféle módon is képes emelni az érintett ágazatok gazdasági teljesítményét. Ennek a kulcsa azonban az, hogy faipari fejlesztések révén lehetővé váljon a jelenleg alulhasznosított faanyagok feldolgozása – lehetőleg tartósan beépített termékek gyártása –, valamint ezen termékek keresletének jelentős növekedése.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

16. fejezet: A hazai erdőkezelés három reprezentatív scenáriójának koncepcionális gazdasági hatásértékelése

A fejezet három erdőgazdálkodási modell – az extenzív (EXT), az intenzív (INT) és a szokásos ügymenetet folytató (BAU) forgatókönyv – gazdasági következményeit vizsgálta az erdőtelepítések, erdőfelújítások, fahasználatok és a karbonbevételek szempontjából. Az eredmények azt mutatják, hogy:

- » Az extenzív modell mérsékelt fakitermelés mellett az élőfakészlet növelésével stabil, de korlátozott piaci bevételeket kínál.
- » Az intenzív modell a fakitermelési lehetőségek teljes kihasználásával és faipari innovációval a legmagasabb ágazati bevételt biztosítja, különösen a tartós fatermék-beépítés révén.
- » A BAU-forgatókönyv köztes eredményeket ad, de hosszabb távon csak akkor maradhat versenyképes, ha erősödik a faipari hozzáadott érték.

Összességében a gazdasági szempontú elemzés alátámasztja, hogy a klímabarát erdőgazdálkodás és a faipari innováció összehangolása nemcsak környezeti, hanem jelentős gazdasági előnyökkel is járhat, miközben hozzájárul az ágazat karbonpiaci szerepének erősítéséhez.





A FA TARTÓS BEÉPÍTÉSE AZ EGYIK LEGHATÉKONYABB KLÍMAVÉDELMI ESZKÖZ, A FAÉPÜLETEK A LEGJOBB HOSSZÚ TÁVÚ SZÉNTÁROLÓK, AMELYEK KIVÁLÓ KARBONPIACI BEFEKTETÉSKÉNT IS ÉRTELMEZHETŐK

A bioökonómiai átmenetben kiemelt szerepet kapnak az építési fatermékek, amelyek hosszú élettartamuknak és széntárolási potenciáljuknak köszönhetően egyszerre segítik az éghajlatváltozás elleni küzdelmet és az anyagkörforgás fenntarthatóbbá tételét. A jövő biogazdaságában ezek a termékek stratégiai jelentőségűvé válhatnak, különösen az urbanizáció és a fenntartható építkezés növekvő igényei mellett.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

17.

**A FAALAPÚ SZEKTOR
SZEREPE
A KÖRKÖRÖS BIOGAZDASÁG
FEJLESZTÉSÉBEN**

MIUTÁN

könyvünk korábbi fejezeteiben részletesen bemutattuk a klímaváltozás kihívásait, valamint az erdőalapú ágazatban rejlő mitigációs lehetőségeket, világossá vált, hogy az erdő- és faalapú szektor meghatározó szerepet játszik az éghajlatváltozás hatásainak mérséklésében. A kötelező és önkéntes karbonpiacok bemutatása rávilágított arra is, hogy a karbonárzás – mint egyre fontosabbá váló gazdasági eszköz – hatékonyan mozdíthatja elő a szektorban a mitigációs intézkedések megvalósítását.

Felmerül azonban a kérdés, hogy az erdő- és faalapú klímamitigáció hogyan illeszthető be egy fenntartható gazdasági modellbe, és hogyan szolgálja majd a zöld növekedés céljait? Erre ad választ az EU Bioökonómia stratégiája (EC 2018a, b) és Körkörös gazdaság akcióterve (EC 2020), hiszen a körkörös biogazdaság koncepciója úgy irányoz elő gazdasági növekedést, hogy közben lehetőséget teremt a nyersanyag-felhasználás és a környezeti lábnyom csökkentésére. Ezzel egy újfajta, regeneratív gazdasági modellt irányoz elő. Könyvünk jelen fejezetében részletesebben megvizsgáljuk a körkörös biogazdaság fogalomrendszerét és a fa szerepét ebben a rendszerben.

17.1 A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG FOGALMA

Az előrejelzések szerint a fosszilis tüzelőanyagok, a fémek, az ásványi anyagok és a biomasz-sza globális fogyasztása a következő negyven évben várhatóan megduplázódik, miközben az éves hulladéktermelés 2050-re 70%-kal fog növekedni. Bár csak egy Földünk van, mégis 2050-re a világ erőforrás-felhasználása várhatóan olyan mértékű lesz, mintha három bolygót használnánk (EC 2020). A fentiek miatt egy olyan regeneratív növekedési modell felé kell elmozdulni, amely többet ad vissza a bolygónak, mint amennyit elvesz, törekedve arra, hogy az erőforrás-felhasználás a Föld eltartóképességének határain belül maradjon.

A körforgásos – vagy más néven körkörös – gazdaság egy olyan gazdasági rendszer, amely az erőforrás-hatékonyságot az anyagok takarékos felhasználásával és visszaforgatásával éri el. Az anyagkörforgás fenntartásához szükséges eszközöket a körforgásos gazdaság ún. „10 R” eszköztára foglalja össze (36. táblázat). Ez a modell fenntarthatóbb a hagyományos lineáris gazdasági berendezkedésnél, amely a „kitermelés–gyártás–felhasználás–hulladék” elven működik.

36. TÁBLÁZAT

A körforgásos gazdaság érvényesülését segítő „10 R” eszközrendszer

Szakasz	Eszközök	Tartalom
Tervezés	Életciklus-tervezés (Rethink)	Gyártási folyamat és maga a termék anyagtakarékos tervezése, hosszú életciklusra tervezés, az életciklus végén körforgást segítő tervezés
Termékhasználat	Fogyasztáscsökkentés (Refuse)	Kevesebb termék fogyasztása
	Takarékosság (Reduce)	A tényleg szükséges fogyasztás ésszerűsítése tartósabb termékekkel, és/vagy kölcsönzéssel, megosztással

Szakasz	Eszközök	Tartalom
	Újrahasználat (Reuse)	Használt termékek vásárlása/használata
Életciklus-hosszabbítás	Javítás (Repair)	Kisebb karbantartás és javítás
	Felújítás (Refurbish)	Átfogóbb javítás (nagygenerál)
	Újragyártás (Remanufacture)	Alkatrészekre szerelés, alkatrészek válogatása és újbóli összeszerelés
	Továbbhasznosítás (Repurpose)	A termék vagy alkatrészeinek más célból történő felhasználása
Hulladék-hasznosítás	Újrahasznosítás (Recycle)	Alapanyag kinyerése és újbóli felhasználása
	Energia kinyerése (Recover)	Alapanyagban tárolt energia kinyerése égetéssel

Az Európai Bizottság 2020 márciusában fogadta el a körkörös gazdaság akcióttervet, mely a zöld gazdasági átmenet egyik alappillére (EC 2020). A cselekvési terv célja csökkenteni a természeti erőforrásokra nehezedő nyomást, s eközben fenntartható növekedést és munkahelyeket létrehozni, egyben lehetővé téve a klímasegítség elérését és a biológiai sokféleség megőrzését.

A cselekvési terv olyan szabályozást vezet be, amely a termékek teljes életciklusát lefedi, a tervezésüktől kezdve a körforgásos gazdasági folyamatok ösztönzésén és a fenntartható fogyasztás előmozdításán át egészen a hulladékképződés megelőzéséig. Ez elősegíti, hogy az értékes nyersanyagok a lehető leghosszabb ideig az EU gazdaságában maradjanak. A tervhez kapcsolódó jogi szabályozás célja, hogy az EU-ban a fenntartható termékek váljanak általánossá. Ennek érdekében a szabályozás a legnagyobb erőforrás-felhasználású és legnagyobb „körforgásos” potenciállal rendelkező ágazatokra összpontosít. Ilyen ágazatok az elektronika, az akkumulátor- és járműipar, a csomagolóanyag-gyártás, a műanyagipar, a textilipar, az építőipar, az élelmiszeripar, illetve a vízellátás – ezek a szektorok tehát a körkörös gazdasági modell bevezetésének elsődleges fókuszterületei, ahol az erőforrás-felhasználás optimalizálása legkönnyebben végrehajtható. Szempontunkból különösen fontos az építőipar, mint fókuszterület, hiszen a fa tartós beépítése mind klímamitigációs szempontból mind pedig a körforgásos gazdaság szempontjából optimális megoldás, így várhatóan az építőipar jövője az építési fatermékek¹ bővülő felhasználásával lesz jellemezhető.

Az első alapelv a termékek életciklusának meghosszabbítása, amely a tartósság, javíthatóság és újrahasználatosság előtérbe helyezését jelenti már a tervezési fázisban (ökodizájn). A második elv a másodlagos nyersanyagok visszaforgatása, vagyis az újrafelhasználás, újragyártás és újrahasznosítás rendszereinek kiépítése és megerősítése, amely lehetővé teszi az anyagok értékének megőrzését a gazdasági ciklusok során. A harmadik kulcselv a hulladékképződés megelőzése, amely nem csupán technológiai, hanem a fogyasztók magatartásában bekövetkező változást is feltételez: a kevesebb fogyasztás, a tudatos vásárlás, valamint a megosztáson és szolgáltatáson alapuló üzleti modellek

¹Az építési fatermékek köre tágabb az épületfánál, azaz a tömörfa fűrészárúnál, amelyet a tetőszerkezetek összeállításához használnak, ide értjük még az ajtót/ablakot, a forgácsból előállított fatéglát, illetve a hő- és hangszigetelő paneleket is.

Borovics A., Király É., Széles Zs., Csiha Cs., Schiberna E.

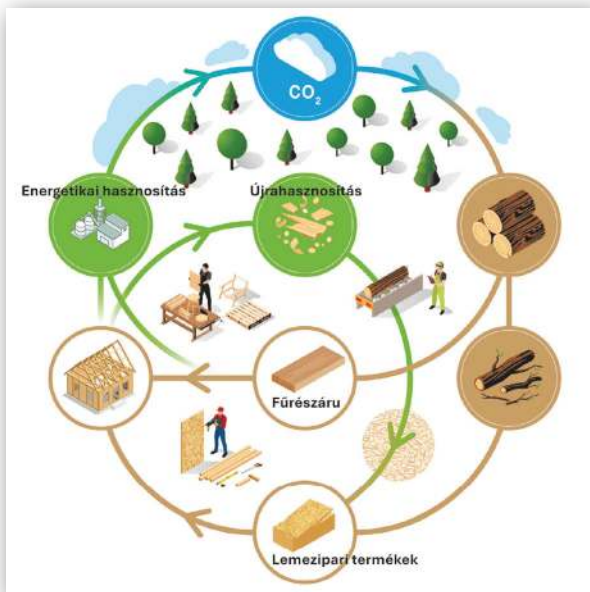
előnyben részesítése kulcsfontosságú. A negyedik alapelve a biológiai ciklusok fenntartása, vagyis az olyan természetes erőforrások (pl. biomassza, víz) használata, amelyek biológiai úton visszaforgathatók az ökoszisztémába – például komposztálás, biogáz-előállítás vagy regeneratív mezőgazdaság révén. Végül az ötödik kulcselve a gazdasági, társadalmi és ökológiai szempontok integrációja, amely biztosítja, hogy a körforgásos modellek a környezeti hasznok mellett munkahelyeket teremtsenek, elősegítsék a társadalmi kohéziót, és hozzájáruljanak a fenntartható fejlődési célok megvalósításához. A körforgásos gazdaság ezen elvei tehát szorosan összefonódnak az ipari innovációval, a környezetpolitikai szabályozással és a fogyasztói szokások átalakulásával, egy szisztemikus és multidiszciplináris megközelítés keretében.

Az EU körkörös gazdaság akcióterve szerint a körforgásos gazdasági átmenet társadalmi szempontból is igen jelentős, hiszen több mint 700 000 új munkahely jöhet létre 2030-ig, különösen a javítási, újragyártási és újrahajósítási szektorokban.

Az akcióterv közvetlen kapcsolatot teremt az EU Bioökonómia stratégiájával, hiszen az erőforrás-körforgás egyik kulcselemeként tekinti a megújuló, biológiai alapú anyagok használatát, ami a regeneratív növekedési modellek megvalósításának egyik legfontosabb alappillére.

17.2 A BIOGAZDASÁG FOGALMA

Az EU bioökonómia stratégiája (EC 2018a, b) szerint a biogazdaság (vagy más néven bioökonómia) egy olyan átfogó, rendszerszintű gazdasági modell, amely a megújuló biológiai erőforrások fenntartható felhasználására épül, célja pedig az élelmezésbiztonság, az ipari alapanyag-ellátás, valamint az ökoszisztémák megőrzésének összehangolása (185. ábra).



185. ÁBRA

A faanyag szerepe a körkörös biogazdaságban. (Forrás: ResilientWood 2024)

Az Európai Faipari Szövetség definíciója szerint a biogazdaság a biomassza-alapú áruk, szolgáltatások és energia-előállítását és fogyasztását jelenti (CEI-Bois – EOS 2024a). A biogazdaság kibontakozása egyben fontos lépés az EU körkörös és karbonsemleges gazdasági modellje felé is (EC 2020). A bioökonómia kulcsfontosságú pillérei az erdőgazdálkodás, a faipar, a cellulóz- és papírgyártás, valamint a mezőgazdaság, a halászat és az élelmiszeripar. Emellett ide tartoznak a vegyipar, a gyógyszergyártás, a textilipar, valamint a biotechnológia és az energetika bizonyos elemei is. A dinamikus és sikeres európai körkörös biogazdaság jövőképe egy olyan rendszert feltételez, ahol a termékek, vegyi anyagok, illetve az energia-előállítása megújuló biológiai erőforrásokon alapul, lehetővé téve, hogy a gazdaság leváljon a fosszilis *input*okról. Tehát a körkörös biogazdaság egyik legfontosabb előnye, hogy fokozatosan megszünteti a nem megújuló erőforrásoktól való függőségünket. A biogazdaság alapkövetelménye a fenntarthatóság és a biológiai eredetű, megújuló szén felhasználása. Ezáltal a biogazdaság kibontakozása lehetővé teszi a természeti erőforrások kimerülésének elkerülését, a klímaváltozás mérséklését és az ökológiai egyensúly fenntartását.

A bioökonómia rendszerszintű megközelítést képvisel, amely az elsődleges termelést (mezőgazdaság, erdészet, halászat), a feldolgozóipart (élelmiszeripar, vegyipar, bioenergia), valamint a szárazföldi és tengeri ökoszisztémákat is integrálja. Az EU bioökonómia stratégiája öt átfogó célt határoz meg, amelyek kijelölik a biogazdaság fejlesztési irányait.

Elsődleges cél a fenntartható élelmiszertermelés és az élelmiszer-biztonság megteremtése, amely a körforgásos, egészséges és erőforrás-hatékony élelmiszerrendszerek támogatását jelenti, illetve ösztönzi az organikus hulladék hasznosítását. A második cél a természeti erőforrások – különösen a talaj, a víz, a biomassza és a biodiverzitás – fenntartható kezelése, amely kulcsszerepet játszik az ökoszisztémák megőrzésében és a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban.

Harmadrészt a stratégia kiemeli a fosszilis alapanyagoktól való függőség csökkentésének fontosságát: ennek érdekében szorgalmazza a bioalapú, megújuló nyersanyagok ipari alkalmazását például a csomagolásban, vegyiparban vagy az energetikában. A negyedik cél a klímaváltozás mérséklése és az ahhoz való alkalmazkodás: a bioökonómia hozzájárul az ökoszisztéma-alapú szénmegkötés fokozásához, az alacsony kibocsátású technológiák elterjesztéséhez, valamint a karbonsemleges gazdasági modell kialakításához. Az ötödik stratégiai cél az európai versenyképesség növelése és új munkahelyek teremtése, különösen a vidéki térségekben. Az ipari biotechnológia, a biofinomítók², valamint a bioalapú innovációs láncok fejlesztése lehetőséget kínál új üzleti modellek és zöld foglalkoztatási formák kialakítására is.

A stratégia három kulcsterületet határoz meg a célok megvalósítása érdekében. Az első a bioalapú ágazatok megerősítése, amely magában foglalja a biofinomítók fejlesztését, bioalapú, lebomló termékek előállítását, valamint egy 100 millió eurós befektetési platform (*Circular Bioeconomy Investment Platform*) létrehozását. A második kulcsterület a helyi bioökonómiák gyors kiépítése, amely városi, vidéki és part menti projektek, regionális stratégiák, valamint oktatási és készségfejlesztési programok révén valósul meg. A harmadik pillér az ökológiai határok megértését és tiszteletben tartását célozza: ennek keretében az Európai Bizottság monitoringrendszerrel hoz létre a biomassza-használat és az ökoszisztémák állapotának nyomon követésére, miközben ösztönzi az agroökológiai gyakorlatokat,

²A biofinomítók olyan létesítmények, amelyek a biomasszából élelmezésre, takarmányozásra és ipari felhasználásra alkalmas anyagokat vonnak ki, illetve üzemanyagot, elektromos áramot és hőt állítanak elő belőle lépcsőzetes technológiai folyamatokon keresztül.

a mikrobiomalapú megoldásokat, valamint a biológiailag is értékes életközösségek integrálását az alapanyag-termelésbe.

A stratégia célja tehát a bioalapanyagokat felhasználó ágazatok megerősítése és bővítése, a beruházások és az innováció felpörgetése útján. De mit is értünk pontosan bioalapanyag alatt? Az európai faipari (CEI-Bois) és fűrészüzemi (EOS) érdekképviselő az alábbiak szerint definiálja a bioalapanyagokat: „A bioalapanyagok olyan megújuló anyagok, amelyek élő szervezetekből származó anyagok felhasználásával készülnek, ide nem értve a geológiai képződményekben található és/vagy fosszilizálódott szervezeteket. A bioalapanyagok általában növényekből, állatokból vagy mikroorganizmusokból származnak, és ezért jellemző rájuk a légkörből frissen kivont szén meghosszabbított tárolása.” (CEI-Bois – EOS 2024a)

Egyes bioalapanyagokat – például a fát – évezredek óta ismerjük, tehát ezeknek az anyagoknak a felhasználása nem újkeletű. Más bioalapanyagok teljesen új találmányok, például a biopolimerek, amelyeket természetes alapú műanyagok előállítására lehet használni a fosszilis alapanyagokból előállított műanyagok helyettesítésére. Sok bioalapanyag jelenleg csak a fejlesztés fázisában van, és egy-két év vagy évtized múlva válik majd elérhetővé. Mindezekre alapozottan arra számíthatunk, hogy sok, jelenleg fosszilis alapanyagokból előállított termék potenciálisan lecserélhető lesz meglévő vagy jövőbeli bioalapú anyagokra. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy az új típusú bioalapanyagok mellett továbbra is a faanyagé a főszerep a bioökonómiai átmenet során, és ez nagy valószínűséggel a későbbiekben is így marad. Tehát a körkörös biogazdaság kibontakozása szinte elképzelhetetlen lesz az erdőalapú szektor nyersanyag-potenciáljára alapuló faipari innovációk nélkül.

A biogazdaságra meghatározott elvek, célok és eszközök az erdőgazdálkodásban sok évtizede ismertek, és a fenntartható, többcélú erdőgazdálkodás alapjait képezték. A korábbi EU Erdőstratégiák (1998, 2013) részleteiben foglalkoztak a fenntarthatóság alapelveinek egyre részletesebb alkalmazásával, a 2021-ben megjelent, és 2030-ig tartó EU erdőstratégia viszont kifejezetten a fenti dokumentumokkal és a *Green Deal* keretében elkészült egyéb stratégiákkal (pl: EU biodiverzitás stratégia) való harmonizálás érdekében jött létre.

17.3 ÉPÍTÉSI FATERMÉKEK A KÖRKÖRÖS BIOGAZDASÁG FÓKUSZPONTJÁBAN

A faipar és a fatermékek kulcsszerepet töltenek be az EU bioökonómia stratégiájában és körkörös gazdaság akciótervében, különös tekintettel az éghajlatváltozás elleni küzdelemre, a nyersanyag-hatékonyságra és a vidéki térségek gazdasági élénkítésére. A bioökonómia stratégia hangsúlyozza, hogy a fa mint megújuló, biológiai alapú nyersanyag nem csupán fenntartható alternatívát kínál a fosszilis alapanyagokkal szemben, hanem hosszú távú klímamitigációs szerepet is betölt azáltal, hogy beépítésével a szén-dioxid hosszú távon tárolható az épített környezetben. A fa tartós beépítése – különösen az építőiparban – jelentős emissziócsökkentési potenciállal bír: egyes becslések szerint minden beépített tonna faanyag akár 2,1 tonnányi CO₂-kibocsátás elkerülését teszi lehetővé, amennyiben az beton vagy acél helyettesítésére szolgál.

A faanyag további stratégiai előnye, hogy alkalmazása decentralizált, vidéki gazdaságokban is hatékonyan megszervezhető, ami elősegíti a helyi gazdaságfejlesztést, munkahelyteremtést és az erőforrások helyben tartását. A stratégia hangsúlyozza, hogy az EU erdőterületei – amelyek a kontinens teljes földterületének közel 43%-át fedik le – évente hozzávetőlegesen 444 millió tonna biomasszát

termelnek, ennek azonban csupán 65%-át használják fel, ami komoly potenciált jelent a bioökonómia bővítése szempontjából. A fenntartható erdőgazdálkodás nemcsak a faanyagtermelés biztosítását szolgálja, hanem hozzájárul a biodiverzitás megőrzéséhez, az ökoszisztémák ellenálló képességének javításához, és a szénmegkötés és -raktározás fenntartásához is.

