

## *A mezővédő fásításokból származó karbonkredit-bevétel becslése*

**BOROVICS ATTILA – ÁBRI TAMÁS – BENKE ATTILA –  
KIRÁLY ÉVA – KOVÁCS ZOLTÁN – SCHIBERNA ENDRE  
– KESERÚ ZSOLT**

**Kulcsszavak:** klímamitigáció, szén-dioxid-árzás, karbonpiac, agrárerdészet,  
szénmegkötés

**Jel-kód:** Q01, Q23, Q54

### **ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK**

A földhasználati szektor a klímamitigációs erőfeszítések kiemelt területe, hiszen az ökoszisztémák szénmegkötő képessége révén itt nemcsak a kibocsátások csökkentésére van lehetőség, hanem szénmegkötő gazdálkodásra is. Az EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) rendelete által szabályozott önkéntes karbonpiac új bevételi lehetőséget kínál a mezőgazdálkodóknak és az erdőgazdálkodóknak. A mezővédő fásítások létesítése a CRCF-rendelet szerint az agrárerdészeti tevékenységek közé tartozik, és a fásítások biomasszájában, valamint a talajban megkötött szén is forgalmazható a rendelet által szabályozott önkéntes karbonpiacon. Tanulmányunkban négy helyszínen tervezett mezővédő fásítások szénmegkötését prognosztizáltuk 2050-ig. Emellett számszerűsítettük a fásítások telepítése és ápolása során keletkező üvegházhatásúgáz- (ÜHG-) kibocsátásokat is a CRCF-rendelet protokollja szerint. Ezek ismeretében meghatároztuk az elszámolható szénmegkötést, illetve a várható karbonkredit-bevételeket. Eredményeink szerint a fásítások telepítése és ápolása során üzemelő gépek ÜHG-emissziói elenyészően kicsik (mindössze 0,6–0,8 százalék értékűek) a biomasszában és a talajban megvalósuló szénmegkötéshez képest. Így a fásítások telepítése viszonylag széles termőhelyi spektrumon jövedelmező befektetés lehet az erdőgazdálkodók és a mezőgazdasági termelők számára. Tekintettel arra, hogy a fásítások telepítését a közös agrárpolitika (KAP) finanszírozza, a CRCF-rendelet által szabályozott önkéntes karbonpiacról származó bevételek több-letbevételei forrást jelentenek.

---

**Borovics Attila**, főigazgató, tudományos tanácsadó, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0002-6376-3342, Sárvár, borovics.attila@uni-sopron.hu

**Ábri Tamás**, tudományos munkatárs, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0002-0317-0975, Püspökladány, abri.tamas@uni-sopron.hu

**Benke Attila**, tudományos osztályvezető, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0003-0149-4252, Sárvár, benke.attila@uni-sopron.hu

**Király Éva**, kutatómérnök, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0001-7699-7191, Sárvár, kiraly.eva.ilona@uni-sopron.hu

**Kovács Zoltán**, tudományos főmunkatárs, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Sopron, kovacs.zoltan@uni-sopron.hu

**Schiberna Endre**, tudományos osztályvezető, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0001-6947-6312, Sopron, schiberna.endre@uni-sopron.hu

**Keserú Zsolt**, tudományos osztályvezető, Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, ORCID: 0000-0003-1123-8447, Püspökladány, keseru.zsolt@uni-sopron.hu

## ESTIMATION OF THE CARBON CREDIT INCOME FROM SHELTERBELT PLANTATIONS

**Keywords:** climate change mitigation, carbon pricing, carbon market, agroforestry, carbon sequestration

**JEL codes:** Q01, Q23, Q54

The land-use sector plays a vital role in climate change mitigation efforts, leveraging ecosystems' carbon sequestration for both emission reductions and carbon farming. Under the EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) regulation, farmers and foresters can earn income on the voluntary carbon market by selling carbon captured in the biomass and soil of newly established shelterbelt plantations. This study estimates the carbon sequestration potential of planned shelterbelts at four sites up to 2050 and evaluates the greenhouse gas (GHG) emissions generated from the planting and the maintenance of the afforestation. Findings reveal that machinery-related GHG emissions are negligible (0.6–0.8 per cent) compared to the amount of carbon sequestered in the biomass and the soil. Shelterbelt establishment, supported by CAP funding, is thus a profitable investment, further enhanced by additional revenues from the carbon market regulated by the CRCF.