A fűrészipar és a papírgyártás melléktermékei – például forgács, cellulóz, lignin – szintén jelentős szerepet kapnak a bioalapú innovációban: ezekből új típusú, magas hozzáadott értékű termékek (pl. nanocellulóz, bioalapú textíliák, kompozit anyagok, 3D-nyomatáshoz alkalmazható alapanyagok) állíthatók elő. E mellékáramok újrahassznosítása a körforgásos gazdasági modell egyik alapelve, amely nem csupán a hulladék minimalizálásához járul hozzá, hanem új értékláncokat is létrehoz.

Az EU újonnan megalkotott, a körkörös biogazdaság előmozdítását célzó joganyaga is arra enged következtetni, hogy az építési fatermékek tekinthetők a bioökonómia egyik központi elemének, sarokkövének, hiszen lehetőséget nyújtanak a hosszú távú széntárolásra, miközben alternatívát kínálnak a magas szén-dioxid-kibocsátású anyagok helyettesítésére (CEI-Bois 2024). Az épületek szerepe azért is kiemelkedően fontos, mivel az EU-n belül az épületek 85%-át 2000 előtt építették, és ezen belül 75%-nak rossz az energiahatékonysága. Így az európai energiafogyasztás közel 40%-a épületekhez köthető, az energiaszektor üvegházhatásúgáz-kibocsátásainak pedig több mint egyharmada származik épületekből. Ennek következtében az EU-ban található otthonok energiafogyasztásának mintegy 80%-át fűtésre, hűtésre és melegvíz előállítására fordítják (EC 2025b).

Az épületek energiahatékonyságáról szóló megújított EU-irányelv (EU/2024/1275) 2024 májusában lépett hatályba. Ez a Fit for 55 csomag keretében megfogalmazott jogszabály 2050-re zéró kibocsátású épületállomány kialakítását célozza meg. Az irányelv az épületfelújítási arányok növelése mellett az üvegházhatásúgáz-kibocsátások és az energiafogyasztás csökkentésére fókuszál, valamint a megújuló energiaforrások épületekben történő használatának előmozdítását szorgalmazza.

Az irányelv nemzeti jogba történő átültetése jelenleg a tagállamok feladata, amit két éven belül kell elvégezni. Eközben az EU Bizottság az irányelvhez tartozó felhatalmazáson alapuló jogi aktusok megalkotásán dolgozik. Ezek közül a legfontosabb az irányelv 7. cikkelyéhez kapcsolódik, mely kimondja, hogy EU-szintű módszertant szükséges kidolgozni az épületek teljes életciklusához kapcsolódó összes üvegházhatásúgáz-kibocsátások egységesített számszerűsítésére. Ebben az összefüggésben az életciklus-elemzés során a bioalapanyagok széntárolásának figyelembevétele fontos szempont lesz. A fával építés ugyanis egyedülálló módon ad lehetőséget az építéshez kapcsolódó kibocsátások ellentételezésére a faanyagban tárolt nagy mennyiségű szén segítségével.

Az építési termékek forgalmazására vonatkozó új EU-rendelet (EU/2024/3110) 2025. január 7-én lépett hatályba. A rendelet mérföldkönek tekinthető a körkörös bioökonómia tényerése szempontjából, hiszen célja az EU piacán forgalmazott építési termékek mindegyikét elemezni fenntarthatóság szempontjából, annak érdekében, hogy a teljesítmény-nyilatkozatok hosszú távú hatásaként környezetbarátabbá, „körforgásosabbá” és energiahatékonyabbá váljanak a tervezési fázistól kezdve a mindennapi használaton és az újrahassznosításon át egészen az élettartamuk végéig. A jogszabály emellett azt hivatott biztosítani, hogy az épített környezet mindinkább hozzájáruljon a fenntarthatósági és éghajlatvédelmi célok megvalósításához.

A rendelet értelmében az építőipari termékek gyártóinak nyilatkozniuk kell termékeik meghatározott környezeti jellemzőiről. Ilyen például a globális felmelegedési potenciál, amelyről 2026 januárjától kötelező lesz adatot szolgáltatni. Ezt követően fokozatosan be kell majd számolni a többi környezetvédelmi mutatóról, mint például az ózonréteg-lebontó hatásról, illetve a savasodást és eutrofizációt okozó hatásokról is. Ezeknek a jellemzőknek a vizsgálata életciklus-elemzéssel, az EU Bizottság által

Borovics A., Király É., Széles Zs., Csiha Cs., Schiberna E.

létrehozott környezeti hatásokra vonatkozó adatbázisok felhasználásával történhet majd meg. Ennek alapján az építési termékek környezeti hatásait részletes dokumentációban kell majd bemutatni, és az információkat elérhetővé tenni a felhasználók számára.

A rendelet szorosan kapcsolódik a fenntartható termékek környezettudatos tervezésére vonatkozó rendelethez (EU/2024/1781), melynek célja a fenntarthatóbb, „körforgásos” termékek gyártása felé történő elmozdulás ösztönzése. E rendelet ökodizájn-követelményeket határoz meg szinte minden termék kategóriára. Ezek a követelmények a termékek tartóságának, újrafelhasználhatóságának, javíthatóságának és újrahasznosíthatóságának előmozdítására irányulnak. Emellett céljuk az energia- és erőforrás-hatékonyság növelése, illetve az újrahasznosíthatóságot akadályozó anyagok felhasználásának csökkentése. A rendelet emellett javítja a termékek fenntarthatóságával kapcsolatos információk elérhetőségét a Digitális termékútlel bevezetésével. Ez egy olyan digitális nyilvántartás, amely részletes adatokat tartalmaz majd a termékek környezeti jellemzőire és fenntarthatóságára vonatkozóan. A környezeti hatások részletes értékelésének és dokumentálásának követelménye kedvező helyzetbe hozza a faalapú (és más bioalapú) termékeket a fosszilis alternatívákkal szemben, hiszen egyedül itt lesz majd lehetőség a termékben tárolt szén kedvező klímavédelmi hatásainak figyelembevételére. Ez az előny a globális felmelegedési potenciál meghatározása során is meg fog mutatkozni, és elősegítheti a fa tartós beépítésének mind szélesebb körű elterjedését.

A tartós szén-dioxid-eltávolítás, a karbondioxidkódás³ és a termékekben történő szén-dioxid-tárolás uniós tanúsítási keretrendszeréről szóló (CRCF) rendelet (EU/2024/3012) 2024 decemberében lépett hatályba. A rendelet egy EU-szinten szabályozott, önkéntes karbonpiacot hozott létre, melyen keresztül értékesíthető mind az ökoszisztémák, mind pedig a bioalapanyagok szénmegkötő és széntároló képessége. A széntárolás tanúsításának részletes szabályait módszertani útmutatók fektetik majd le. A rendelet szövege már jelenleg is egyértelművé teszi, hogy a termék-alapú széntárolás tekintetében a

tartós beépítése a főszerep. Csak olyan termékekben megvalósuló széntárolás tanúsítható, amelyek esetében a széntárolás időtartama eléri vagy meghaladja a 35 évet, és a szén megtartásának ténye mindvégig a helyszínen monitorozható és nyomon követhető. Ezeknek a feltételeknek csak az épületekbe beépített szerkezeti és szigetelőanyagok felelnek meg (186. ábra



186. ÁBRA

A fa az egyik legrégebbi és legjobban ismert bioalapanyag, melynek tartós beépítése a hosszú távú széntárolás legjobb módja. (Forrás: CEI-Bois – EOS 2024a)

³Olyan mezőgazdasági vagy erdészeti módszerek, amelyek céljai között szerepel a nettó szénmegkötés.

és 187. ábra). A rendelet szabályaival könyvünk korábbi fejezeteiben részletesen foglalkoztunk, ezért itt csak azt emeljük ki, hogy e rendelet is az építési fatermékek kulcsfontosságú szerepét húzza alá a biogazdaság és a klímamitigáció szempontjából.



187. ÁBRA

A farostalapu szigetelés egy jól bejárt termék, mely az épületekbe beépítve hosszú távon tárolja a szénét. (Forrás: CEI-Bois – EOS 2024a)

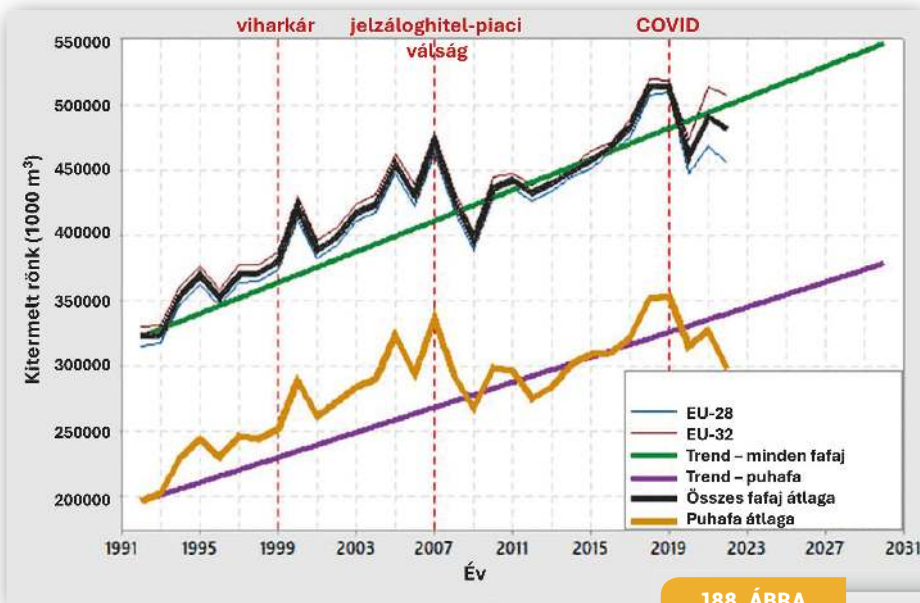
Míg az önkéntes karbonpiac többletbevételi forrást jelenthet az erdőgazdálkodók, illetve az építőipar szereplői számára, addig a megfelelési piacokon szigorú kibocsátás-csökkentési előírások teljesítése érdekében zajlik a karbonkvóták kereskedelme. Az EU 2023-ban megújított erőfeszítés-megosztási határozata (EU/ 2023/857 *Effort Sharing Regulation*, azaz ESR) minden eddiginél ambiciózusabb kötelező érvényű kibocsátás-csökkentési célokat határoz meg a tagállamok számára a mezőgazdaság, az épületek, a közlekedés, illetve a hulladék szektorok vonatkozásában. Magyarország esetében a határozat 18,7%-os kibocsátás-csökkentést ír elő a 2030-as évre a 2005. évi emissziós szinthez képest. Amennyiben a célt nem sikerül elérni, korlátozott mértékben van lehetőség úgynevezett rugalmassági mechanizmusok alkalmazására, melyek keretében az erdők (és egyéb földhasználat) által megvalósított szénmegkötések ellentételezhetik az ESR szektorok többletkibocsátásait. Azonban az elsődleges cél az ESR-szektorok emissziós szintjének csökkentése, melyre az építőipar esetében a faalapú termékek minél nagyobb arányú tartós beépítése kínálhat megoldást.

17.4 AZ EURÓPAI FAIPAR HELYZETE ÉS JÖVŐKÉPE

Az Európai Faipari Szövetség elemzésében (ResilientWood 2024) kiemeli, hogy a faipari ágazat versenyképessége nagymértékben függ az építőipartól, amely hatalmas mennyiségű fát használ alapanyagként. Így a szektor érzékenyen reagál a válságokra, ahogyan azt a 188. ábra is szemlélteti. A Covid-19-világjárvány jelentős hatással volt az építőiparra, nagy visszaesést okozva. Ezt követően a globális gazdasági fellendülés (+5,6% és +4,4% világgazdasági növekedés 2021-ben és 2022-ben), valamint a magánépítkezések és az állami infrastrukturális beruházások újraindulása az ösztönzőcsoomagok hatására robbanásszerű keresletnövekedést eredményezett a faanyag iránt, így az ágazatot hirtelen alapanyaghiány fenyegette. Ez a fa árának példátlan emelkedéséhez vezetett (2021 májusában 377%-os éves növekedést regisztráltak). Az árak végül 2021 végén és 2022-ben stabilizálódtak.

A faipar szintén nagymértékben függ a papíripartól, amely a papíralapú csomagolóanyagok iránti kereslet jelentős növekedéséből profitált az e-kereskedelem terjedése miatt. Ez kedvezett a faiparnak a Covid-19-válság idején, ugyanakkor inflációs nyomást is jelentett.

A felfeldolgozó ipar fellendülését a Covid-19-világjárványt követően akadályozták a globális ellátási láncokban tapasztalható folyamatos fennakadások, illetve az energiaköltségek növekedése, amelyet olyan geopolitikai feszültségek súlyosbítottak, mint az orosz–ukrán háború. Ezek a tényezők visszafogták a munkaerő-keresletet is, így az európai faalapú ágazat foglalkoztatási szintje továbbra is elmarad a világjárvány előtti adatoktól.



188. ÁBRA

A fakitermelés trendjének alakulása Európában.
(Forrás: CEI-Bois 2024)

Az Európai Faipari Szövetség elemzéseiben hangsúlyozza, hogy a faalapú ágazat kulcsszereplője lehet az innovatívabb, inkluzívabb és fenntarthatóbb társadalomra való áttérésnek, különösen hozzájárulva a vidékfejlesztéshez és a munkahelyteremtéshez, figyelembe véve az elsődleges és másodlagos nyersanyagokat, valamint az üzemén kívüli előregyártást. Az európai faalapú szektor legfontosabb gazdasági mutatóit a 189. ábra szemlélteti.



189. ÁBRA

Az európai faipar a számok tükrében.

(Forrás: European Wood Policy Platform 2024)

A faalapú szektor jövőképeinek felvázolásához az Európai Faipari Szövetség elemzi, hogy a faalapanyag mennyisége elegendő lesz-e a növekvő épületfa-piac igényeinek kielégítésére, valamint a faipari értéklánc optimalizálására. Elemzésében hangsúlyozza, hogy a fenntartható faipar alapja a fenntartható erdőgazdálkodás. Az erdők megőrzése és a faanyagtermelés közötti egyensúly fenntartásához elengedhetetlen Európa erdei ökoszisztémáinak megkülönböztetése sajátos jellemzőik, illetve az éghajlatváltozás mérséklésében és a biológiai sokféleség megőrzésében betöltött szerepük alapján. Az erdők fejlődési dinamikájának megfelelő, fenntartható és proaktív erdőgazdálkodás képes biztosítani az erdők és a faipar klímavédelmi szerepének legteljesebb kiaknázását.

Az elemzés emellett rámutat arra is, hogy milyen fontos kompromisszumot találni az adott célra legmegfelelőbb faanyag beszállítása, illetve a szállítási távolságok optimalizálása, valamint a vidéki foglalkoztatás bővítésének igényei között (ResilientWood 2024).

Az Európai Faipari Szövetség tanulmánya szerint az európai erdők képesek bővülő faanyagforrást biztosítani a növekvő faalapú építőipar igényeinek kiszolgálására. A 190. ábra bemutatja, hogy az építőiparban felhasznált faanyag mennyiségének növekedésével arányosan hogyan növekedne a faiparhoz kapcsolódó új munkahelyek száma. A fapelhasználás 20%-os növelése esetén EU-szinten több mint 43 ezer új munkahellyel számolhatnánk.

A fa építőipari felhasználásának európai szintű növelése, illetve új munkahelyek létrehozása közötti összefüggés

Az építőiparban felhasznált faanyag mennyiségének növelése

EU-27	BAU	+10%	+20%
Rönk termelés (millió m ³)	425	454	478
A fakitermelés aránya a kezdeti élőfakészlethez viszonyítva	1,9%	2,06%	2,17%
Új munkahelyek száma a rönk termeléshez kapcsolódóan	0	+23 550	+43 236
Fűrészáru (millió m ³ , illetve a BAU szinthez viszonyított növekedés %-ban)	98	104; 5,9%	110; 11,6%
Új munkahelyek száma a fűrésziparban	0	+12 051	+23 609

Ugyanakkor az elemzés kitér a faipari innovációk kulcsfontosságú szerepének bemutatására is. Kiemeli, hogy a munkahelyteremtés nagymértékben függ az Erdő 4.0, illetve az Ipar 4.0 és a Fűrészüzem 4.0 koncepciók köré épülő vállalati politikák elterjedésétől. Az Erdő 4.0 koncepció célja az erdei környezet megfigyelésének, illetve az adatgyűjtésnek és adatelemzésének a mesterséges intelligencián alapuló átalakítása. A Fűrészüzem 4.0 koncepciója pedig a fűrészüzemi gépek teljes digitalizálásából áll, amely lehetővé teszi, hogy ezek a gépek kommunikáljanak egymással. Így a gépekből származó adatokat valós időben gyűjtik, és egy nagyméretű adatelemző számítógépen centralizálják, majd a vezetői profilnak megfelelő, felhasználóbarát irányítópultokon jelenítik meg. Ehhez kapcsolódóan lehetőség van az adott építési célra legalkalmasabb faanyag kiválasztásának optimalizálására is, ami megvalósítható nyomkövetési rendszer kiépítésével vagy olyan eszközök alkalmazásával, amelyek online módon értékelik az alapanyagok faanyagminőségét.

A fűrésziparban foglalkoztatottak száma 10 év alatt 4%-kal csökkent, miközben a termelés (m³-ben mérve) 16%-kal nőtt. Ez azt jelenti, hogy a foglalkoztatottak egy főre jutó termelékenysége összességében 21%-kal emelkedett 2012 és 2022 között.

Ezek a változások arra mutatnak, hogy az iparágban magasabb szintű készségekkel rendelkező munkaerőre lesz szüksége, mint a korábbiakban. Így elengedhetetlen a képzési és oktatási programokba történő befektetés, ami lehetővé teszi az új technológiák üzemeltetéséhez és karbantartásához szükséges készségek és ismeretek elsajátítását, valamint a változó piaci igényekhez történő alkalmazkodást.

A faipar gyors ütemű digitális átalakuláson megy keresztül. A digitalizáció az értéklánc egészének hatékonyságát növeli, az erdőgazdálkodástól és nyersanyag-beszerzéstől kezdve a faipari technológiákon és a teljes logisztikai termelési láncon keresztül, egészen a késztermék kiskereskedelmi forgalmazásáig. A korszerű gépesítés és a magas fokú, kifinomult automatizálás minden egyes folyamat hatékonyságát javítja.

190. ÁBRA

A faipari intenzifikáció és a munkahelyteremtés kapcsolata.

(Forrás: ResilientWood 2024)

Jó példa erre az építőipar, ahol az egész építési terméklánc digitalizálása lehetővé teszi a faellátási lánc digitális leképezését az erdőtől az épületig ún. BIM (*Building Information Modeling*) építményinformációs modellek segítségével. A modellezés a faipari termékekhez kapcsolt mérőszámokra, szabványokra, objektumokra és grafikai elemekre támaszkodik, és kihasználja a mesterséges intelligencia nyújtotta lehetőségeket. Így képes szimulálni különböző forgatókönyveket és tesztelni különböző terveket, több szempontú, bonyolult elemzési igények kielégítésével, ezáltal alkalmas fenntartható anyagáramok kialakítására az építőiparban.

A digitalizáció lehetőségeinek mind teljesebb kihasználása mellett fontos a fatermékek körforgásos szempontokat figyelembe vevő tervezése is, mely lehetővé teszi azok újrafelhasználását, újrahasznosítását vagy energetikai hasznosítását (191. ábra). A fa feldolgozása során keletkező melléktermékek és maradványok hatékonyan felhasználhatók más faalapú termékek alapanyagaként, illetve energia-termelésre is. A fa raklapok visszagyűjtése, javítása és újrafelhasználása már napjainkban is bevett ipari gyakorlatnak számít.

**191. ÁBRA**

Az újonnan gyártott termékekben felhasznált újrahasznosított fa mennyisége folyamatosan növekszik Európában. (Forrás: CEI-Bois – EOS 2024a)

17.5 A FA ALAPANYAG 7 LEGFONTOSABB ELŐNYE

Az Európai Faipari Szövetség elemzése hangsúlyozza, hogy a faipari innováció és intenzifikáció csak akkor válik eredményesen megvalósíthatóvá, hogyha sikerül a fafelhasználás társadalmi elfogadottságát megerősíteni, tudatosítva azt, hogy a fakitermelés a fenntartható erdőgazdálkodás szerves része és a bioökonómia alapja (CEI-Bois – EOS 2024b). Ennek hatékony kommunikációja érdekében összefoglalja a fafelhasználás hét legfontosabb előnyét az alábbiak szerint:

- 1. Megújuló erőforrás:** A fa megújuló erőforrás, mivel a fenntarthatóan kezelt erdőkben – ahogyan az Európa-szerte jellemző – a fakitermelést erdőfelújítás, természetes felújulás vagy ezek kombinációja követi. Emellett a biológiai sokféleség megőrzése szempontjából fontos élőhelyeket a fenntartható erdőgazdálkodás megőrzi, helyreállítja és védelmezi. Az európai faipari ágazat képviselői a fenntarthatóan kezelt erdőkből származó, jogszerűen kitermelt faanyag használatát támogatják.
- 2. Szénmegkötés és -tárolás:** A fák a fotoszintézis során szén-dioxidot kötnek meg, és a szenet biomasszájukban tárolják. Ez a szén a kitermelt faanyagban is megmarad. Ez különösen az építőipari fa alapanyagok esetében jelentős, ahol jellemzően évtizedeken, vagy akár évszázadokon át tárolódik tovább a szén. Ez kulcsfontosságú és könnyen bevezethető eszköz az éghajlatváltozás mérséklésére.
- 3. Alacsonyabb energiaigény a gyártás során:** A fosszilis alapú építőanyagok életciklus-elemzése azt mutatja, hogy előállításuk és felhasználásuk során jelentősen több energiára van szükség a faipari termékek gyártásához és felhasználásához képest, mivel a fa természetes módon, a fotoszintézis erejével jön létre.
- 4. Körforgásos fa – újrafelhasználás és újrahasznosíthatóság:** A faipari termékeket jellemzően úgy tervezik, hogy funkcionális teljesítményüket a lehető leghosszabb ideig megőrizték. A gyártás során keletkező hulladékokat is felhasználják, például forgácslap és egyéb faalapú termékek előállítására. Amikor egy termékre már nincs szükség, újra felhasználható, például a parketta felszedhető az egyik épületben, és újra beépíthető egy másikban. Amikor a termékek eléri életciklusuk végét, újrahasznosíthatóak. Az újrahasznosítás során a faanyagot összegyűjtik és feldolgozzák új termékek, például faalapú panelek előállítására. Fontos megjegyezni, hogy a fa sokféle formában és többször is újrahasznosítható. Miután az újrafelhasználás és az újrahasznosítás lehetőségei kimerültek, a fa életciklusa végén bioenergia-előállítására is felhasználható, ezzel fosszilis energiahordozókat kiváltva. Emellett a faépületeket úgy is meg lehet tervezni, hogy azok alkotóelemei könnyen újra felhasználhatóak legyenek, ezt nevezik „szétszerelhetőre tervezésnek”. A fa másodlagos felhasználási útjai hatékony eszközt jelentenek mind az elérhető alapanyagbázis bővítésére, mind a fában tárolt szén hosszú távú megőrzésére.
- 5. Alacsony bennfoglalt kibocsátás:** Éghajlatvédelmi szempontból fontos nyomon követni, hogy milyen típusú energiát használtak fel egy termék előállításához, feldolgozásához és szállításához. A faipari termékekhez kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátás általában alacsonyabb, mint a hasonló, fosszilis alapú anyagokból készült termékeké. Ennek oka, hogy a faipari termékek előállítása kevesebb energiát igényel, mivel a fa természetes úton, a fotoszintézis erejével jön létre.

6. **Sokoldalúság:** A fa sokoldalú anyag, széles körű alkalmazási lehetőségekkel az építőiparban, a bútorgyártásban és a papíriparban. Ez a sokoldalúság lehetővé teszi az erőforrások hatékonyabb felhasználását. Mivel a fa könnyebb, mint más építőanyagok, ideális előregyártott, gyorsan összeszerelhető modulházak építésére, ami lehetővé teszi jó minőségű otthonok felépítését alacsonyabb áron. A fa kisebb súlya lehetőséget teremt emeletráépítésre a meglévő épületek kapacitásbővítése érdekében. Ezáltal a lakó- és üzleti terek anélkül bővíthetők, hogy a városok zöld területeire és az agglomerációs területekre kellene terjeszkedni, ami a zöldfelület csökkenését eredményezné, illetve több közlekedési infrastruktúrát is igényelne. Emellett a faszervezetek lehetővé teszik az alagutak és mélygarázsok feletti építkezést is, ahol a hagyományos építőanyagok túl nehezek lennének ahhoz, hogy nagy szerkezeteket biztonságosan felépíthessenek belőlük.
7. **Esztétikai érték:** A fát gyakran választják természetes szépsége, melege és esztétikai vonzereje miatt, amely hozzájárul a felhasználók jobb közérzetéhez (192. ábra). Ez egyúttal hosszabb termék-élettartamokat és kevesebb hulladéktermelődést is eredményezhet, mivel az emberek hajlamosabbak értékelni és karbantartani faalapú termékeiket.



192. ÁBRA

A fa bútorok és padlók nemcsak szentet tárolnak, hanem szépséget és melegséget is kölcsönöznek az otthonoknak. (Forrás: CEI-Bois – EOS 2024b)

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ – MIT JELENT EZ A GYAKORLATBAN?

17. fejezet: A faalapú szektor szerepe a körkörös biogazdaság fejlesztésében

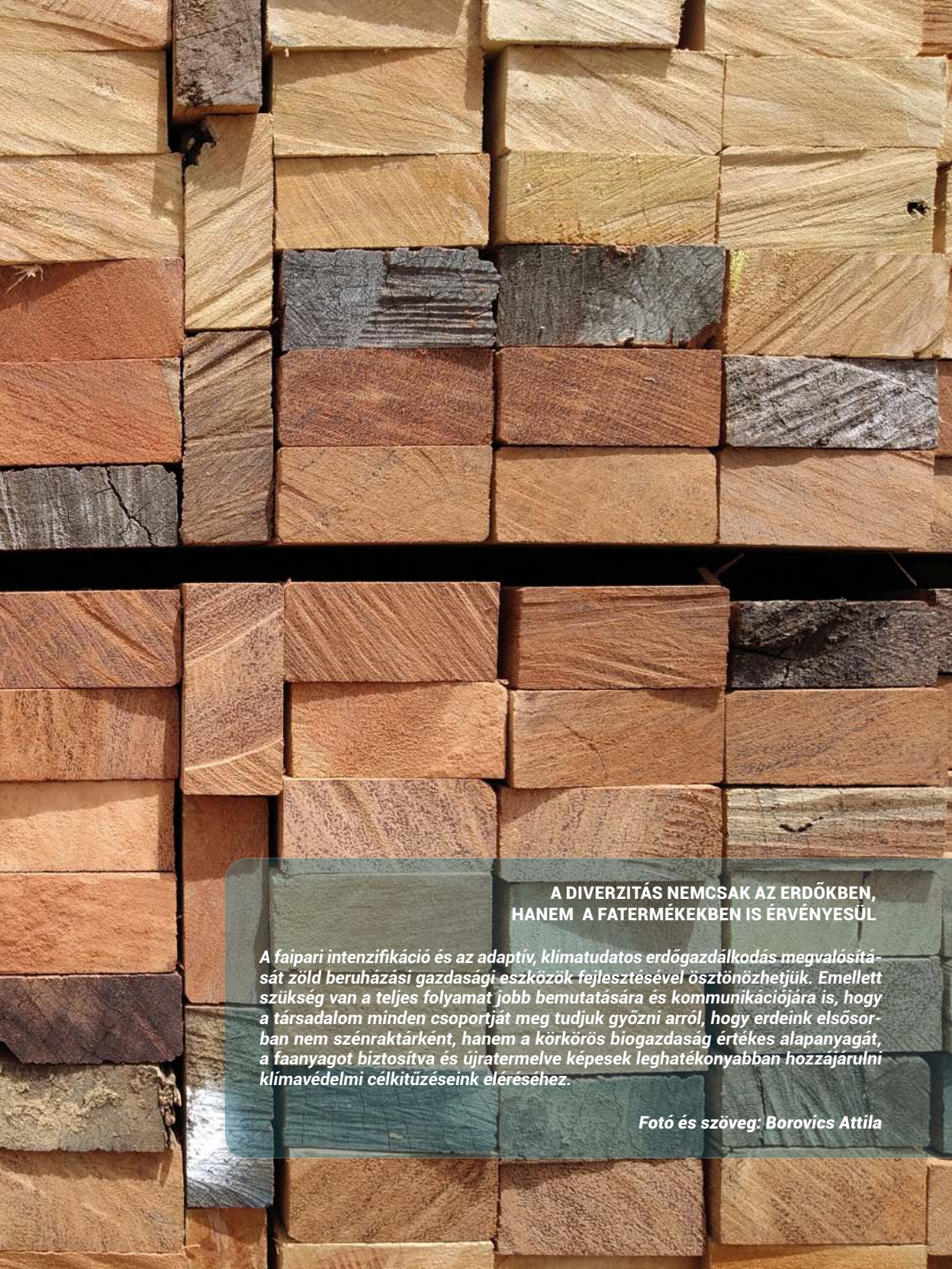
A körforgásos gazdaság olyan gazdasági modell, amely a nyersanyagok minél hosszabb ideig történő használatára, az anyagáramok körforgásban tartására és a hulladék keletkezésének minimalizálására törekszik. A biogazdaság ezzel szoros összefüggésben a megújuló, biológiai eredetű erőforrásokra alapozza a termelést és az innovációt, célja pedig a fosszilis alapú gazdaság fokozatos kivezetése.

Az erdőalapú szektor kulcsszereplő a körforgásos biogazdasági átmenetben, hiszen a fa mint megújuló és karbonsemleges nyersanyag fenntartható alternatívát kínál a fosszilis erőforrásokon alapuló iparágakkal szemben.

A bioökonómiai átmenetben kiemelt szerepet kapnak az építési fatermékek, amelyek hosszú élettartamuknak és széntárolási potenciáljuknak köszönhetően egyszerre segítik az éghajlatváltozás elleni küzdelmet és az anyagkörforgás fenntarthatóbbá tételét. A jövő biogazdaságában ezek a termékek stratégiai jelentőségűvé válhatnak, különösen az urbanizáció és a fenntartható építkezés növekvő igényei mellett.

Az európai és a hazai faipar versenyképessége és jövőképe szorosan összefügg az alapanyag-el látás fenntarthatóságával, az ipari innovációval és az éghajlatpolitikai célokkal. A szektor további erősítése érdekében szükség van az ipari kapacitások bővítésére, a fa alapanyagok jobb hasznosítására és a magas hozzáadott értékű termékek fejlesztésére. A gyakorlatban mindez azt jelenti, hogy a fa nemcsak a múlt, hanem a jövő egyik legfontosabb nyersanyaga is lehet – ha megfelelő szakpolitikai környezet és gazdasági ösztönzők támogatják a fenntartható erdőgazdálkodást, a faipari innovációt, és a faalapú termékek széles körű alkalmazását az építészetben, az energetikában és más iparágakban is.





**A DIVERZITÁS NEMCSAK AZ ERDŐKBEN,
HANEM A FATERMÉKEKBEN IS ÉRVÉNYESÜL**

A faipari intenzifikáció és az adaptív, klímatudatos erdőgazdálkodás megvalósítását zöld beruházási gazdasági eszközök fejlesztésével ösztönözhetjük. Emellett szükség van a teljes folyamat jobb bemutatására és kommunikációjára is, hogy a társadalom minden csoportját meg tudjuk győzni arról, hogy erdeink elsősorban nem szénraktárként, hanem a körkörös biogazdaság értékes alapanyagát, a faanyagot biztosítva és újratermelve képesek leghatékonyabban hozzájárulni klímavédelmi célkitűzéseink eléréséhez.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

18.

UTÓSZÓ

AZ ERDŐK

és a faipar – azaz együttesen az erdőipar – szerepe egyedülálló a klímaváltozás folyamatának mérséklésében. A klímasemlegesség 2050-ig történő elérésében az erdőalapú mitigáció, az aktív, intenzifikációval egybekötött alkalmazkodás, valamint a faipari innovációk összehangolása kulcsfontosságúak. A gazdálkodás nélküli erdőben, vagy csökkentett kitermeléssel jellemezhető erdőgazdálkodási modell esetén felhalmozódó faanyagot a fogyasztó szervezetek bontják le. Ennek során ugyanannyi szén-dioxid szabadul fel, mintha ugyanazt a faanyagot, például tűzifaégetéssel fosszilis energiahordozók kiváltására hasznosítanánk. A fenntartható erdőgazdálkodás során a fakitermeléssel és hasznosítással éppen a lebontást végző fogyasztók elöl csapoljuk meg ezt a szénforrást ügyelve egyúttal arra is, hogy az ökoszisztéma-működéshez és a biodiverzitás fenntartásához szükséges mennyiségű holtfát is hagyjunk az erdőben.

A korosztály-eloszlás eltolása az idősebb korcsoportok felé és a véghasználatok elmaradása átmenetileg és csak rövid távon csökkenti a légkör széntartalmát, miközben elmaradnak az erdők érdekében végrehajtandó, az alkalmazkodást segítő beavatkozások, mint például a fafajcserék, az előalkalmazkodott, klímarezisztens szaporítóanyaggal végzett felújítások és állománykiegészítések, valamint a kevesebb vízfelhasználást eredményező állományszerkezet kialakítását eredményező gyérítések végrehajtása.

A fentiekből következően a faanyag hasznosításának elmaradása csak rövid távon eredményezhet többletszénmegkötést, hosszabb távon korlátozza a klímaváltozás mérséklését, valamint a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodást. A legtöbb új szénmegkötést éppen az innovatív fatermékek és a faalapú termékhelyettesítések révén érhetjük el, mobilizálva az erdőkben eddig nem hasznosított favagyont. Ez az erdőgazdálkodás intenzifikációjával egybekötött faipari innováció, mint erdőipari fejlesztés az, amely a legtöbb szénmegkötést képes 2050-re eredményezni. Egyben ez a mitigációs út képes elősegíteni a körkörös biogazdaság megvalósítását, melynek a faalapú termékek és energiahordozók fontos pillérét képezik.

A szén-dioxid-árzás a mitigációs intézkedéseket elősegítő hatékony ösztönző. Az EU által létrehozott egységes és átláthatóan szabályozott önkéntes karbonpiac lehetőséget teremthet a klímamitigáció, mint ökoszisztéma-szolgáltatás bearázására és megfelelő finanszírozására. A karbonpiac azonban csakis akkor válhat a biogazdaság kibontakozásának megfelelő eszközévé, hogyha a bioszférában és a technoszférában megvalósuló széntárolást mindkét területen elismeri és premizálja.

A faipari intenzifikáció és az adaptív, klímatudatos erdőgazdálkodás megvalósítását zöld beruházási gazdasági eszközök fejlesztésével ösztönözhetjük. Emellett szükség van a teljes folyamat jobb bemutatására és kommunikációjára is, hogy a társadalom minden csoportját meg tudjuk győzni arról, hogy erdeink elsősorban nem szénraktárként, hanem a körkörös biogazdaság értékes alapanyagát, a faanyagot biztosítva és újratermelve képesek leghatékonyabban hozzájárulni klímavédelmi célkitűzéseink eléréséhez.

Ennek az üzenetnek megalapozása volt könyvünk célja is – örömmel töltene el, hogyha hozzájárulhatna ennek a szemléletnek a meghonosításához, szélesebb körű elfogadtatásához.

Sárvár, 2026. április

A Szerkesztő



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom a szerzőtársaknak, akik közös munkájukkal és szakmai vitáikkal formálták könyvünk üzenetét a fenntartható erdőgazdálkodás, az erdőalapú mitigáció és a faipari innováció összehangolásáról.

Külön hálaikat fejezzük ki lektorainknak: precíz észrevételeik és gondos szöveggondozásuk a fejezeteket pontosabbá és közérthetőbbé tette.

Köszönjük mindazok támogatását – intézményi és gyakorlati partnereiket egyaránt –, akik hozzájárultak ahhoz, hogy a körkörös biogazdasági szemlélet minél többekhez eljusson.

Fotó és szöveg: Borovics Attila

- Adaptáció:** Az alkalmazkodási intézkedések megtervezése és kivitelezése a klímaváltozás hatásainak enyhítésére.
- Addicionalitás:** A klímapolitikai kontextusban azt jelenti, hogy egy intézkedés vagy szénelnyelő projekt olyan többlethatást eredményez, amely a projekt nélkül nem következett volna be. Például egy új erdőtelepítés akkor „addicionális”, ha az adott területen nem történt volna fásítás a klímamitigációs projekt ösztönző hatása nélkül. Fontos feltétel a karbonkreditek hitelesítésében is.
- Aeroszol:** Szilárd vagy folyékony részecskék a levegőben (például por, korom, szulfátok), amelyek visszaverik vagy elnyelik a napsugarakat. Hűtő hatásuk lehet, de légúti problémákat is okoznak.
- AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use):** Az IPCC által alkalmazott tágabb szektor, amely az agrárium (például állattenyésztés, trágyakezelés, rizstermesztés), az erdőgazdálkodás és minden egyéb földhasználati forma kibocsátásait és szénelnyelőseit foglalja magában.
- Agrárerdészet:** Az agrárerdészet olyan földhasználati rendszer, amelyben fásszárú évelő növényeket, például fákat, cserjéket, pálmákat vagy bambuszt integrálnak szántóföldi kultúrákkal, legelőgazdálkodással és állattartással. A fák és egyéb növények különböző térbeli vagy időbeni mintázatokban való alkalmazása hozzájárul a talaj minőségének javításához, a biodiverzitás növeléséhez, az ökológiai egyensúly fenntartásához, valamint a fenntartható mezőgazdasági termeléshez és az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez.
- Alulhasznosított fafaj:** Olyan hazai fajok, amelyek faanyaga jelenleg nem, vagy csak kismértékben kerül ipari feldolgozásra. Innováció segítségével ezekből is készülhetnek hosszú élettartamú termékek.
- Átmeneti kredit:** Időszakosan fennálló szénmegkötésért kibocsátott karbonkredit – például élő biomasszában vagy termékekben történő széntárolás esetében.
- Atmoszféra:** A Földet körülvevő levegőréteg, amely több gáznemű összetevőből áll (például nitrogén, oxigén, szén-dioxid, víz). Fontos szerepe van a hőmérséklet-szabályozásban és az éghajlati rendszer működésében.
- Audit:** Független ellenőrzési folyamat, amely azt vizsgálja, hogy a projekt megfelel-e a szabályoknak és előírásoknak.
- B:** Bükk
- Baseline:** Bázisvonal – Kiindulási állapot vagy alapforgatókönyv, amelyhez képest a klímavédelmi intézkedések vagy projektek kibocsátás-csökkentési vagy szénmegkötési hatását mérik. Lehet standardizált vagy egyedi (projektspecifikus).
- BAU (Business as Usual):** Olyan referenciaforgatókönyv, amely feltételezi, hogy a jelenlegi trendek beavatkozás nélkül folytatódnak.
- Bázisvonal:** Kiindulási állapot vagy alapforgatókönyv, amelyhez képest a klímavédelmi intézkedések vagy projektek kibocsátás-csökkentési vagy szénmegkötési hatását mérik. Lehet standardizált vagy egyedi (projektspecifikus).
- BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage):** Biomasszából előállított energia, szénmegkötéssel kombinálva – „negatív kibocsátású” technológia.
- Bennfoglalt kibocsátás:** A termék előállítása, feldolgozása és szállítása során keletkező rejtett CO₂-kibocsátás, amely gyakran nem szerepel a vásárláskor látható kibocsátásban, de klímapolitikailag jelentős.
- Bevétel jelenértéke:** A jövőben várható bevételek jelenlegi pénzben kifejezett értéke, diszkontrátával számítva. Kulcsfontosságú a karbonprojektek gazdasági elemzésekor.

- BIM (Building Information Modeling):** Építményinformációs modellezés: digitális, 3D-alapú épületmodellek, amelyek lehetővé teszik a teljes életciklus környezeti hatásainak nyomon követését.
- Bioalapanyagok:** Megújuló biológiai forrásból származó nyersanyagok – például fa, bambusz, cukornád stb. – alternatívát jelentenek a fosszilis nyersanyagokkal szemben.
- Biodiverzitás:** Az élő szervezetek sokfélesége minden szinten: gének, fajok, ökoszisztémák. Kiemelkedő jelentőségű az ökoszisztéma stabilitása, ellenállóképessége és szolgáltatásai szempontjából. Az erdők biodiverzitásmegőrző funkciója kulcsszerepet játszik a természetes ökoszisztémák fennmaradásában.
- Bioenergia:** Biomasszából (például fa, növényi hulladék) előállított energia. A szénsemleges vagy szénpozitív megoldások egyik formája lehet.
- Biofinomítók:** Olyan létesítmények, amelyek a biomasszából élelmezésre, takarmányozásra és ipari felhasználásra alkalmas anyagokat vonnak ki, illetve üzemanyagot, elektromos áramot és hőt állítanak elő belőle lépcsőzetes technológiai folyamatokon keresztül.
- Biomassza:** Növényi vagy állati eredetű szerves anyag, amely energiahordozóként vagy nyersanyagként hasznosítható.
- Bioökonómia:** Az élő rendszerekre, főként biomasszára épülő gazdasági modell, amely támogatja a fenntartható erőforrás-felhasználást és a faalapú iparágakat.
- Boreális erdők:** Az északi félteke magasabb szélességi öveiben (Kanada, Oroszország, Skandinávia) elterülő tűlevelű erdők.
- Carbon Budget Modell:** Kanada fejlesztésű szénforgalmi modell, melyet gyakran használnak EU-szintű klímapolitikai elemzésekhez is.
- Carbon Farming:** Szénmegkötő gazdálkodás vagy karbongazdálkodás – olyan mezőgazdasági és erdészeti gyakorlatok összessége, amelyek nettó szénmegkötést eredményeznek a talajban vagy biomasszában.
- Carbon Removal and Carbon Farming (CRCF) rendelet:** Az EU 2024-es rendelete a tartós szén-dioxid-eltávolítás, a karbongazdálkodás és a termékekben való szén-dioxid-tárolás uniós tanúsítási keretrendszeréről. EU-szinten szabályozott önkéntes karbonpiacot hoz létre, ezzel lehetővé téve a szénmegkötő megoldások (pl. BECCS, szénmegkötő technológiák, karbon farming, széntárolás hosszú élettartamú termékekben) magas minőségű tanúsítását és ehhez kapcsolódóan karbonkreditek forgalmazását.
- CRCF: Carbon Removal and Carbon Farming** – Az EU 2024-es rendelete a tartós szén-dioxid-eltávolítás, a karbongazdálkodás és a termékekben való szén-dioxid-tárolás uniós tanúsítási keretrendszeréről.
- CS:** Cser
- DAS-modell (Distributions Applied on Stands):** Erdőállomány-prognózis modell, amely az Országos Erdőállomány Adattár adatszerkezetével kompatibilis, és erdőrésztlet-szintű, térben explicit előrejelzéseket ad. E modellen alapult a *Forest Industry Carbon Model* (FICM) megalkotása.
- Degradáció:** Ökológiai kontextusban a degradáció az élőhelyek, talajok, vízforrások vagy ökoszisztémák állapotának romlását jelenti, amely csökkenti azok biológiai sokféleségét, termékenységét és funkcionalitását.
- Dekarbonizáció:** A gazdaság szénmentesítése – fosszilis energiahordozók kivezetése és alternatív rendszerek bevezetése.
- Dendromassza:** A dendromassza a fás biomassa, azaz a fák lignifikált részeit (törzs, ágak, kéreg, gyökerek) foglalja magában.

Dinitrogén-oxid (N₂O): Üvegházhatású gáz, mezőgazdasági műtrágyahasználat révén jelentős kibocsátása történik. Hőmegtartó képessége, azaz üvegházhatása kb. 300-szor nagyobb, mint a szén-dioxidé.

Direkt ÜHG-emisszió: Az adott projekt vagy tevékenység során közvetlenül a légkörbe jutó kibocsátás (pl. gépek működése, égetés).

EFI (European Forest Institute): Európai kutatóintézet, amely az erdőkkel és erdőpolitikával kapcsolatos tudásbázist épít, és szakpolitikai ajánlásokat készít.

Éghajlatváltozási Keretegyezmény (UNFCCC): Az ENSZ 1992-es egyezménye az éghajlatváltozás kezelésére. Alapja a nemzetközi klímátárgyalásoknak.

EKL: egyéb keménylomb

ELL: egyéb lágylomb

Előhasználat: Részleges fakitermelés a véghasználat előtt (gyérítés), célja a faállomány szerkezetének javítása.

Emisszió: Üvegházhatású gázok kibocsátása a légkörbe.

Energiahelyettesítés: A fosszilis energiahordozók (például szén, földgáz) kiváltása megújuló energiaforrásokkal – például biomasszával. Az erdőgazdaságban ez például tűzifa vagy faapríték energetikai hasznosítását jelenti, figyelemmel a fenntartható kitermelésre.

ENSZ (Egyesült Nemzetek Szervezete): 1945-ben alapított nemzetközi szervezet, amely a béke fenntartását, emberi jogokat és fenntartható fejlődést segíti elő. A klímaváltozás elleni küzdelem fő kereteit is az ENSZ intézményei adják: például UNFCCC, IPCC.

ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljai (SDG-k): 17 globális cél, melyet az ENSZ határozott meg a 2030-ig elérendő fenntartható fejlődés érdekében.

Enterikus fermentáció: A kérődző állatok (pl. szarvasmarhák) gyomrában különleges emésztési folyamat zajlik. Mivel ezek az állatok sok rostos növényt fogyasztanak, a bendőjükben élő mikroorganizmusok segítenek lebontani a nehezen emészthető cellulózt. Ezt a folyamatot nevezzük enterikus fermentációnak. A lebontás során azonban nemcsak tápanyag szabadul fel az állat számára, hanem metán (CH₄) gáz is keletkezik. Ez a metán az állat bőfűgésével és kisebb részben a leheletével a légkörbe kerül. A metán üvegházhatású gáz, amely rövid távon jóval erősebben melegíti a klímát, mint a szén-dioxid. Emiatt a nagy állatállománnyal rendelkező országok mezőgazdasági kibocsátásának egyik fő forrása az enterikus fermentáció.

Építési fatermék: Az építési fatermékek köre tágabb az épületfánál, azaz a tömörfa fűrészarunál, amelyet a tetőszerkezetek összeállításához használnak, ideértjük még az ajtót/ablakot, a forgácsból előállított fatéglát, illetve a hő- és hangszigetelő paneleket is.

Erdészeti és faipari szektor: Az erdőgazdálkodási és faipari ágazatok együttesét jelölő kifejezés. Kiemeli a két fő terület (erdőgazdálkodás és faipar) együttműködését, kölcsönhatását és összekapcsolódását. Az erdészeti és faipari szektor kulcsszereplő a körforgásos biogazdaságban, mivel a fa, mint megújuló és karbonsemleges nyersanyag fenntartható alternatívát kínál a fosszilis anyagokkal szemben. Szinonimái: erdőipar, fagazdaság, erdőalapú szektor, faalapú szektor.

Erdő 4.0: Az erdőgazdálkodás digitalizált modellje: szenzorok, távérzékelés, döntéstámogató rendszerek alkalmazása az erdők állapotának és hasznosításának optimalizálására.

Erdőalapú szektor: Gyűjtőfogalom, amely az erdőgazdálkodásra, a faanyag kitermelésére, feldolgozására és hasznosítására épülő gazdasági és ökológiai rendszert jelöli. Az erdőalapú szektor kulcsszereplő a körforgásos biogazdaságban, mivel a fa, mint megújuló és karbonsemleges

nyersanyag fenntartható alternatívát kínál a fosszilis anyagokkal szemben. Szinonimái: erdőipar, fagazdaság, erdészeti és faipari szektor, faalapú szektor.

Erdőipar: Gyűjtőfogalom, amely az erdőgazdálkodásra, a faanyag kitermelésére, feldolgozására és hasznosítására épülő gazdasági és ökológiai rendszert jelöli. Kulcsszerepet játszik a bioökonómiában, a klímavédelemben és a fenntartható anyaghasználatban. Magában foglalja az erdők fenntartható kezelését, a fakitermelést, a fa feldolgozását és a fatermékek előállítását, valamint ezek gazdasági, környezeti és társadalmi szerepét. A magyar erdőipar egyik fő kihívása a kihasználatlan favagyon fenntartható mozgósítása és a faanyag klímatudatos hasznosítása. Szinonimái: fagazdaság, erdőalapú szektor, erdészeti és faipari szektor, faalapú szektor.

ESR (Effort Sharing Regulation): Az EU-s kibocsátás-csökkentési célok megosztását szabályozza a nem ETS-es szektorokban (például közlekedés, mezőgazdaság).

ETS (Emissions Trading System): Az Európai Unió kibocsátáskereskedelmi rendszere, amely meghatározott szektorokra (energia, ipar) kötelező kvótakereskedelmet ír elő.

Expert Group on Carbon Removals: Az EU Bizottság tanácsadó testülete, amely irányelveket, technikai kritériumokat dolgoz ki a széneltávolítás és a szénmegkötő gazdálkodás tanúsítása vonatkozásában.

Ex-post kredit kibocsátás: Olyan karbonkredit, amelyet utólag, a projekt megvalósulása és auditálása után bocsátanak ki.

EXT: Extenzifikációs forgatókönyv.

Extenzifikáció: Az erdőgazdálkodás azon irányzata, amely csökkenti az emberi beavatkozás intenzitását, és előtérbe helyezi a természetes folyamatokat. Az extenzív erdőkezelés például hosszabb vágásfordulókat, ritkább beavatkozásokat, kevesebb gépesítést és alacsonyabb fakitermelési rátát alkalmaz.

F: Fenyő

Faalapú szektor: Olyan gazdasági szektor, amely a faanyagra mint megújuló nyersanyagra épül, és kiterjed a fenntartható erdőgazdálkodástól, a fakitermelésen és -feldolgozáson át a végső termékekig. Emellett magában foglalja a faanyag helyettesítő szerepét is más, karbonintenzív anyagokkal szemben. A faalapú szektor kulcsszereplő a körforgásos biogazdaságban, mivel a fa, mint megújuló és karbonsemleges nyersanyag, fenntartható alternatívát kínál a fosszilis anyagokkal szemben. Szinonimái: erdőipar, fagazdaság, erdőalapú szektor, erdészeti és faipari szektor.

Fagazdaság: Olyan tág értelemben vett gazdasági szektor, amely az erdők kezeléséből, a faanyag kitermeléséből és feldolgozásából, valamint a fatermékek felhasználásából áll. Gyakran használják az erdőgazdálkodás és faipar összefoglaló megnevezéseként. A fagazdasági szektor kulcsszereplő a körforgásos biogazdaságban, mivel a fa, mint megújuló és karbonsemleges nyersanyag, fenntartható alternatívát kínál a fosszilis anyagokkal szemben. Szinonimái: erdőipar, erdőalapú szektor, erdészeti és faipari szektor, faalapú szektor.

Faipari innováció: Új technológiák, anyagok vagy termékek bevezetése a faalapú iparágakban – például faépítészet fejlesztése, ligninalapú anyagok.

Fakészlet: Az erdőkben található élő fák összes fatérfogata; növelése hozzájárulhat a szénmegkötéshez, de a túlzott növekedés csökkentheti az ökológiai ellenálló képességet.

Fenntartható Finanszírozási Keretrendszer: Az EU pénzügyi rendszerének azon része, amely a fenntartható gazdasági tevékenységeket támogatja (például taxonómia, zöld kötvények).

Fenntarthatóság: Olyan fejlődési modell, amely kielégíti a jelen szükségleteit a jövő generációk lehetségeinek veszélyeztetése nélkül.

- FICM: Forest Industry Carbon Model** – azaz Erdőipari Szén Modell, hazai fejlesztésű szénmérleg-előrejelző rendszer, mely az ErdőLab-projekt keretében jött létre.
- Financiális adicionalitás:** A karbonprojektek csak akkor jogosultak kreditekre, ha a karbonpiaci bevétel ösztönző hatása nélkül nem lennének pénzügyileg kifizetődőek és nem valósulhatnának meg.
- FMRL (Forest Management Reference Level):** A Kiotói Jegyzőkönyv szerinti referenciaérték, amelyhez képest az erdőgazdálkodásból származó szénmérleget mérik.
- Fosszilis alapanyagok:** Nem megújuló, szénelapú energiahordozók és ipari nyersanyagok (például kőolaj, földgáz), amelyek jelentős ÜHG-kibocsátást okoznak.
- Földhasználati szektor:** A földhasználathoz kapcsolódó gazdasági és ökológiai tevékenységeket magába foglaló szektor, amelybe a mezőgazdaság, az erdőgazdálkodás, a gyepek és más földhasználati formák tartoznak. Sajátossága, hogy egyaránt hozzájárulhat az üvegházhatásúgáz-kibocsátásához (például erdőirtás, talaj szénvesztése) és az elnyeléséhez (például erdők, gyepek szénmegkötése). A földhasználati szektor különleges szereplője a klímamitigációnak, mivel az itt alkalmazott gyakorlatok döntően befolyásolják a nettó szén-dioxid-mérleget.
- FRL (Forest Reference Level):** Az EU-s LULUCF elszámoláshoz használt erdőreferenciaérték, melyet Magyarország a CASMOFOR-NFD modellel állapított meg.
- FÜ:** Fűz
- Fűrészüzem 4.0:** A fűrészipari feldolgozás digitalizált, automatizált, adatvezérelt változata, amely növeli a hatékonyságot és csökkenti a hulladékképződést.
- Geotermikus energia:** A Föld belső hőjéből származó energiaforrás, fenntartható és alacsony szén-dioxid-kibocsátással jár.
- Green Deal:** Az európai Zöld megállapodás, amely célul tűzi ki, hogy 2050-re klímasegélyes legyen az EU.
- Green washing:** Angol kifejezés magyarul zöldre mosás, vagy zöldre festés. Olyan marketingstratégia, mely arra irányul, hogy egy valójában környezetszennyezést okozó termelési folyamatot vagy terméket környezetbarátként tüntessen fel a gyártó.
- GY:** Gyertyán
- Halogénezett szénhidrogén gázok:** Szintetikus vegyületek (például HFC-k, PFC-k), amelyeket hűtőközegként, oldószerként használnak. Nagyon erős az üvegházhatásuk, tartósan megmaradnak a légkörben.
- HFC-k (hidrofluorkarbonok):** Mesterséges ÜHG-k, klímaberendezések és hűtőgépek hűtőközegeként alkalmazzák. Nem roncsolják az ózonréteget, de erősen üvegházhatásúak.
- HNY:** Hazai nyár
- Holocén:** A jelenlegi földtörténeti időszak, amely kb. 11 700 évvel ezelőtt kezdődött az utolsó glaciális periódus után. Az emberi civilizáció kialakulásának korszaka.
- HWP (Harvested Wood Products):** Faalapú termékek, amelyek közé tartozik a fűrészáru (pl. gerendák, deszkák), a különféle lap- és ragasztott fatermékek (pl. rétegelt lemez, OSB – *Oriented Strand Board*, MDF – *Medium Density Fibreboard*, CLT – *Cross-Laminated Timber*), valamint a papír- és kartontermékek. Ezek a fatermékek erdőn kívüli széntárolást valósítanak meg, és jelentős szerepet játszanak a karbonintenzív anyagok (például acél, beton, műanyag) helyettesítésében, továbbá tartós beépítésük révén hozzájárulnak az épített környezet dekarbonizációjához.
- IFM (Improved Forest Management):** Javított erdőgazdálkodás – erdőkezelési gyakorlatok, amelyek fokozzák a szénmegkötést vagy csökkentik a kibocsátást a hagyományos gazdálkodáshoz képest.

Illusztratív mitigációs útvonal (IMP): Az IPCC által bemutatott példajellegű kibocsátás-csökkentési pályák, amelyek különböző technológiai és társadalmi stratégiákat modelleznek.

Improved Forest Management (IFM): Javított/Klíma barát erdőgazdálkodás – Olyan erdőkezelési gyakorlatok, amelyek fokozzák a szénmegkötést vagy csökkentik a kibocsátást a hagyományos gazdálkodáshoz képest.

Indirekt ÜHG-emisszió: Más rendszerekből származó kibocsátások, amelyek egy tevékenység következményei (például vásárolt áram miatt keletkező kibocsátás).

INT: Intenzifikációs forgatókönyv.

Intenzifikáció: Az intenzifikáció az erdőgazdálkodásban a technológiai fejlesztést, az előrelátó szaporítóanyag-gazdálkodást és a faipar és fafeldolgozás fejlesztését jelenti. Magasabb hozam, gyorsabb növekedés és szénmegkötés, sűrűbb beavatkozások jellemzik.

Interglaciális időszak: A jégkorszakok közötti melegebb időszak, amikor a gleccserek visszahúzódnak, a tengerszint emelkedik. A jelenlegi holocén is ilyen időszak.

Ipar 4.0: Az ipari termelés negyedik forradalma, amely a digitalizáció, automatizálás, szenzoros adatgyűjtés és mesterséges intelligencia integrálására épül.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete, amely tudományos értékeléseket készít a klímaváltozásról, hatásairól és enyhítési lehetőségeiről.

IPCC-útmutatók: Az IPCC által kiadott módszertani kézikönyvek, amelyek az üvegházhatású gázleltárak összeállítását szabályozzák.

Irány az 55%! (Fit for 55): Az Európai Unió jogszabálysomagja, amelynek célja, hogy 2030-ra legalább 55%-kal csökkentse az EU üvegházhatású-gázkibocsátását az 1990-es szinthez képest. Ez a célkitűzés a 2021-es Európai Klímátörvényben került jogilag rögzítésre, és része az EU hosszú távú klímastratégiájának, amelynek végső célja a klímasemlegesség elérése 2050-re.

ITMO (Internationally Transferred Mitigation Outcomes): A Párizsi Egyezmény 6. cikke alapján országok között átruházható kibocsátás-csökkentési eredmények.

Jogi adicionalitás: Az önkéntes karbonpiaci projekt által végrehajtott intézkedés, vagy az elért kibocsátás-csökkentés nem lehet jogilag kötelező – csak a nem kötelező jellegű többleteljesítmény elszámolható.

Jóváírás: A karbonpiacokon egy projekt által elért kibocsátáscsökkentés hivatalos elismerése (kredítként).

KAP (Közös Agrárpolitika): Az Európai Unió mezőgazdaságra és vidékfejlesztésre vonatkozó politikája, amely 2023-tól kiemelten kezeli a klíma- és környezetvédelmi szempontokat is.

Karbonárzás: Gazdasági eszköz, amely a szénkibocsátásnak piaci árat ad, ösztönözve a kibocsátás csökkentését.

Karbondzárkodás: Szénmegkötő gazdálkodás vagy idegen szóval *Carbon Farming* – olyan mezőgazdasági és erdészeti gyakorlatok összessége, amelyek nettó szénmegkötést eredményeznek a talajban vagy a biomasszában.

Karbonkredit: Kereskedelmi értékű „jóváírás” egy tonna CO₂-egyenérték elkerüléséért vagy megkötéséért; több stratégia létezik az erdőalapú kreditálásra.

Karbonpiac: A szén-dioxid-kibocsátások és/vagy -megkötések adásvételét lehetővé tevő piaci rendszer. Célja, hogy költséghatékony módon ösztönözze a kibocsátások csökkentését.

Kaszád anyaghasználat: Fenntartható erőforrás-gazdálkodási stratégia, amely arra összpontosít, hogy az anyagokat, különösen a fa- és biomassza-alapú anyagokat, több egymást követő,

értéknövelt lépésben használják fel, mielőtt véglegesen hulladékká válnak, vagy energetikai hasznosításra kerülnek. A cél, hogy az anyagok élettartama minél hosszabb legyen, és az értékes erőforrások minél tovább szolgálják a gazdaságot, miközben minimalizálják a hulladékképződést és csökkentik az új nyersanyagok iránti keresletet.

Kiotói Jegyzőkönyv: 1997-ben elfogadott, 2005-ben hatályba lépett nemzetközi szerződés, amely kötelező kibocsátás-csökkentési célokat határozott meg a fejlett országok számára. A Párizsi Egyezmény előfutára volt.

Klímaemulátor: Egyszerűsített éghajlati modell, amely gyorsan képes különféle kibocsátási scenáriók hatásait előrejelezni.

Klímapolitika: A kormányzati vagy nemzetközi döntések összessége, amelyek célja a klímaváltozás kezelése.

Klímarezisztens szaporítóanyag: Olyan növényi szaporítóanyag (például csemete, mag), amely ellenállóbb az éghajlatváltozás hatásaival szemben, és hozzájárulhat az alkalmazkodáshoz.

Klímasemlegesség: Az az állapot, amikor a kibocsátott és elnyelt szén-dioxid-mennyisége egyenúlyban van. Az EU célja, hogy 2050-re klímasemleges legyen.

Klímaszcenário: Tudományosan modellezett jövőképek a klímaváltozás várható hatásairól és azok kezeléséről.

Klímaváltozás: Globális folyamat, amelyet elsősorban az emberi eredetű üvegházgáz-kibocsátás okoz.

Körforgásos gazdaság: Olyan gazdasági modell, amely a hulladék minimalizálására és az erőforrások újrahasznosítására épül.

Krioszféra: A Földön található fagyott vízkészlet összessége: jégtakarók, gleccserek, permafroszt, hó. Fontos szerepe van a fényvisszaverésben és a tengerek vízszintjének alakulásában.

Kvóta: Az üvegházhatásúgáz-kibocsátására vonatkozó korlát, amely meghatározza, hogy egy vállalat vagy ország mennyi szén-dioxidot bocsáthat ki egy adott időszakban. A kvóták forgalmazhatóak is, tehát ha egy szereplő nem használja fel a számára kiadott kvótát, azt eladhatja másoknak.

LCA (Life Cycle Assessment): Életciklus-elemzés – egy termék vagy szolgáltatás környezeti hatásainak átfogó értékelése annak teljes életciklusa során (kitermeléstől ártalmatlanításig).

Lineáris gazdasági berendezkedés: Olyan hagyományos gazdasági modell, amely a termelés és fogyasztás egyszerű „kitermelés–gyártás–fogyasztás–hulladék” útvonalt követi. Ebben a rendszerben az alapanyagokat nyersanyagokból szerzik be, termékeket állítanak elő belőlük, majd a termékek elhasználódnak, és végül hulladékként kerülnek ki a gazdaságból. A fő jellemzője az anyagok és erőforrások egyszeri felhasználása, és az, hogy a termelési folyamatok végén a keletkező hulladékok nem kerülnek visszaforgatásra vagy újrahasznosításra.

LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry): Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény (UNFCCC) és az EU-szabályozásában használt szűkebb szektor, amely kizárólag a földhasználatból, annak változásaiból és az erdőgazdálkodásból származó kibocsátásokat és nyeléseket számolja el, de nem tartalmazza a mezőgazdasági termelés közvetlen kibocsátásait.

LULUCF CAP: A LULUCF-szektor kibocsátásainak maximális elszámolható mértéke („cap” = sapka).

LULUCF-célérték: A földhasználati szektor számára előírt országos szintű nettó szénmegkötési cél, melyet EU-jogszabály határoz meg.

Makrogazdaság: A gazdaság átfogó mutatóival (például GDP, foglalkoztatás, infláció) foglalkozó gazdaságtudományi terület.

Megfelelőségi tanúsítvány: A karbonpiaci rendszerben kiállított dokumentum, amely igazolja, hogy egy projekt megfelel a vonatkozó előírásoknak és jogosult kreditek kibocsátására.

- Metán (CH₄):** Rövidebb távon sokkal erősebb üvegházhatású gáz, mint a CO₂, főként mezőgazdasági és hulladékforrásokból származik.
- Mitigáció:** Az éghajlatváltozás mérséklését, illetve az erre irányuló intézkedéseket jelenti, amelyek elsősorban az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentésére összpontosítanak. Ennek érdekében különféle stratégiák alkalmazhatók, mint például a megújuló energiaforrások használata, az energiahatékonyság javítása és a szén-dioxid-elnyelésének növelése. A klímamitigáció célja a globális felmelegedés ütemének lassítása és a jövőbeli környezeti károk megelőzése.
- Mitigációs potenciál:** Az a képesség vagy lehetőség, amellyel egy adott rendszer, tevékenység vagy intézkedés képes csökkenteni a klímaváltozás okozta káros hatásokat, különösen az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának mérséklésével. Ez a potenciál különböző ágazatokban (például energia, közlekedés, mezőgazdaság, erdőgazdálkodás) mérhető, és azt jelzi, hogy milyen mértékben lehet csökkenteni a kibocsátásokat az adott intézkedések révén. A mitigációs potenciál figyelembevételével hatékonyan tervezhetők és értékelhetők a klímabarát intézkedések és stratégiák.
- Monitoring:** Rendszeres adatgyűjtés és értékelés egy projekt (pl. szénmegkötés, erdőkezelés) teljesítményének nyomon követésére.
- Multiplifikátor:** Gazdasági hatásszorító – megmutatja, hogy egy kiadás vagy beruházás milyen mértékű többletjáratot idéz elő a gazdaságban.
- NDC (Nationally Determined Contribution):** Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) keretében az országok által önként vállalt kibocsátás-csökkentési célkitűzések.
- NF₃ (nitrogén-trifluorid):** Főként az elektronikai iparban használatos, nagyon erős ÜHG.
- NIR:** National Inventory Report – nemzeti üvegházhatásúgáz-leltárjelentés az üvegházhatásúgáz-kibocsátásairól és nyeléséről.
- NÖSZTÉP:** Nemzeti ökoszisztéma-szolgáltatás-térképezés és értékelés projekt. A NÖSZTÉP projekt módszertani alapokat dolgozott ki a szénmegkötés, széntárolás, árvízszabályozás, rekreáció és földhasználat-változások hatásainak értékelésére.
- NNY:** Nemesnyár
- OEA:** Országos Erdőállomány Adattár – a magyar erdők állományleíró adatai tartalmazó erdőrésztlet-szintű hatósági adatbázis.
- Ökoszisztéma:** Olyan természeti rendszer, amelyben élőlények (pl. növények, állatok, mikroorganizmusok) és azok környezete (például levegő, víz, talaj) kölcsönhatásban állnak egymással. Az ökoszisztéma működése az energia- és tápanyagáramlásra, valamint a biológiai interakciókra épít, és fenntartja az életfolyamatokat, mint például a fotoszintézist, a táplálékláncokat és az anyagciklusokat. Az ökoszisztémák lehetnek különböző méretűek és típusúak, mint például erdők, tavak, óceánok, vagy akár városi zöldterületek, és kulcsszerepet játszanak a biodiverzitás fenntartásában és az emberi életminőség javításában.
- Ökoszisztéma-szolgáltatás:** Azok a hasznok és funkciók, amelyeket a természet nyújt az emberiség számára – például élelmiszer, víz, klímaszabályozás, beporzás, esztétikai élmény.
- Önkéntes karbonpiac (VCM):** A vállalatok és magánszereplők által használt, nem kötelező jellegű kibocsátás-csökkentési piac.
- Párizsi Egyezmény:** Az ENSZ 2015-ös éghajlati egyezménye, amely célul tűzi ki a globális felmelegedés 1,5–2 °C alatt tartását. Az országok saját vállalásokat tesznek a kibocsátás csökkentésére és az alkalmazkodásra vonatkozóan.
- Permanens kredit:** Évszázados időtávú vagy végérvényes szénkivonást igazoló kredit, pl. geológiai tárolás.

- PFC-k (perfluorkarbonok):** Alumíniumgyártás, félvezetőgyártás melléktermékei. Rendkívül hosszú életű ÜHG-k, akár 50 000 évig is a légkörben maradhatnak.
- Primer energetikai felhasználás:** A nyers, elsődleges energiaforrások (például fa, olaj, szén) közvetlen energetikai hasznosítása.
- QU.A.L.ITY kritériumok:** EU-s kritériumrendszer a karbonprojektek minősítésére: számszerűsíthetőség, adicionalitás, tartósság, fenntarthatóság.
- REDD+:** Erdőirtás és erdőpusztulás csökkentése, erdőmegőrzés, fenntartható erdőgazdálkodás és szénmegkötés támogatása fejlődő országokban – az ENSZ programja.
- REDIII-direktíva:** Az EU megújuló energiaforrásokról szóló irányelvének (RED – *Renewable Energy Directive*) harmadik, frissített változata, amely szigorúbb fenntarthatósági és kibocsátási kritériumokat ír elő.
- SF₆ (kén-hexafluorid):** Az egyik legerősebb üvegházhatású gáz, főként nagyfeszültségű villamos berendezésekben használják. Élettartama közel 3200 év.
- SiteViewer 3.0:** Erdészeti döntéstámogatási szoftver, amely a változó klímához és termőhelyi viszonyokhoz való alkalmazkodást segíti.
- SSP (Shared Socioeconomic Pathways):** Közös társadalmi-gazdasági útvonalak egy olyan az IPCC által használt globális jövőbeli forgatókönyvrendszer, amelyet a klímaváltozás modellezésére és előrejelzésére használnak. Az SSP-k a társadalmi és gazdasági fejlődés lehetséges pályáit írják le, figyelembe véve a demográfiai változásokat, a gazdasági növekedést, a politikai döntéseket, a technológiai fejlődést és a környezeti erőforrások használatát.
- Standardizált bázisvonal:** Egységes, előre meghatározott referenciaérték az önkéntes karbonpiaci projektekben, amelyet az EU Bizottság határoz meg az összehasonlíthatóság érdekében.
- Szanitációs rendszer:** Az emberi hulladék és szennyvíz higiénikus kezelésére és eltávolítására szolgáló infrastruktúra.
- Szárazsági határ:** Az a vonal vagy küszöb, amelyen túl egy faj vagy ökoszisztéma nem képes túlélni a vízhiány miatt. Ez jelöli az elterjedésnek azon határát, ahol a környezeti feltételek túl szárazak ahhoz, hogy a faj fennmaradjon. Ezt a határt elsősorban a csapadék mennyisége, a párolgás és a talajnedvesség határozza meg.
- Scenárió:** Modellezett jövőkép – különféle társadalmi, gazdasági, gazdálkodási és éghajlati fejlemények leírására szolgál.
- Szénakkumuláció:** A szén eltávolítása hosszú távra, például élőfakészlet vagy fatermék formájában.
- Szén-dioxid (CO₂):** A legfontosabb üvegházhatású gáz, amelynek nyelése és kibocsátása kulcskérdés az éghajlatváltozás kezelésében.
- Szén-dioxid-egyenérték (CO₂eq):** Mérőszám, amely az eltérő üvegházhatású gázok globális felmelegedési hatását fejezi ki a szén-dioxidhoz viszonyítva. Így a különböző gázok kibocsátása összeadható és együttesen értékelhető.
- Szén-dioxid-intenzív termék:** Olyan termék, amelynek előállításánál jelentős mennyiségű szén-dioxid (CO₂) kerül kibocsátásra. Jellemzően ide tartoznak a cement, acél, műanyag, vegyipari termékek. Ezek helyettesítése faalapú vagy megújuló forrásból származó termékekkel fontos eszköze a dekarbonizációnak.
- Szénelnyelő:** Olyan természetes vagy technológiai rendszerek, amelyek elnyelik a légköri szén-dioxidot.

Szénlábnym: Az a mérőszám, amely megmutatja, hogy egy adott személy, közösség, szervezet, termék vagy tevékenység mennyi üvegházhatású gázt, különösen szén-dioxidot (CO₂) bocsát ki közvetlenül vagy közvetve.

Szénmegkötés: A szén-dioxid eltávolítása a légkörből és tárolása biomasszában, talajban vagy ipari technológiákkal.

Szénraktározás: A szén hosszú távú tárolása az ökoszisztémákban (például fa, talaj), hozzájárulva a klímaváltozás elleni küzdelemhez.

Szinergiák: Olyan kölcsönhatások, ahol két vagy több intézkedés hatása összeadódik vagy felerősíti egymást – például klímavédelem és biodiverzitás-megőrzés.

T: Tölgy

Talajerózió: A talajréteg lepusztulása víz vagy szél hatására. Az erdőborítottság csökkentése esetén fokozódik, csökkenti a termőképességet és a szénraktározást.

Tanúsítás: Olyan hivatalos eljárás, amely igazolja, hogy egy erdőgazdálkodási tevékenység fenntartható, jogszabályoknak megfelelő és környezeti szempontból ellenőrzött (pl. FSC, PEFC, CRCF).

Tanúsító audit: Első alkalommal történő, független hitelesítési eljárás.

Tartós beépítés: A faanyag hosszú élettartamú termékekben való felhasználása (például épületek), ami a szén tárolását szolgálja.

Taxonómiai rendelet: Az EU jogszabálya, amely meghatározza, hogy mi számít „környezetileg fenntartható” gazdasági tevékenységnek. Alapja a zöld finanszírozásnak.

Technoszféra: Az ember által létrehozott rendszerek és infrastruktúrák összessége (például épületek, utak, ipari rendszerek), amelyek szintén széntárolóként működhetnek faanyag alkalmazása esetén.

Termékhelyettesítés: Az a folyamat, amely során egy klímabarát, alacsony CO₂-kibocsátású termék vált ki egy hagyományos, szén-dioxid-intenzív terméket. Példa: fa alkalmazása acél vagy beton helyett az építőiparban. Az erdőalapú termékek karbonpozitív alternatívaként jelennek meg.

Természetes bolygatások: Természetes zavaró események (például tűz, szélvihar, rovargradáció), amelyek felgyorsítják a szén-dioxid körforgását, mert a megkötött szén gyorsabban visszakerül a légkörbe.

Tier 3: Az IPCC módszertana szerinti legfejlettebb kibocsátási számítási szint, amely részletes modellezést és országspecifikus adatokat alkalmaz.

Troposzférikus ózon (O₃): A légkör alsó rétegében (troposzférában) keletkező ózon nem természetes eredetű: nitrogén-oxidok, szénhidrogének és napfény hatására képződik. Erős üvegházhatású gáz és légszennyező.

Túltartott állomány: Olyan faállomány, amelyet az előírt vágásérettségi kor után is fenntartanak – általában csökkenő hozam és növekvő kockázat (például mortalitás, a faanyag minőségének romlása) jellemzi.

Újratanúsító audit: Időszakos felülvizsgálat, amely megújítja a tanúsítványt a projekt előrehaladása során.

ÜHG: Üvegházhatású gázok (például CO₂, CH₄, N₂O), amelyek a hőt csapdába ejtve melegítik a Föld légkörét.

Üvegházhatás: A Föld légkörében lévő gázok, elsősorban a szén-dioxid (CO₂), metán (CH₄) és a vízgőz (H₂O) által okozott jelenség. A nappól érkező sugárzás egy része áthatol a légkörön, és felmelegíti a Föld felszínét. Az így felmelegedett Földről kisugárzó hőenergia (infravörös sugárzás) egy részét az üvegházhatású gázok visszaverik, megakadályozva, hogy az a világűrbe

távozzon. Ezáltal a légkörben lévő gázok hőszigetelő hatást fejtenek ki, amely fenntartja a Föld felszínének megfelelő hőmérsékletét. Az üvegházhatás természetes jelenség, amely nélkül a Föld átlaghőmérséklete sokkal alacsonyabb lenne, így az élet fenntartásához szükséges feltételek nem állnának fenn. Azonban az emberi tevékenység, különösen az ipari kibocsátások, a fosszilis tüzelőanyagok égetése és az erdőirtás révén az üvegházhatású gázok koncentrációja megnövekedett, ami fokozza e hatást, és hozzájárul a káros globális felmelegedéshez.

Üvegházhatású gáz (ÜHG): Olyan gázok (pl. CO_2 , CH_4 , N_2O), amelyek a hőt csapdába ejtve melegítik a Föld légkörét.

Üvegházhatásúgáz-leltár (ÜHG-leltár): Egy olyan országos (esetleg nemzetközi vagy vállalati szintű) nyilvántartás, amely az üvegházhatásúgáz-kibocsátásának és elnyelésének adatait tartalmazza. A leltár célja, hogy nyomon kövesse az adott területen kibocsátott és elnyelt gázok mennyiségét, és meghatározza a kibocsátáscsökkentésre irányuló intézkedések hatékonyságát. Az ÜHG-leltár az éghajlatváltozás elleni küzdelem részeként fontos eszköz, amely segít az országoknak teljesíteni a nemzetközi klímamegállapodásokat, például a Párizsi Egyezményt. Az adatokat rendszeresen frissítik, és az IPCC által elfogadott módszertan alapján számítják ki.

Vágásérettségi kor: Az a kor, amikor a faállomány már gazdaságosan és ökológiai szempontból is megfelelő módon kitermelhető. Erdőtípusonként és kezelési céltól függően változik. Hazánkban a vágásos üzemmódú erdők esetében az erdőterv tartalmazza.

VCM: (Voluntary Carbon Market): Önkéntes karbonpiac.

Véghasználat: A teljes állomány letermelése egy adott erdőrészletben az erdőgazdálkodási ciklus végén.

Zöldfelület: Növényzettel borított terület városi vagy vidéki környezetben, amely hűtő-, levegőtisztító-, klímaszabályozó- és rekreációs funkciókat lát el.



- Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W., & Cerda, A. (2020). A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 268, 110319. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110319>
- Ábri, T., Csajbók, J., Rédei, K., Borovics, A., Tamba, M., & Keserű, Zs. (2021). Szelektált akácklónokkal létesített akác iparifa ültetvény növényélettani és faállomány szerkezeti vizsgálatának kezdeti eredményei. In Csiha, I., & Csiha, S. (Eds.), *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napja: Tudományos eredmények a gyakorlatban* (p. 246).
- Aertsens, J., De Nocker, L., & Gobin, A. (2013). Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. *Land Use Policy*, 31, 584–594. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.003>
- Astrup, R., Bernier, P. Y., Genet, H., Lutz, D. A., & Bright, R. M. (2018). A sensible climate solution for the boreal forest. *Nature Climate Change*, 8, 11–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0043-3>
- Axelsson, A. L., Östlund, L., & Hellberg, E. (2002). Changes in mixed deciduous forests of boreal Sweden 1866–1999 based on interpretation of historical records. *Landscape Ecology*, 17, 403–418. <https://doi.org/10.1023/A:1021226600159>
- Bakacsi, Z., Laborczí, A., Szatmári, G., Horel, Á., Dencső, M., Molnár, S., Ujj, E., & Tóth, E. (2020). *Compiling C/N and total-N dataset to support countrywide soil nutrient emission models for Hungary*. ATK TAKI. https://studies.hu/wp-content/uploads/2020/08/2037_BAKACSI.pdf
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, R. K. (2011). Economic analysis for ecosystem service assessments. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 177–218. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9418-x>
- Benke, A., Tóvári, P., & Borovics, A. (2015). 7 éves fás szárú energetikai ültetvény szénmérlegének vizsgálata. *Mezőgazdasági Technika*, 56(2), 12–14.
- Berki, I., Móricz, N., Rasztovits, E., & Víg, P. (2007). A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In Mátyás, Cs., & Víg, P. (Eds.), *Erdő és klíma V.* (pp. 213–228). Sopron.
- Boonstra, M. (2008). *A two-stage thermal modification of wood* (Ph.D. thesis). Henry Poincaré University, Nancy, France.
- Boote, K., Jones, J., & Hoogenboom, G. (1998). Simulation of crop growth CROPGRO model. In Peart, R., & Cury, R. (Eds.), *Agricultural System Modeling and Simulation* (pp. 651–693). CRC Press.
- Borovics, A. & Király, É. (2022). Az erdőgazdálkodás szerepe a klímavédelemben az IPCC értékelő jelentése szerint. *Erdészeti Lapok*, 157(7–8), 265–268.
- Borovics, A. (2022). ErdőLab: A Soproni Egyetem Erdészeti és Faipari Projektje: Fókuszban az Éghajlatváltozás Mérséklése. *Erdészeti Lapok*, 157, 114–115.
- Borovics, A., & Király, É. (2022a). Erdőalapú klímamitigáció és alkalmazkodás Európában I. *Erdészeti Lapok*, 157(11), 374–377.
- Borovics, A., & Király, É. (2022b). Erdőalapú klímamitigáció és alkalmazkodás Európában II. *Erdészeti Lapok*, 157(12).
- Borovics, A., & Király, É. (2023a). Klímamitigáció és alkalmazkodás a magyar erdőiparban. *Erdészeti Lapok*, 158(1), 5–9.
- Borovics, A., & Király, É. (2023b). The challenge of mobilizing the unused wood stock reserve to foster a sustainable and prosperous Hungarian forest industry. *Chemical Engineering Transactions*, 107, 637–642. <https://doi.org/10.3303/CET23107107>
- 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 államok közötti kvótakereskedelem és a köteles piacok szabályozásának áttekintése. *Erdészeti Lapok*, 159(9), 370–375.
- Borovics, A., & Király, É. (2024). Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF-rendelet szabályrendszere. *Erdészeti Lapok*, 159(10), 418–423.

- Borovics, A., & Mátyás, Cs. (2013). Decline of genetic diversity of sessile oak at the retracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science*, 70, 835–844. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0324-6>
- 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, 600. <https://doi.org/10.3390/f15040600>
- 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, 10. <https://doi.org/10.1186/s13595-025-01282-x>
- 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>
- Borovics, A., Somogyi, N., Honfý, V., Keserű, Zs., & Gyuricza, Cs. (2017). Agrárerdészet, a klímatudatos, természetközeli termelési mód. *Erdészeti Lapok*, 6, 178–182.
- Böttcher, H., Kurz, W. A., & Freibauer, A. (2008). Accounting of forest carbon sinks and sources under future climate protocol – factoring out past disturbance and management effects on age-class structure. *Environmental Science & Policy*, 11, 669–686. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.08.005>
- Brienen, R. J. W., Caldwell, L., Duchesne, L., Voelker, S., Barichivich, J., Baliva, M., Ceccantini, G., Di Filippo, A., Helama, S., Locosselli, G. M., Lopez, L., Piovesan, G., Schöngart, J., Villalba, R., & Gloor, E. (2020). Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs. *Nature Communications*, 11, 4241. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17966-z>
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.-H., Ruget, F., Nicoulaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., et al. (1998). STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18, 311–346.
- Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Cardellini, G., Richter, K., & Muys, B. (2021). Climate mitigation by energy and material substitution of wood products has an expiry date. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127026>
- Cahyo, A. N., Babel, M. S., Datta, A., Prasad, K. C., & Clemente, R. (2016). Evaluation of land and water management options to enhance productivity of rubber plantation using WaNuLCas model. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 38, 93–103.
- Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N. E., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J. I., & Mubareka, S. (2021). *The use of woody biomass for energy purposes in the EU*. EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/831621>
- 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>
- Canadell, J. G., Pataki, D. E., Gifford, R., Houghton, R. A., Luo, Y., Raupach, M. R., Smith, P., & Steffen, W. (2007b). Saturation of the terrestrial carbon sink. In J. Canadell, D. Pataki & L. Pitelka (Eds.), *Terrestrial ecosystems in a changing world* (pp. 59–78). Springer-Verlag.
- CEI-Bois – EOS. (2024a). *Biomanufacturing, the circular bioeconomy and the European woodworking and sawmill industries*. 8 p.
- CEI-Bois – EOS. (2024b). *The manifesto of the European woodworking and sawmill industries*. 20 p.
- CEI-Bois. (2024). *Advocacy Report 2023–2024*. 105 p.
- Cetera, P., Todaro, L., Lovaglio, T., Moretti, N., & Rita, A. (2016). Steaming treatment decreases MOE and compression strength of Turkey oak wood. *Wood Research*, 61(2).



- Cevallos, G., Grimault, J., & Bellassen, V. (2019). *Domestic carbon standards in Europe – Overview and perspectives*. i4ce Report. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02503313>
- Chiabai, A., Traversi, C. M., Ding, H., Markandya, A., & Nunes, P. A. L. D. (2011). Economic assessment of forest ecosystem services losses: Cost of policy inaction. *Environmental and Resource Economics*, 50(4), 405–445. <https://doi.org/10.1007/s10640-011-9478-6>
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3, 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- Climateinsiders. (2024). *The reverse correlation between COP*. <https://climateinsiders.substack.com/p/the-reverse-correlation-between-cop> (Hozzáfértés: 2024.07.23)
- ClimBLOG. (2024). *International climate negotiations – Where we at?* <https://studentclimates.wordpress.com/2017/05/02/international-climate-negotiations-where-we-at/>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- CRCF Regulation. (2024). *Regulation (EU) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj/eng>
- CRCF. (2024). *Carbon Removals and Carbon Farming – European Commission*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en
- CREG. (2024). *4th EU Carbon Removals Expert Group Meeting*. https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/events/4th-eu-carbon-removals-expert-group-meeting-2024-04-15_en
- Danszky, I. (1972). *Erdőművelés I. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest*.
- Decode6. (2024). *Differences between voluntary and compliance markets*. <https://decode6.org/articles/differences-between-voluntary-and-compliance-markets/>
- Deng, R., Yang, G., Wang, W., Li, Y., Zhang, X., Hu, F., Guo, Q., & Jia, M. (2024). A new method of estimating shelterbelt carbon storage on the regional scale: Combined the single tree carbon storage with tree numbers. *Ecological Indicators*, 163, 112071. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112071>
- Ding, H., Chiabai, A., Silvestri, S., & Nunes, P. A. L. D. (2016). Valuing climate change impacts on European forest ecosystems. *Ecosystem Services*, 18, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.02.039>
- Dmuchowski, W., Baczevska-Dąbrowska, A. H., & Gworek, B. (2024). The role of temperate agroforestry in mitigating climate change: A review. *Forest Policy and Economics*, 159, 103136. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103136>
- Donofrio, S., Maguire, P., Zwick, S., & Merry, W. (2019). *State of the Voluntary Carbon Markets 2019: Market Overview*. <https://www.forest-trends.org/publications/state-of-voluntary-carbon-markets-2019-market-overview/>
- DRMM Studio. (2025). *Research report: Measuring mass timber* [Report]. <https://drmmstudio.com/news-post/research-report-measuring-mass-timber-is-published/>
- Dufour, L., Metay, A., Talbot, G., & Dupraz, C. (2013). Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199, 217–227.
- Easterling, W. (1997). Modelling the effect of shelterbelts on maize productivity under climate change: An application of the EPIC model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 61, 163–176.
- Egger, C., Nelson Grima, M., Kleine, M., & Radosavljevic, M. (Eds.). (2024). *Europe's wood supply in disruptive times: An evidence-based synthesis report*. IUFRO World Series, Volume 42. Vienna.

- Eglin, T., Ciais, P., & Piao, S. L. (2010). Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes. *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 62, 700–718. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00499.x>
- EnergyPost. (2024). *EU Carbon Removal Certification Framework: New rules to turn greenwashing into genuine removals*. <https://energypost.eu/eu-carbon-removal-certification-framework-new-rules-to-turn-greenwashing-into-genuine-removals/>
- Erdeiné Késmárki-Gally, Sz., & Rák, R. (2020). *Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2020-ban*. NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet.
- Esteves, M. B., & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresource Technology*, 4(1), 370–404.
- Euractiv. (2024). A structural reform of the ETS to enhance price predictability is needed. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/opinion/a-structural-reform-of-the-ets-to-enhance-price-predictability-is-needed/>
- European Commission. (2018a). *A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment – Updated Bioeconomy Strategy*. Directorate-General for Research and Innovation. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/792130>
- European Commission. (2018b). *Bioeconomy: The European way to use our natural resources – Action Plan 2018*. Directorate-General for Research and Innovation. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/79401>
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions. COM(2019) 640 final.
- European Commission. (2020a). *A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe*. COM(2020) 98 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
- European Commission. (2020c). *'Farm to Fork' Strategy for a fair, healthy and environmentally friendly food system*. COM(2020) 381 final.
- European Commission. (2021). *EU soil strategy for 2030 – Reaping the benefits of healthy soils* (COM(2021) 699 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
- European Commission. (2021). *New EU forest strategy for 2030* (COM(2021) 572 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0572>
- European Commission. (2021). *Regulation (EU) 2021/1119 on the European Climate Law*. <https://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
- European Commission. (2021a). *Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. COM(2021) 82 final.
- European Commission. (2021b). *Sustainable Carbon Cycles*. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. COM(2021) 800 final. Brussels, 15 December 2021.
- European Commission. (2021c). *'Fit for 55': Delivering the EU's 2030 climate target on the way to climate neutrality*. COM(2021) 550 final.
- European Commission. (2021d). *Proposal for a directive amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999, and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*. COM(2021) 557 final. 2021/0218 (COD). Brussels, 14 July 2021.
- European Commission. (2022). *EU forests – New EU framework for forest monitoring and strategic plans*. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13396-EU-forests-new-EU-Framework-for-Forest-Monitoring-and-Strategic-Plans_en

- European Commission. (2022). *Proposal establishing a Union certification framework for carbon removals* (COM(2022) 672 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=CELEX:52022PC0672>
- European Commission. (2022). *Proposal for a regulation on nature restoration* (COM(2022) 304 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:304:FIN>
- European Commission. (2023). *Soil Health*. https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-health_en
- European Commission. (2024). *Workshop on LULUCF and forest carbon accounting*. <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lulucf/workshops/workshop-2024/>
- European Commission. (2025). *Energy Performance of Buildings Directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- European Environment Agency. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051.
- European Environment Agency. (2021). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2019 and inventory report 2021*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-17>
- European Environment Agency. (2022). *European Environmental Agency website*. <https://www.eea.europa.eu> (Accessed: 2022.10.15)
- European Forest Institute. (2022). Verkerk, P. J., Delacote, P., Hurmekoski, E., Kunttu, J., Matthews, R., Mäkipää, R., Mosley, F., Perugini, L., Reyer, C. P. O., Roe, S., & Trømborg, E. *Forest-based climate change mitigation and adaptation in Europe (From Science to Policy 14)*.
- European Union. (2018a). *Regulation (EU) 2018/841 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework*. <https://data.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj>
- European Union. (2018b). *Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030*. <https://data.europa.eu/eli/reg/2018/842/oj>
- European Union. (2018c). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources*. <https://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
- European Union. (2020). *Long-term low greenhouse gas emission development strategy of the European Union and its Member States*. Submission by Croatia and the European Commission on behalf of the European Union and its Member States. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/HR-03-06-2020%20EU%20Submission%20on%20Long%20term%20strategy.pdf>
- European Wood Policy Platform. (2024). *A Wood-Based Circular Bioeconomy for a Sustainable Europe: Green Construction and Innovative Wood Solutions*. Policy Paper. 20 p.
- Evt. (2009). 2009. évi XXXVII. Törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900037.tv>
- Fankhauser, S., et al. (2022). The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change*, 12, 15–21. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01245-w>
- Farber, S. C., Costanza, R., & Wilson, M. A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41(3), 375–392. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00088-5)
- Fatáj. (2022). A jövő körforgásos és faalapú. <https://fataj.hu/2022/11/a-jovo-korforgasos-es-faalapu/>
- Fehrenbach, H., Bischoff, M., Böttcher, H., Reise, J., & Hennenberg, K. J. (2022). The Missing Limb: Including impacts of biomass extraction on forest carbon stocks in greenhouse gas balances of wood use. *Forests*, 13, 365. <https://doi.org/10.3390/f13030365>
- FFe. (2024). What is the Sustainable Finance Disclosure Regulation? <https://www.ffe.de/en/publications/info-what-is-the-sustainable-finance-disclosure-regulation/>

- Fiorese, G., & Guariso, G. (2013). Modelling the role of forests in a regional carbon mitigation plan. *Renewable Energy*, 52, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.09.060>
- Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., Beck, P. S. A., Camps-Valls, G., Chirici, G., Mauri, A., & Cescatti, A. (2021). Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications*, 12, 1081. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21399-7>
- Frank, N., & Takács, V. (2012). Hó- és szélfogó erdősávok minősítése szélesebbség-csökkenő hatásuk alapján. *Erdészettudományi Közlemények*, 2(1), 151–162.
- Friedlingstein, P., et al. (2019). Global carbon budget 2019. *Earth System Science Data*, 11(4), 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Führer, E. (2018). A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(1), 27–42. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.002>
- Gál, J. (1963). A mezőgazdasági terméshozamok növekedése az erdősávok védelmében. *Az Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei*, 1963(1–2), 41–83.
- Gál, J. (1967). A mezővédő erdősávok tervezési irányelvei és gazdaságossági vizsgálata. *Erdészeti és Faipari Egyetem Kiadványa*, Sopron.
- Gál, J. (1988). Fatermési függvények bevezetése az üzemtervek számítógépes adatfeldolgozásába. *Kutatási jelentés*. Sopron: Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék.
- Geng, A., Yang, H., Chen, J., & Hong, Y. (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy and Economics*, 85, 192–200.
- Giuntoli, J., Barredo, J. I., Avitabile, V., Camia, A., Cazzaniga, N. E., Grassi, G., Jasinevičius, G., Jonsson, R., Marelli, L., & Robert, N. (2022). The quest for sustainable forest bioenergy: Win–win solutions for climate and biodiversity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112180>
- GoldStandard. (2024). <https://www.goldstandard.org/>
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), 220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Groot, de R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Hall, D. O., & House, J. I. (1994). Biomass energy and the global carbon balance. *Renewable Energy*, 5, 58–66. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90354-9](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90354-9)
- Hamann, A., Wang, T., Spittlehouse, D. L., & Muddock, T. Q. (2013). A comprehensive, high-resolution database of historical and projected climate surfaces for western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 1307–1309. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00145.1>
- Hamrick, K., & Goldstein, A. (2016). Raising ambition: State of the voluntary carbon markets 2016. *Technical report, Forest Trends Ecosystem Marketplace*.
- Hart, K., Allen, B., Keenleyside, C., Nanni, S., Maréchal, A., Paquel, K., Nesbit, M., & Ziemann, J. (2017). Research for agri committee - the consequences of climate change for EU agriculture. *Follow-Up To the COP21 - UN Paris Climate Change Conference*. <https://doi.org/10.2861/295025>

- Härtl, F. H., Höllerl, S., & Knoke, T. (2017). A new way of carbon accounting emphasises the crucial role of sustainable timber use for successful carbon mitigation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(8), 1163–1192. <https://doi.org/10.1007/s11027-016-9720-1>
- Häyhä, T., Franzese, P. P., Paletto, A., & Fath, B. D. (2015). Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests. *Ecosystem Services*, 14, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.03.001>
- Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J., & Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, 80, 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.011>
- Hennigar, C. R. H. R., & MacLean, D. A. M. A. (2010). Spruce budworm and management effects on forest and wood product carbon for an intensively managed forest. *Canadian Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1139/X10-104>
- Holmgren, P. (2020). Climate effects of the forest-based sector in the European Union. *Confederation of European Paper Industry*. https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2020/07/Cepi_study.pdf
- Howard, C., Dymond, C. C., Griess, V. C., Tolken-Spurr, D., & van Kooten, G. C. (2021). Wood product carbon substitution benefits: a critical review of assumptions. *Carbon Balance and Management*, 16, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00171-w>
- HungaroMet. (2024). Magyarország éghajlata, éghajlati visszatekintő. https://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/main.php?no=0&ful=2
- Hurmekoski, E., Kilpeläinen, A., & Seppälä, J. (2022). Climate-Change Mitigation in the Forest-Based Sector: A Holistic View. In L. Hetemäki et al. (Eds.), *Forest Bioeconomy and Climate Change, Managing Forest Ecosystems*, 42. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4_8
- Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A., & Peltola, H. (2020). Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology*, 24, 899–912. <https://doi.org/10.1111/jiec.12981>
- ICAP. (2024). Emissions Trading Worldwide: Status Report 2024. Berlin: International Carbon Action Partnership.
- ICVCM. (2024). <https://icvcm.org/>
- Illés, G., Fonyó, T., Borovics, A. (2024). SiteViewer a decision support tool for forest management. *Hungarian Agricultural Research: Environmental Management Land Use Biodiversity*, 34, 11–14.
- Illés, G., & Móricz, N. (2022a). Climate envelope analyses suggests significant rearrangements in the distribution ranges of Central European tree species. *Annals of Forest Science*, 79, 35. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01154-8>
- Illés, G., & Móricz, N. (2022b). Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében. *Erdészettudományi Közlemények*, 12(2), 91–112. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.06>
- Illés, G., Móricz, N., Bereczki, K., & Németh, T. (2025). Carbon stock assessment of forest soils of Hungary based on long-term monitoring systems. *Kézirat előkészületben*.
- IPCC. (1990). *Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group I* (J. T. Houghton, G. J. Jenkins, & J. J. Ephraums, Eds.).
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES.
- IPCC. (2013). *Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol* (T. Hiraishi et al., Eds.), 268 pp.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, Eds.). IPCC.

- IPCC. (2018). *Mitigation Pathways Compatible with 1.5 °C in the Context of Sustainable Development*. In *IPCC Special Report – Global Warming of 1.5 °C* (J. Rogelj et al.). <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (E. Calvo Buendia et al., Eds.). IPCC.
- IPCC. (2021). *AR6WGI: Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (V. Masson-Delmotte et al., Eds.). <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC. (2022). *AR6WG3 Chapter 7: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU)* (G.-J. Nabuurs et al.). https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_Chapter7.pdf <https://doi.org/10.1017/9781009157926.009>
- IPCC. (2022). *AR6WGII: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (H.-O. Pörtner et al., Eds.). <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report. Chapter 7: Agriculture, Forestry, and Other Land Uses (AFOLU)*.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (P. R. Shukla et al., Eds.). <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, Eds.). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J. R., Koricheva, J., Meurisse, N., & Brockerhoff, E. G. (2017). Tree diversity drives forest stand resistance to natural disturbances. *Current Forestry Reports*, 3, 223–243. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1>
- Jactel, H., Nicoll, B. C., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J. R., Grodzki, W., Långström, B., Moreira, F., Netherer, S., Orazio, C., Piou, D., Santos, H., Schelhaas, M. J., Tojic, K., & Vodde, F. (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science*, 66, 701–701. <https://doi.org/10.1051/forest/2009054>
- Joffre, R., Vacher, J., de los Llanos, C., & Long, G. (1988). The dehesa: An agrosilvopastoral system of the Mediterranean region with special reference to the Sierra Morena area of Spain. *Agroforestry Systems*, 6, 25–52.
- John, S., Nebel, B., Perez, N., & Buchanan, A. (2009). *Environmental impacts of multi-storey buildings using different construction materials: MAF Report 2008-02*. University of Canterbury. Report prepared for the New Zealand Ministry of Agriculture and Forestry.
- Johnston, C. M. T., & Radeloff, V. C. (2019). Global mitigation potential of carbon stored in harvested wood products. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 14526–14531. <https://doi.org/10.1073/pnas.1904231116>
- Jonsson, R., Rinaldi, F., Pilli, R., Fiorese, G., Hurmekoski, E., Cazzaniga, N., Robert, N., & Camia, A. (2021). Boosting the EU forest-based bioeconomy: Market, climate, and employment impacts. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120478. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120478>
- Kastner, T., Erb, K.-H., & Nonhebel, S. (2011). International wood trade and forest change: A global analysis. *Global Environmental Change*, 21, 947–956. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.05.003>
- Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H. N., Borek, R., Crous-Duran, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Graves, A., Jager, M., Lamersdorf, N., & Memedemin, D. (2019). Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy*, 83, 581–593. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025>

- Keserű, Zs., Borovics, A., Ábri, T., Rédei, K., Lee, I. H., & Lim, H. (2021). Growing of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Candidate Cultivars on Arid Sandy Site. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 17(1), 51–61.
- Király, É., Bidló, A., Keserű, Zs., & Borovics, A. (2024a). Climate benefit assessment of doubling the extent of windbreak plantations in Hungary. *Earth*, 5(4), 654–669. <https://doi.org/10.3390/earth5040034>
- 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>
- Király, É., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2023b). 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*, 1, 75–81. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/12495>
- 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, 1809.
- Király, É., Forsell, N., Schulte, M., Kis-Kovács, G., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Kottek, P., Mertl, T., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2024c). 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., Keserű, Z., Molnár, T., Szabó, O., & Borovics, A. (2024b). Carbon sequestration in the aboveground biomass of windbreaks—Climate change mitigation by means of agroforestry in Hungary. *Forests*, 15, 63. <https://doi.org/10.3390/f15010063>
- Király, É., Kis-Kovács, G., Börcsök, Z., Kocsis, Z., Németh, G., Polgár, A., & Borovics, A. (2023a). 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>
- Knauf, M., Joosten, R., & Frühwald, A. (2016). Assessing fossil fuel substitution through wood use based on long-term simulations. *Carbon Management*, 7(1–2), 67–77. <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1166427>
- Knauf, M., Köhl, M., Mues, V., Olschofsky, K., & Frühwald, A. (2015). Modeling the CO₂-effects of forest management and wood usage on a regional basis. *Carbon Balance and Management*, 10, 13. <https://doi.org/10.1186/s13021-015-0024-7>
- Korosuo, A., Pilli, R., Abad Viñas, R., Blujdea, V. N., Colditz, R. R., Fiorese, G., & Grassi, G. (2023). The role of forests in the EU climate policy: Are we on the right track? *Carbon Balance and Management*, 18, 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00234-0>
- Kottek, P. (2017). Országos Erdőállomány Prognózis – 2050. In A. Bidló & F. Facskó (Eds.), *Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia Absztraktkötet* (p. 59). Soproni Egyetem Kiadó.
- Kottek, P. (2022). Megváltoztatta-e a vágáskorokat az Evt. 2017. szeptemberi változása? *Eredmények az erdőállomány-prognózis előkészítésének munkáiból. OEE Szakosztályülés*, Budapest, 2022. szeptember 20.
- Kottek, P. (2023). Hosszútávú erdőállomány prognózisok. *Doktori értekezés*, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Soproni Egyetem, 142 p.
- Kottek, P., & Király, É. (2019). A klíma változása kimutatható az Országos Erdőállomány Adattár klíma-kategóriáiban. *Erdészettudományi Közlemények*, 9(1), 7–18.
- Kottek, P., Király, É., & Borovics, A. (2024). A klímaváltozás már folyamatban van: az RCP4.5 klímaszcenárió előrejelzéseinek validálása az OMSZ adatai alapján. In I. Csiha (Ed.), *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos Eredmények a Gyakorlatban* (pp. 7–14). Alföldi Erdőkért Egyesület.

- 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. <https://doi.org/10.37045/aslh-2023-0005>
- 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>
- Kovács (2000). A fatermékek versenyképessége Európában. In: Mátyás Cs. (szerk.) Páneurópai kezdeményezés az erdők védelmére. Budapest, MTA Erdészeti Bizottság. 51–64.
- Köbölkuti, Z. A., Cseke, K., Benke, A., Báder, M., Borovics, A., & Németh, R. (2020). Termesztett nyárok faanyag-tulajdonságainak anatómiai, mechanikai, genetikai és epigenetikai összehasonlító vizsgálata. In XXVI. Növénynevelési Tudományos Napok Összefoglaló kötet.
- Köhl, M., & Martes, L. M. (2023). Forests: A passive CO₂ sink or an active CO₂ pump? *Forest Policy and Economics*, 155, 103040. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103040>
- Köhl, M., Ehrhart, H.-P., Knäuf, M., & Neupane, P. R. (2020). A viable indicator approach for assessing sustainable forest management in terms of carbon emissions and removals. *Ecological Indicators*, 111, 106057. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106057>
- Kurz, W., Dymond, C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., Ebata, T., & Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452, 987–990. <https://doi.org/10.1038/nature06777>
- Lakatos, F. (1999). Bark beetles on pine in Hungary. In B. Foster, M. Knizek, & W. Grodzki (Eds.), *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe* (pp. 248–249). FAO.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., et al. (2020). Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, 585, 551–556. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y>
- Lerink, B. J. W., Schelhaas, M.-J., Schreiber, R., Aurenhammer, P., Kies, U., Vuillermoz, M., Ruch, P., Pupin, C., Kitching, A., Kerr, G., et al. (2023). How much wood can we expect from European forests in the near future? *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96, 434–447. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad009>
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., & Verkerk, P. J. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy*, 7. European Forest Institute.
- Levin, K., Rich, D., Ross, K., Fransen, T., & Elliott, C. (2020). Designing and communicating net-zero targets. *World Resources Institute*. <https://apo.org.au/node/310556>
- Li, L., Wei, X. Y., Zhao, J. H., Hayes, D., Daigneault, A., Weiskittel, A., Kizha, A. R., & O'Neill, S. R. O. (2022). Technological advancement expands carbon storage in harvested wood products in Maine, USA. *Biomass and Bioenergy*, 161, 106457. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106457>
- Liang, J., et al. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- Lipiäinen, S., Sermyagina, E., Kuparinen, K., & Vakkilainen, E. (2022). Future of forest industry in carbon-neutral reality: Finnish and Swedish visions. *Energy Reports*, 8, 2588–2600. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.191>
- Luyssaert, S., Schulze, E. D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., et al. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>

- MacLean, D., Porter, K., Quiring, D., & Hennigar, C. (2007). Optimized harvest planning under alternative foliage-protection scenarios to reduce volume losses to spruce budworm. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 1755–1769. <https://doi.org/10.1139/X07-001>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., & Laurans, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43–62.
- Marchi, M., Castellanos-Acuña, D., Hamann, A., Wang, T., Ray, D., & Menzel, A. (2020). ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. *Scientific Data*, 7, 428.
- Martes, L., & Köhl, M. (2022). Improving the contribution of forests to carbon neutrality under different policies—A case study from the Hamburg Metropolitan Area. *Sustainability*, 14, 2088. <https://doi.org/10.3390/su14042088>
- Martin, F. S., & van Noordwijk, M. (2009). Trade-offs analysis for possible timber-based agroforestry scenarios using native trees in the Philippines. *Agroforestry Systems*, 76, 555–567.
- Mátyás, Cs. (2025). Erdőgazdálkodás a természet-helyreállítás és a szénszemlegesség követelményei között. *Erdészeti Lapok*, 160(5), 206–211.
- Mátyás Cs., Berki I., Borovics A., Veperdi G. (2006). Genetic response of tree populations to aridification on the xeric forest limit. In: Afforestation and sustainable forests as a means to combat desertification. Jerusalem, Israel. p. 36.
- Mátyás Cs., Czimber K. (2000). Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. In: Tar K. (szerk.) III. Erdő és Klíma Konferencia. Debrecen, DE TTK Meteorológia Tanszék. pp. 83-97.
- Mátyás Cs., Nagy L., Ujvári-Jármay É. (2007). Klimatikus stressz és a fafajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés. In: Mátyás Cs., Víg P. (szerk.) Erdő és klíma V. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem, 2007. pp. 241-256.
- Mátyás, Cs., Berki, I., Bidló, A., Csóka, G., Czimber, K., Führer, E., Gálos, B., Gribovszki, Z., Illés, G., Hirka, A., & Somogyi, Z. (2018). Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests*, 9(8), 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
- Mátyás, Cs., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Móricz, N., & Rasztoivits, E. (2010). Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 91–110.
- Mátyás, Cs., Bidló, A., Czimber, K., Gálos, B., Gribovszki, Z., Führer, E., Illés, G., & Borovics, A. (2022). A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. *Légkör*, 67(1), 1–69.
- Mátyás, C., Führer, E., Berki, I., Csóka, G., Drüszler, Á., Lakatos, F., Móricz, N., Rasztoivits, E., Somogyi, Z., Veperdi, G., Víg, P., & Gálos, B. (2010). Erdők a szárazsági határon. *Klíma-21 Füzetek*, (61), 1–20.
- Mayer P. (2000). Az európai erdők védelme miniszteri konferencia szervezete és megvalósulása. In: Mátyás Cs (szerk.): Páneurópai kezdeményezés az erdők védelmére. Budapest: MTA Erdészeti Bizottság. 19–22.
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
- Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., & others. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Messier, C., Bauhus, J., Doyon, F., Maure, F., Sousa-Silva, R., Nolet, P., Mina, M., Aquilué, N., Fortin, M. J., & Puettmann, K. (2019). The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>

- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mina, M., Messier, C., Duveneck, M., Fortin, M. J., & Aquilué, N. (2021). Network analysis can guide resilience-based management in forest landscapes under global change. *Ecological Applications*, 31(1), e2221. <https://doi.org/10.1002/eap.2221>
- Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE). (1993). *Resolution H1: General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe*. MCPFE Liaison Unit. https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/01/MC_helsinki_resolutionH1.pdf
- Moreau, L., Thiffault, E., Cyr, D., Boulanger, Y., & Beaugerard, R. (2022). How can the forest sector mitigate climate change in a changing climate? Case studies of boreal and northern temperate forests in eastern Canada. *Forest Ecosystems*, 9, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100026>
- Muys, B., Angelstam, P., Bauhus, J., Bouriaud, L., Jactel, H., Kraigher, H., Müller, J., Pettorelli, N., Pötzelsberger, E., Primmer, E., Svoboda, M., Thorsen, J. B., & Van Meerbeek, K. (2022). *Forest Biodiversity in Europe*. From Science to Policy 13. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs13>
- Myllyviita, T., Soimakallio, S., Judl, J., & Seppälä, J. (2021). Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction—review on current state and application of displacement factors. *Forest Ecosystems*, 8, 42. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00326-8>
- Nabuurs, G. J., & Schelhaas, M. J. (2002). Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO₂FIX. *Ecological Indicators*, 1, 213–223. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00007-9)
- Nabuurs, G.-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Lindner, M., & Nesbit, M. (2015). *A New Role for Forests and the Forest Sector in the EU post-2020 Climate Targets*. From Science to Policy. European Forest Institute.
- Nabuurs, G.-J., Mrabet, R., Abu Hatab, A., Bustamante, M., Clark, H., Havlík, P., House, J., Mbow, C., Ninan, K. N., Popp, A., Roe, S., Sohngen, B., & Towprayoon, S. (2022). Agriculture, forestry and other land uses (AFOLU). In P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley (Eds.), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Chapter 7). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.009>
- Nair, P. K. R., Nair, V. D., Kumar, B. M., & Showalter, J. M. (2010). Carbon sequestration in agroforestry systems. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 108, pp. 237–307). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08005-3)
- NAK. (2022). *Fától az erdőig – új támogatási lehetőségek*. National Chamber of Agriculture. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/erdogazdalkodas/104858-fatol-az-erdoig-uj-tamogatasi-lehetosegek>
- NC & BR Hungary. (2023). *Magyarország Nyolcadik Nemzeti Kommunikációja és Ötödik Kétéves Jelentése* [Eighth National Communication and Fifth Biennial Report of Hungary]. <https://unfccc.int/documents/630941>
- NFK. (2023). *Magyarország erdeivel kapcsolatos adatok*. https://nfk.gov.hu/Magyarorszag_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513
- NIR. (2022). *National Inventory Report for 1985–2020. Hungary*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- NIR. (2023). *National Inventory Report for 1985–2021*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- Nori Carbon. (2024). <https://nori.com/>
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164(3877), 262–270. <https://doi.org/10.1126/science.164.3877.262>
- OKIR. (2024). *Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer*. <https://web.okir.hu/en/>

- OSAP. (2022). *Országos statisztikai adatgyűjtési program*. <https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2>
- OSAP. (2023). *Országos statisztikai adatgyűjtési program*. <https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2>
- Pansak, W., Hilger, T., Lusiana, B., Kongkaew, T., Marohn, C., & Cadisch, G. (2010). Assessing soil conservation strategies for upland cropping in Northeast Thailand with the WaNuLCAS model. *Agroforestry Systems*, 79, 123–144.
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., & others. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. In TEEB (Ed.), *Ecological and Economic Foundations* (pp. 183–256). https://www.researchgate.net/publication/303444184_The_Economics_of_Valuing_Ecosystem_Services_and_Biodiversity
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., & Kastner, T. (2019a). Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research Letters*, 14, 055003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d41>
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S., & Wood, R. (2019b). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, 56, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>
- Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M., & Jump, A. S. (2007). Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography*, 30, 829–837. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x>
- Peters-Stanley, M., & Yin, D. (2013). *State of the Voluntary Carbon Markets 2013: Maneuvering the Mosaic*. Forest Trends' Ecosystem Marketplace. <https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/maneuvering-the-mosaic-state-of-the-voluntary-carbon-markets-2013/>
- Polgár, A., Pécsinger, J., Horváth, A., Szakálosné Mátyás, K., Horváth, A. L., Rumpf, J., & Kovács, Z. (2018). Erdészeti technológiák szénlábnyma és előrevetített klímakockázata. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(1), 227–245. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.014>
- Prins, K., Köhl, M., & Linser, S. (2023). Is the concept of sustainable forest management still fit for purpose? *Forest Policy and Economics*, 157, 103072. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103072>
- Pukkala, T. (2014). Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics*, 43, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.03.004>
- Qi, X., Mize, C. W., Batchelor, W. D., Takle, E. S., & Litvina, I. V. (2001). SBELTS: A model of soybean production under tree shelter. *Agroforestry Systems*, 52, 53–61.
- Regulation (EU) 2018/841. (2018). Of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj>
- ResilientWood. (2024). *Building a Resilient European Woodworking Industry by Anticipating Changes, Increasing Attractiveness, Building Skills, and Promoting Inclusiveness*. Final study, 80 p.
- Reyer, C. P. O., Bathgate, S., Blennow, K., Borges, J. G., Bugmann, H., Delzon, S., Faias, S. P., Garcia-Gonzalo, J., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J. R., Gracia, C., Hernández, J. G., Kellomäki, S., Kramer, K., Lexer, M. J., Lindner, M., van der Maaten, E., Maroschek, M., Muys, B., ... Hanewinkel, M. (2017). Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests? *Environmental Research Letters*, 12, 034027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5ef1>
- Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., & Mosquera-Losada, M. R. (2009). *Agroforestry in Europe – Current Status and Future Prospects*. Springer Netherlands.

- Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., & Reisinger, A. (2021). Three ways to improve net-zero emissions targets. *Nature*, 591, 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>
- 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>
- Savaresi, A., & Perugini, L. (2021). Balancing emissions and removals in the land sector: The view from the EU. *Carbon & Climate Law Review*, 15(1), 49–59. <https://doi.org/10.21552/cclr/2021/1/7>
- Schweinle, J., Köthke, M., Englert, H., & Dieter, M. (2018). Simulation of forest-based carbon balances for Germany: A contribution to the 'carbon debt' debate. *WIREs Energy and Environment*, 7, e260. <https://doi.org/10.1002/wene.260>
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., & Lexer, M. J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17, 2842–2852. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02452.x>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A., & Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Senf, C., & Seidl, R. (2021). Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability*, 4, 63–70. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00609-y>
- Senf, C., Pflugmacher, D., Zhiqiang, Y., Sebald, J., Knorn, J., Neumann, M., Hostert, P., & Seidl, R. (2018). Canopy mortality has doubled in Europe's temperate forests over the last three decades. *Nature Communications*, 9, 4978. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07539-6>
- Shanin, V., Komarov, A., & Mäkipää, R. (2014). Tree species composition affects productivity and carbon dynamics of different site types in boreal forests. *European Journal of Forest Research*, 133, 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0759-1>
- SiteViewer 3.0. (2024). <https://www.ertigis.hu/siteviewer.htm>
- Skeie, R. B., Peters, G. P., Fuglestedt, J., & Andrew, R. (2021). A future perspective of historical contributions to climate change. *Climatic Change*, 164(1), 24. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-02982-9>
- Skinner, J., Morton, J., & Dowdall, A. (2024). Viewpoint: Transporting carbon: calculating A4 emissions for mass timber. *The Structural Engineer*, 102(9), 34–36. <https://doi.org/10.56330/VZVH6450>
- Smith, C. J., Forster, P. M., Allen, M., Leach, N., Millar, R. J., Passarello, C. J., & Regayre, L. A. (2018). FAIR v1.3: A simple emissions-based impulse response and carbon cycle model. *Geoscientific Model Development*, 11(6), 2273–2297. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2273-2018>
- Sommerfeld, A., Senf, C., Buma, B., D'Amato, A. W., Després, T., Díaz-Hormazábal, I., Fraver, S., Frelich, L. E., Gutiérrez, A. G., Hart, S. J., Harvey, B. J., He, H. S., Hlásny, T., Holz, A., Kitzberger, T., Kulakowski, D., Lindenmayer, D., Mori, A. S., Müller, J., ... Seidl, R. (2018). Patterns and drivers of recent disturbances across the temperate forest biome. *Nature Communications*, 9, 4355. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06788-9>
- Somogyi, N., & Borovics, A. (2021). Fenntartható erdőgazdálkodás a trópusokon. Francia Guyana példája. *Erdészeti Lapok*, 1, 13–16.
- Somogyi, Z. (2020). Az erdők szénlekötésének új referenciaszintje. *Erdészeti Lapok*, 155(2), 38–41.
- Somogyi, Z. (2023). CASMOFOR (verziószám: 7.0). Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet. <http://www.scientia.hu/casmofofor>
- Somogyi, Z., Tobisch, T., & Szepesi, A. (2019). *National Forest Accounting Plan, Hungary*. Gödöllő: Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK). <http://cdr.eionet.europa.eu/hu/eu/mmr/lulucf/envxgc1ma>
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>

- Széchy, A., & Szerényi, Zs. (2023). Valuing the recreational services provided by Hungary's forest ecosystems. *Sustainability*, 15(5), 3924. <https://doi.org/10.3390/su15053924>
- 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/kehop430_Gazdasagi_ertekeles.pdf
- Tiefenbacher, A., Sanden, T., Haslmayr, H. P., Miloczki, J., Wenzel, W., & Spiegel, H. (2021). Optimizing carbon sequestration in croplands: A synthesis. *Agronomy*, 11, 882. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050882>
- Tobisch, T., & Kotteck, P. (2013). *Forestry-Related Databases of the Hungarian Forestry Directorate* (Version 1.1). Hungarian Forestry Directorate: Budapest, Hungary.
- Todaro, L. (2012). Effect of steaming treatment on resistance to footprints in Turkey oak wood for flooring. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1–3), 209–214.
- Todaro, L., Zanuttini, R., Scopa, A., & Moretti, N. (2012). Influence of combined hydrothermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood. *Wood Science and Technology*, 46(1–3), 563–578.
- Tree.ly. (2024). <https://tree.ly/hu>
- Ujvári-Jármay, É., Nagy, L., & Mátyás, Cs. (2016). The IUFRO 1964/68 inventory provenance trial of Norway spruce in Nyírjes, Hungary—results and conclusions of five decades. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 12, 178. <https://doi.org/10.1515/aslh-2016-0001>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/goals>
- Van Noordwijk, M., & Lusiana, B. (1999). WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 43, 217–242.
- VCM Primer. (2023). *The Voluntary Carbon Market Explained. Chapter 3: How does the voluntary carbon market link to the Paris Agreement and Article 6?* pp. 16–21. <https://vcmprimer.org/chapter-3/>
- Verkerk, P. J., Costanza, R., Hetemäki, L., Kubiszewski, I., Leskinen, P., Nabuurs, G. J., Potočník, J., & Palahí, M. (2020). Climate-smart forestry: The missing link. *Forest Policy and Economics*, 115, 102164. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164>
- Verkerk, P. J., Delacote, P., Hurmekoski, E., Kunttu, J., Matthews, R., Mäkipää, R., Mosley, F., Perugini, L., Reyer, C. P. O., & Roe, S., et al. (2022). *Forest-Based Climate Change Mitigation and Adaptation in Europe*. From Science to Policy 14. *European Forest Institute*: Joensuu, Finland. ISBN: 978-952-7426-22-7.
- Verkerk, P. J., Mavsar, R., Giergiczy, M., Lindner, M., Edwards, D., & Schelhaas, M. J. (2014). Assessing impacts of intensified biomass production and biodiversity protection on ecosystem services provided by European forests. *Ecosystem Services*, 9, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.004>
- Verra. (2024). <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/>
- Walker, A. P., Mutuo, P. K., van Noordwijk, M., Albrecht, A., & Cadisch, G. (2007). Modelling of planted legume fallows in Western Kenya using WaNuLCAS. (I) Model calibration and validation. *Agroforestry Systems*, 70, 197–209.
- Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J. R., & Spanel, D. A. (1989). The EPIC Crop Growth Model. *Transactions of the ASAE*, 32, 497–511.
- Wilson, J. (2010). Life-cycle inventory of particleboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science*, 42, 90–106.
- Zamora, D. S., Jose, S., Jones, J. W., & Cropper, W. P. (2009). Modeling cotton production response to shading in a pecan alleycropping system using CROPGRO. *Agroforestry Systems*, 76, 423–435. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9210-6>

1. ábra: Az IPCC első értékelő jelentésében (1990) és a hatodik értékelő jelentésben (2021) összefoglalt ismeretek, megfigyelések és modellek összehasonlítása	27
2. ábra: A globális felszíni hőmérséklet növekedése az 1850–1900-as szinthez képest	28
3. ábra: Az üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának növekedése 1850 óta	29
4. ábra: Az emberi tevékenységből származó üvegházhatású gáz (ÜHG)-kibocsátás 1850 és 2019 között	30
5. ábra: A megfigyelt felmelegedés az iparosodás előtti idők óta, és az emberi hatások komponensei	31
6. ábra: Az éghajlat nagyléptékű átlagos mutatóiban megfigyelt változások értékelése az éghajlati rendszer összetevői szerint, valamint az emberi hatások vizsgálata a megfigyelt folyamatokban	32
7. ábra: A forró hőmérsékleti szélsőségekben megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában	33
8. ábra: A heves csapadékeseményekben megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában	34
9. ábra: A mezőgazdasági és ökológiai szárazságesemények bekövetkezésében megfigyelt változás értékelésének szintézise, valamint az emberi hatás valószínűsége a változások létrehozásában	35
10. ábra: A nemzetközi klímadiplomácia fontosabb mérföldkövei	37
11. ábra: Az atmoszférikus szén-dioxid-koncentráció, a globális hőmérséklet változása és a klímaváltozás elleni küzdelem fontos mérföldkövei	38
12. ábra: A globális szén-dioxid-kibocsátás 1970 és 2020 között és a COVID-19 hatása	39
13. ábra: Az AR6 scenárió adatbázis létrehozásának és az illusztratív útvonalak (Illustrative Pathways, IP) és illusztratív mitigációs útvonalak (Illustrative Mitigation Pathways, IMP) kiválasztásának folyamata	41
14. ábra: Az IPCC AR6 WGIII-ban szereplő szemléltető útvonalak (Illustrative Pathways, IP és IMP, Illustrative Mitigation Pathways) áttekintése	42
15. ábra: Az IPCC hatodik értékelő jelentésében figyelembe vett forgatókönyvek leírása és kapcsolata	43
16. ábra: A C1–C8 scenáriók, valamint az AR6 WGI által figyelembe vett öt szemléltető forgatókönyv esetében (IMP és SSPx-y) előrejelzett átlagos globális felmelegedés	44
17. ábra: A modellezett útvonalak globális ÜHG-kibocsátása	45
18. ábra: Emissziók és szénmegkötések a nettó nulla kibocsátási szint elérésének idején	46
19. ábra: Energiaáramok a 2019-es globális energiarendszerben	47
20. ábra: Globális energiaáramok az IMP-Ren-2.0 szemléltető forgatókönyv esetében 2060-ban, amikor az előrejelzés szerint az energiarendszer kibocsátása a nettó nulla szintet eléri	48
21. ábra: Globális energiaáramok az IMP-Neg-2.0 szemléltető forgatókönyv esetében 2070-ben, amikor az előrejelzés szerint az energiarendszer kibocsátása a nettó nulla szintet eléri	48
22. ábra: Az év legmelegebb napja hőmérsékletének, az évi átlagos talajnedvességnek, valamint a legcsapadékosabb nap csapadékváltozásának előrejelzett alakulása +1,5 °C, +2 °C, +3 °C és +4 °C globális felmelegedési szintek mellett az 1850–1900-as évek átlagához viszonyítva	49
23. ábra: A globális felszíni hőmérséklet változása három reprezentatív generáció élettartama alatt	51
24. ábra: A mitigációs és alkalmazkodási lehetőségek a különböző nagy földi rendszerek szintjén	55
25. ábra: Az erdőalapú klímitigációs utak áttekintő ábrája	62
26. ábra: A fa tartós beépítése az egyik legjobb mitigációs eszköz	64
27. ábra: Az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó egyes mitigációs intézkedések mitigációspotenciál-értékei	73
28. ábra: A tiltás nem megoldás	75

29. ábra: Az erdőgazdálkodás hiányában az égetéses erdőirtás rossz gyakorlata fog tovább érvényesülni, amely néhány éves területhasználat és a talajok kimerülése után végeérhetetlen folyamatként falja fel az erdők jelentős részét	75
30. ábra: A trópusokon a mezőgazdaság szinte egyetlen hosszú távon is fenntartható formája az agrárerdészet, amely a napi megélhetés biztosításán túl jelentős szénelnyelőként, ezáltal új lehetséges többletjövedelem-forrásként járulhat hozzá a térség megújulásához	77
31. ábra: A Zöld megállapodás fontosabb elemei	85
32. ábra: A földhasználati és erdészeti szektor CO ₂ -kibocsátásai és megkötései földhasználati kategóriánként	111
33. ábra: Az EU-27 nettó kibocsátásainak és szénmegkötéseinek trendjei a teljes LULUCF-szektorban, és külön az erdőterületek plusz fatermékek (HWP) vonatkozásában, illetve a többi LULUCF-kategória esetében	112
34. ábra: Az erdőalapú és a faanyag-felhasználással kapcsolatos intézkedések mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban	114
35. ábra: Költséghatékony (100 USD/tCO ₂ költségen, vagy annál olcsóbban megvalósítható) mitigációs potenciál a teljes mitigációs potenciál százalékában	115
36. ábra: A faanyag-felhasználás változásainak mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban	116
37. ábra: Erdőgazdálkodási intézkedéscsomagok mitigációs potenciálja 2050-ig az EU-27-ben, Norvégiában, Svájcban és az Egyesült Királyságban	118
38. ábra: Az egyes erdőtípusok és gazdálkodási célok hozzájárulása a mitigációs törekvésekhez	120
39. ábra: Az európai erdők erdőtüzekkel szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján	124
40. ábra: Az európai erdők rovarkárokkal szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján	124
41. ábra: Az európai erdők szélöntésekkel szembeni sérülékenysége 2009–2018 közötti adatok alapján	125
42. ábra: A hazai erdők átlagkorának alakulása az 1980–2022 időszakban az OEA adatai alapján	136
43. ábra: A hazai erdők átlagkorának alakulása fajajcsoportonként az 1980–2022 időszakban az OEA adatai alapján	137
44. ábra: Az üvegházhatásúgáz-letárjelentés elkészítésének folyamata	139
45. ábra: Hazánk szén-dioxid-egyenértékben kifejezett üvegházgáz-kibocsátásainak és megkötéseinek nagyságrendjei szektoronként a 2021-es évben	140
46. ábra: A mezőgazdasági, földhasználati és erdészeti szektor (AFOLU-szektor) üvegházgáz-kibocsátásai és -megkötései a 2021-es évben szén-dioxid-egyenértékben kifejezve	141
47. ábra: A nettó szén-dioxid-megkötések alakulása a hazai erdőkben a 2021-es évben	142
48. ábra: A nettó szén-dioxid-megkötések alakulása a hazai erdészeti és faipari szektorban az 1990–2021 időszakban	143
49. ábra: A hazai erdőkben tárolt szénmennyiség fajajcsoportonként, illetve összesítve, valamint a fatermékek teljes szénkészlete 2021-ben	144
50. ábra: Az évi középhőmérséklet 1901 és 2023 között Magyarországon	145
51. ábra: Az évi csapadékösszeg 1901 és 2023 között Magyarországon	146
52. ábra: Az 1961–1990, 1981–2010, 2011–2040, 2041–2070 és 2071–2100 időszakok klímazónáinak alakulása az RCP4.5-ös klímaforgatókönyv szerint	147
53. ábra: Erdészeti klímabesorolás az RCP4.5 klímaprognózisból az OMSZ mérőállomások helyein, 2012–2015 között	148

54. ábra: Erdészeti klímabesorolás az OMSZ mérési eredmények alapján, 2012–2015 között	149
55. ábra: A DAS erdőállomány-prognózis modell folyamatábrája	155
56. ábra: A Forest Industry Carbon Model (FICM) folyamatábrája	156
57. ábra: Az FICM fatermék-moduljainak folyamatábrája	157
58. ábra: A túltartott állományok élőfakészlete az OEA adatai szerint (2021)	164
59. ábra: A túltartott állományok fafajsock területének megoszlása tulajdonforma szerint a 2021-es évben az OEA adatai alapján	164
60. ábra: A túltartott állományok élőfakészletének megoszlása tulajdonforma szerint a 2021-es évben az OEA adatai alapján	165
61. ábra: A túltartott állományok fafajsock területének változása az 1980–2021 időszakban az OEA adatai szerint	166
62. ábra: A túltartott állományokhoz tartozó erdőrészek területe az 1980–2021 időszakban az OEA adatai alapján	166
63. ábra: A túltartott állományok élőfakészletének változása az 1980–2021 időszakban az OEA adatai alapján	167
64. ábra: A gazdálkodó nélküli erdők területének változása a 2005–2021 időszakban az OEA szerint	168
65. ábra: A vágásérettségi korok alapján 2020 és 2100 között elérhetővé váló véghasználati fakészlet az átlagos előhasználatokkal kiegészítve	169
66. ábra: Az OEA 1980-as, 1990-es, 2000-es, 2010-es, illetve 2020-as statisztikai állapotából indított hozamvizsgálatok által előrejelzett véghasználati hozami lehetőségek mértéke, összevetve az átlagos (2017–2021) historikus véghasználat volumenével	171
67. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló akác véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	172
68. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló bükk véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	173
69. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló cser véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	173
70. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló egyéb keménylomb véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	174
71. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló egyéb lágylomb véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	174
72. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló fenyő véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	175
73. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló fűz véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	175
74. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló gyertyán véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	176
75. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló hazai nyár véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	176
76. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló nemesnyár véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	177
77. ábra: 2020 és 2100 között az erdőtervi vágásérettségi kor alapján elérhetővé váló tölgy véghasználati fakészlet átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve	177
78. ábra: Az akác fafajsock teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	178

79. ábra: A bükk fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	179
80. ábra: A cser fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	179
81. ábra: Az egyéb keménylomb fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	180
82. ábra: Az egyéb lágylomb fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	180
83. ábra: A fenyő fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	181
84. ábra: A fűz fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	181
85. ábra: A gyertyán fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	182
86. ábra: A hazai nyár fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	182
87. ábra: A nemesnyár fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	183
88. ábra: A tölgy fafajсорok teljes területe és véghasználati hozami területe korosztályonként	183
89. ábra: 2020 és 2100 között a tervezői vágásérettségi korok alapján elérhetővé váló véghasználati fakészlet az átlagos előhasználat előrevetítésével kiegészítve, és a 2017–2021 közötti átlagos fahasználat értékével összevetve	184
90. ábra: 2017–2021 közötti átlagos választékszerkezet az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program adatai alapján	185
91. ábra: A 2017–2021 közötti fajcsoportonkénti választékszerkezet adatok alapján prognosztizált választékszerkezet a 2100-ig tartó időszakban	185
92. ábra: A 2020 és 2100 közötti időszakra prognosztizált iparifa mennyisége a 2017–2021 közötti átlagos iparifatermelés értékével összevetve	186
93. ábra: A hazai erdőalapú szektor szénmérlegének előrejelzése új erdőtelepítések nélkül, kizárólag a meglévő erdők, illetve az ezekből származó fatermékek alapján 2050-ig (BAU szénmérleg)	195
94. ábra: 5000 hektár/év mértékű erdőtelepítés hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével	197
95. ábra: 5000 ha/év gyors növekedésű hengeres iparifa-ültetvény telepítése hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével	198
96. ábra: Akác állományok véghasználatát követő akác–tölgy fafajcsere hatásának összevetése a meglévő erdők BAU szénmérlegével	199
97. ábra: A kitermelt fa ipari választékarányának növelése és 100%-os hazai fafeldolgozás hatása összevetve a meglévő erdők és faipar BAU szénmérlegével	200
98. ábra: A kitermelt fa ipari választékarányának növelése és 100%-os hazai fafeldolgozás, valamint optimalizált hulladékgazdálkodási stratégia feltételezésével, az eredményeket összevetve a meglévő erdők és faipar BAU szénmérlegével	201
99. ábra: A hazai mezővédő erdősávok területének megkétszerezésével elérhető szénmegkötés összevetve a meglévő erdők BAU-szénmérlegével	202
100. ábra: A hazai mezővédő erdősávok területének megnövelése 150 ezer hektárra összevetve a meglévő erdők BAU szénmérlegével	203
101. ábra: A fakitermelés teljes elhagyásának hatása az erdőalapú szektor szénmérlegére 2100-ig	204
102. ábra: A modellezést összefoglaló infografika	210
103. ábra: Az erdőtelepítések területe a három vizsgált scenárióban	211
104. ábra: A fakitermelés alakulása a három vizsgált scenárióban	211
105. ábra: Az erdőtervezői vágásérettségi korokból levezetett maximális fahasználati potenciál, további erdőtelepítések figyelembevétele nélkül	212

106. ábra: A hazai erdőállomány átlagkorának alakulása a három prognosztizált scenárióban	215
107. ábra: A BAU-szenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve	215
108. ábra: Az extenzifikációs scenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve	216
109. ábra: Az intenzifikációs scenárió prog-nosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termék-helyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve	216
110. ábra: Az erdei széntárolók és a fatermékek szénegyenlege a három vizsgált scenárióban összevetve a Magyarország számára előírt 2030-as LULUCF-célértékkel	217
111. ábra: Az extenzifikációs és az intenzifikációs scenáriók átlagos éves mitigációs potenciálja a BAU-szenárióhoz viszonyítva a 2024–2030 és a 2031–2050 időszak vonatkozásában.	218
112. ábra: Az esettanulmány összefoglaló infografikája	225
113. ábra: A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdőterületek	228
114. ábra: A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt erdők élőfakészletének fajajok szerinti megoszlása 2021-ben. Az adatok 1000 m ³ egységben szerepelnek	229
115. ábra: A vizsgálatban alkalmazott modellezési keretrendszer folyamatábrája, amely magában foglalja a Forest Industry Carbon Model erdő-, HWP- és helyettesítési moduljait.	231
116. ábra: A Szombathelyi Erdészeti Zrt. által kezelt teljes erdőállomány korosztály-eloszlása. Jobbra: a Zrt. által kezelt fenyőerdők korosztály-eloszlása	234
117. ábra: A túltartott erdők fatérfogatának alakulása a Szombathelyi Erdészeti Zrt. működési területén 2006 és 2021 között	234
118. ábra: Az öt vizsgált scenárióhoz tartozó fakitermelés- és folyónövedék előrejelzések, valamint az erdőtervekben meghatározott vágásérettségi korokon alapuló maximális fahasználati potenciál	235
119. ábra: Az egyes scenáriókhöz tartozó fakitermelési projekciók aránya az erdőtervezői vágásérettségi korokon alapuló maximális fahasználati potenciálhoz viszonyítva, illetve a Forest Industry Carbon Model által prognosztizált scenárióspecifikus éves folyónövedék értékekhez viszonyítva	235
120. ábra: Balra: az élőfakészlet alakulása az öt forgatókönyv szerint. Jobbra: az átlagkor alakulása az öt forgatókönyv szerint	236
121. ábra: Az élőfakészlet-, a HWP-széntároló- és a helyettesítési hatások éves átlagos szénegyenlege az öt vizsgált scenárióban	237
122. ábra: Az érzékenységvizsgálat eredményei: a helyettesítési tényezők módosításának hatása a vizsgált forgatókönyvek relatív teljesítményére. A tényezőket az eredeti érték 20–200%-a között változtattuk	238
123. ábra: ITMO-transzfer és a kapcsolódó kibocsátáskorrekciók.	250
124. ábra: A Párizsi Egyezmény kvótakereskedelmi rendszere	251
125. ábra: Az egyes kvótakereskedelmi rendszerek földrajzi kiterjedése	252
126. ábra: A kvótakereskedelmi rendszerek által lefedett emissziók mennyiségének alakulása a 2005–2024 időszakban	253
127. ábra: Az egyes kvótakereskedelmi rendszerek által lefedett szektorok	253
128. ábra: Az ETS szén-dioxid-árak (euro/ tonna CO ₂ egyenérték) alakulása a 2017–2022 időszakban	254
129. ábra: A hazai kibocsátások és megkötések lefedettsége az egyes kvótakereskedelmi és szabályozási rendszerek által	255
130. ábra: A LULUCF-szénegyenleg kvótákká történő átszámításának szabályozása az egyes kötelezettség-vállalási periódusokban	256
131. ábra: Önkéntes Karbonpiaci Integritási Tanács által megfogalmazott önkéntes karbonpiaci alapelvek	258

132. ábra: Az önkéntes karbonpiac szereplői	259
133. ábra: A Fenntartható Finanszírozási Keretrendszer elemei	260
134. ábra: A CRCF-rendelet által létrehozott tanúsítási keretrendszer	261
135. ábra: A CRCF-rendelet szerinti tanúsítás folyamatábrája	261
136. ábra: A CRCF-rendelet szerint tanúsítható tevékenységek típusai	263
137. ábra: A CRCF-rendelet szerinti karbonkredit típusok	263
138. ábra: A szénmegkötések tanúsításának kritériumrendszere a CRCF-rendelet szerint	264
139. ábra: Az elszámolható szénmegkötések számszerűsítése	266
140. ábra: A tanúsítható Carbon Farming tevékenységek főbb típusai	267
141. ábra: A standardizált bázisvonalak megállapításának folyamatábrája	269
142. ábra: A hosszú távon beépíthető biológiai-alapú termékek lehetséges típusai	269
143. ábra: A tervezett telepítés területének klímája a jelen (2011–2040) időszakban	277
144. ábra: A tervezett telepítés területének klímája a közeli jövő (2041–2070) időszakban	277
145. ábra: A tervezett telepítés területének klímája a távolabbi jövő (2071–2100) időszakban	278
146. ábra: A telepített erdő prognosztizált szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2055 időszakban	281
147. ábra: A telepített erdő elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, valamint a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban	281
148. ábra: A telepített erdőből származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban az 1,04 hektáros projekt területére vonatkozóan	282
149. ábra: A telepített erdőből származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulása függvényében, az 1,04 hektáros projekt területére vonatkozóan	283
150. ábra: A Káld 75/C erdőrésztlet képei (Fotók: Borovics Attila)	287
151. ábra: Képek a száradékról a Káld 75/C erdőrésztletben (Fotók: Borovics Attila)	288
152. ábra: Káld 75/C erdőrésztlet elhelyezkedése	289
153. ábra: Az erdőrésztlet klímája a közelmúltban (azaz az 1981–2010-es időszakban)	289
154. ábra: Az erdőrésztlet klímája a jelen állapotban (azaz a 2011–2040-es időszakra jellemző állapot) az RCP4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint	290
155. ábra: Az erdőrésztlet klímája a közeli jövőben (azaz a 2041–2070-es időszakra jellemző állapot) az RCP4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint	290
156. ábra: A Káld 75/C erdőrésztlet klímája a távolabbi jövőben (azaz a 2071–2100 időszakban) az RCP 4.5-ös klímaváltozási forgatókönyv szerint	291
157. ábra: Az IFM-projektbe vont erdőállomány szénkészlete fafajok szerint a 2024–2055 időszakban	295
158. ábra: A lékes felújításban behozott fafajok szénkészletének alakulása a 2024–2055 időszakban	296
159. ábra: A lékes felújításban behozott fafajok szénmegkötésének alakulása a 2024–2055 időszakban	296
160. ábra: Az IFM-projektben elszámolható szénmegkötés, a fakitermeléshez, telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, valamint a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban	297
161. ábra: Az IFM-projektből származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban, a 4,7 hektáros projekt területére vonatkozóan	297
162. ábra: Az IFM-projektből származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulásának függvényében, a 4,7 hektáros projekt területére vonatkozóan	298
163. ábra: Az erdőtervezett mezővédő erdősávok elhelyezkedése hazánkban az OEA adatai alapján	302

164. ábra: A tervezett fásítás területének klímája a jelen (2011–2040) időszakban.	304
165. ábra: A tervezett fásítás területének klímája a közeljövő (2041–2070) időszakban.	305
166. ábra: A törökszentmiklósi sáv ültetési hálózata	306
167. ábra: A törökszentmiklósi sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2055 időszakban	309
168. ábra: A törökszentmiklósi sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége, illetve a bizonytalansági korrekció értékei a 2024–2055 időszakban.	310
169. ábra: A törökszentmiklósi sávból származó kumulált kvótabevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2055 időszakban, a 0,75 hektáros projekt területére vonatkozóan	310
170. ábra: A törökszentmiklósi sávból származó kumulált kvótabevétel jelenértéke a kvótaár alakulása függvényében, a 0,75 hektáros projekt területére vonatkozóan	311
171. ábra: Acélszerkezetű épület	315
172. ábra: Vasbeton épület	315
173. ábra: TimberPlus épület, LVL	316
174. ábra: Az épületek alaprajza	316
175. ábra: A négy vizsgált épülettípusban tartósan tárolt biogén szén mennyisége és a bázisvonal értéke .	319
176. ábra: Az erdők ökoszisztéma-szolgáltatásainak típusai	332
177. ábra: A magyarországi erdők szén-dioxid-megkötési és -tárolási szolgáltatásainak pénzügyi értékelése során alkalmazott koncepciók viszonya	335
178. ábra: A hazai erdők klímamitigációs ökoszisztéma-szolgáltatásainak pénzügyi értéke.	339
179. ábra: Az éghajlatváltozás mérséklésével kapcsolatos ökoszisztéma-szolgáltatások pénzügyi értékelésének eredményei a magyar erdészeti és faipari ágazatban	340
180. ábra: Fakitermelési szintek az egyes scenáriókban	348
181. ábra: Tarvágásokat követő erdőfelújítások területének megoszlása fafajcsoportok szerint	351
182. ábra: Felújítógátásokat követő erdőfelújítások területének megoszlása fafajcsoportok szerint	351
183. ábra: Erdőfelújítási költségek alakulása BAU, EXT, INT scenáriók esetén.	353
184. ábra: Erdőtelepítési költségek az egyes forgatókönyvekben 2050-ig	356
185. ábra: A faanyag szerepe a körkörös biogazdaságban	365
186. ábra A fa az egyik legrégebbi és legjobban ismert bioalapanyag, melynek tartós beépítése a hosszú távú széntárolás legjobb módja.	369
187. ábra: A farostalapú szigetelés egy jól bejáratott termék, mely az épületekbe beépítve hosszú távon tárolja a szenet.	370
188. ábra: A fakitermelés trendjének alakulása Európában	371
189. ábra: Az európai faipar a számok tükrében	372
190. ábra: A faipari intenzifikáció és a munkahelyteremtés kapcsolata	373
191. ábra: Az újonnan gyártott termékekben felhasznált újrahajszosított fa mennyisége folyamatosan növekszik Európában	374
192. ábra: A fabútorok és padlók nemcsak szenet tárolnak, hanem szépséget és meleget is kölcsönöznek az otthonoknak	376

1. táblázat: Az erdészeti és faipari szektort érintő többszintű politikai és jogi keretrendszer	65
2. táblázat: Az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó mitigációs intézkedések maximális elvi globális mitigációs potenciálja, gazdasági mitigációs potenciálja, előnyei, valamint kockázatai	74
3. táblázat: Erdőalapú mitigációs tevékenységek és azok hatásai a biodiverzitásra	121
4. táblázat: A telepítések fajfajösszetétele a 2024–2050 időszakban	196
5. táblázat: A létesített hengeresfa-ültetvények fajfajösszetétele a 2024–2050 időszakban	197
6. táblázat: A modellezés során használt megnövelt ipari faválaszték-arányok fajfajcsoportonként	200
7. táblázat: Az optimalizált hulladékgazdálkodási stratégiához kapcsolódó modellparaméterezés	201
8. táblázat: A három scenárió prognosztizált faválaszték-arányai	213
9. táblázat: A modell faiparhoz és hulladékkezeléshez kapcsolódó paraméterezése	214
10. táblázat: Faipari vonatkozású forgatókönyv-paraméterezés	232
11. táblázat: BAU-választékszerkezet adatok a 2017–2021 évek historikus adatainak átlaga alapján (OSAP 2023) és az intenzifikált faiparra jellemző növelt ipari választék-arányok, melyek szakértői becslés útján kerültek meghatározásra	233
12. táblázat: Az élőfakészlet és a HWP éves szénmérlege, valamint a termék- és energia-helyettesítéssel elkerült kibocsátások alakulása az öt vizsgált forgatókönyv szerint	237
13. táblázat: A tervezett telepítés termőhelytípus-változat adatai és kiterjedése	276
14. táblázat: A telepítés és ápolás során tervezett munkálatok, illetve a helyszín területkategória szerinti besorolása	279
15. táblázat: A telepített erdő szénmegkötése, a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a telepítésből származó kvóták és kvótাবেvétel	282
16. táblázat: Improved Forest Management projekt típusok a jelenlegi, a CRCF-rendelet által még nem szabályozott önkéntes karbonpiacon	285
17. táblázat: A vizsgált erdőrésztlet termőhelytípus-változat adatai és kiterjedése	291
18. táblázat: A telepítésre tervezett fafajok és az érintett terület	292
19. táblázat: A bázisvonal értéke 101–120 év közötti erdeifenyő állományok esetében	293
20. táblázat: Az IFM-projekt megvalósítása során tervezett fakitermelési, felújítási és ápolási munkálatok, illetve a projekt helyszínének területkategória szerinti besorolása	293
21. táblázat: Az IFM-projekt szénmegkötése, a fakitermeléshez, felújításhoz és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a projektből származó kvóták és kvótাবেvétel	298
22. táblázat: A tervezett fásítás termőhelytípus-változat adatai és kiterjedése	305
23. táblázat: A fásítások telepítése és ápolása során tervezett munkálatok, illetve a fásítások területkategória szerinti besorolás	307
24. táblázat: A fásítás szénmegkötése, a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a fásításból származó kvóták és kvótাবেvétel	311
25. táblázat: A négy vizsgált épülettípusban alkalmazott anyagmennyiségek	318
26. táblázat: Széntárolás (szén-dioxid-egyenértékben kifejezve), illetve a keletkező karbonkreditek és a karbonkredit-bevétel a vizsgált épülettípusok esetében	319
27. táblázat: Az LCA-alapú számítás főbb szempontjai	322
28. táblázat: A külső falszerkezet rétegrendje	322
29. táblázat: A külső falszerkezet gyártási szakaszára vonatkozó anyagmennyiségek és emissziók/szén-megkötések	323
30. táblázat: Az erdei ökoszisztémák legfontosabb szolgáltatásainak pénzügyi értékelése Magyarországon	334
31. táblázat: Az egyes forgatókönyvek fakitermelési tevékenységeinek hozami értéke	348

32. táblázat: Erdőfelújítások átlagos területi nagyságai 2023–2050 között évente (ezer ha)	350
33. táblázat: Az egyes forgatókönyvek erdőfelújítási tevékenységének költségei 2050-ig	352
34. táblázat: Az egyes forgatókönyvek erdőtelepítési tevékenységének költsége 2050-ig	355
35. táblázat: Az erdő- és fagazdaság forgatókönyvei gazdasági hatásainak összefoglaló adatai (adatok egész milliárd Ft-ra kerekítve)	358
36. táblázat: A körforgásos gazdaság érvényesülését segítő „10 R” eszközrendszer	363

Grafika:
Bolyki Etus

Tördelőszerkesztő:
Sándor Anna

Készült 500 példányban

Készítette:



INFORM
Kiadó & Nyomda

2013 POMÁZ, MIKSZÁTH K. U. 14.
WWW.INFORMKIADO.HU

2026/07

Hogyan járulhat hozzá az erdőalapú szektor a klímaváltozás mérsékléséhez?

A klímaváltozás hatásait már napjainkban is világszerte tapasztaljuk, mérséklése és az alkalmazkodás az emberiség egyik legnagyobb kihívása a következő évtizedekben. A globális felmelegedés +2 °C alatt tartásához elengedhetetlen az üvegházhatású gázkibocsátások csökkentése, miközben a szénelnyelő megoldások szerepe is kulcsfontosságú.

Ebben a folyamatban az erdők és az erdőalapú gazdaság egyedülálló szerepet töltenek be. Az erdei ökoszisztémák természetes szénelnyelőként működnek, miközben megújuló nyersanyagot biztosítanak a körkörös biogazdaság számára. A faépületekben tárolt szén akár évszázadokon át megkötve maradhat. A fa széles körű felhasználása pedig hozzájárul a fosszilis alapú termékek és energiaforrások kiváltásához.

A kötet átfogó elemzést nyújt az erdőalapú szektor klímamitigációs lehetőségeiről. Bemutatja a globális és európai összefüggéseket, elemzi a hazai erdők és fatermékek szénmérlegét, valamint modellezési eredmények alapján értékeli különböző erdőkezelési forgatókönyvek hatásait, továbbá kitér a karbonpiacok működésére és az európai szabályozási keretekre is, rámutatva a szén-dioxid árazás ösztönző szerepére.

A könyv rámutat: a klímamitigáció és az alkalmazkodás összehangolása, az adaptív, klímatudatos erdőgazdálkodás és a faipari innovációk együttesen kínálnak valódi megoldást. A faanyag aktív, fenntartható hasznosítása hosszú távon is hozzájárul a kibocsátások csökkentéséhez, különösen a faalapú termékhelyettesítések révén. A kötet hozzájárul a szemléletváltáshoz, amely az erdőket nem pusztán szénraktárként, hanem a klímavédelem és a körkörös biogazdaság aktív, stratégiai eszközeként értelmezi.

ISBN 978-963-334-57-2



978963334572