### BEVEZETÉS

A földhasználati szektor kulcsfontosságú szerepet játszik az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló erőfeszítésekben, különösen a Párizsi megállapodás, az EU Zöld megállapodása (Green Deal) és a nettó nulla kibocsátási célkitűzés elérésében (Verkerk et al., 2022; Korosuo et al., 2023). Ez a szektor számos tevékenységet magában foglal, beleértve a mezőgazdaságot, és az erdőgazdálkodást, amelyek együtt hozzájárulhatnak az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez és a szén-dioxid megkötéséhez (IPCC, 2022). A földhasználati szektor mitigációs potenciáljának kiaknázása fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok alkalmazását, erdőtelepítési és újraerdősítési kezdeményezéseket, valamint a talajban található szén-dioxid megkötésének fokozását teszi szükségessé (IPCC, 2022).

Az agrárerdészeti rendszerekben a fák és cserjék együttes jelenléte mezőgazdasági növényekkel vagy haszonállatokkal kedvező mikroklímátikus 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 (CO<sub>2</sub>) kötnek meg a légkörből, amelyet aztán a biomasszában, a holt szerves anyagokban és a talajban tárolnak (IPCC, 2022).

Lal (2004) szerint a mérsékelt égövben a természetes ökoszisztémák hagyományos mezőgazdasági területekkel történt felváltása akár 60 százalékos szénvesztéshez is eredményezhetett. A művelési technológia fejlődése, beleértve a gépesítést és a széles körben elterjedt monokultúrákat, hozzájárult a talaj szerves szénkészletének (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, illetve és növeli a szénmegkötést a talajban és a dendromasszában (Eglin et al., 2010; Mayer et al., 2022; Dmuchowski et al. 2024). Kay et al. (2019) szerint az EU 27 tagállama összterületének 8,9 százaléka alkalmas agrárerdészeti művelésre. E területek agrárerdészeti rendszerré alakítása évi  $-7,78$  és  $-234,85$  Mg CO<sub>2</sub>-egyenérték közötti szénmegkötést eredményezhet, ami Európa teljes üvegházhatásúgáz-kibocsátásának 1,4–43,4 százalékát tenné ki. Ezért az agrárerdészet szélesebb körű alkalmazása biztató lehetőségeket kínál a jövőben a nettó nulla kibocsátású mezőgazdasági szektor létrehozására. Ezzel összhangban Hart et al. (2017) és Aertsens et al. (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 tartoznak 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 megértésére, 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 tervezésében és kivitelezésében.

Az első agrárerdészeti modellek mezőgazdasági és növénytermesztési modellek adaptációja útján jöttek létre. Például a CROPGRO (Boote et al., 1998) és a STICS (Brisson et al., 1998) modelleket használták agrárerdészeti rendszerek szimulálására, csökkentve a növények számára elérhető fény mennyiségét (Zamora et al., 2008; Dufour et al., 2013). A CROPGRO és az EPIC (Williams et al., 1989) modelleket használ-

ták mezővédő erdősávok hatásának értékelésére is oly módon, hogy módosították a szélnek és a sugárzásnak való kitettség paraméterezését (Easterling et al., 1997; Qi et al., 2001). Az agrárerdészeti modellek közül a WaNuLCAS (Van Noordwijk és 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. Bár nem mérsékelt égövi rendszerek modellezésére fejlesztették, a WaNuLCAS alkalmas lehet e klímaöbven létesített ültetvények modellezésére is (Walker et al., 2007; Martin és 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 fejlesztettek 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 mikroklímára és ezáltal a terméshozamokra. 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 megközelítőleg 35 000 hektárt tett ki a területük (Danszky, 1973; Frank és Takács, 2012), ezzel szemben ma már csak körülbelül 14 000 hektárra becsülik (Király et al., 2024b).

Az egyik fontos újítás a magyar mezőgazdasági támogatási rendszerben 2023-tól az, hogy az agrárerdészeti rendszerek által elfoglalt mezőgazdasági terület egyértelműen jogosult marad közvetlen területalapú támogatásokra is (NAK, 2022), mivel a 15/2024 AM rendelet 1.§ 45. pontjában található mezőgazdasági terület definíció nevesíti az agrárerdészeti rendszereket. Ezenkívül az agrárerdészeti rendszerek agrárökológiai program elemeként, illetve tájlelmékként 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 jövőben létrehozható agrárerdészeti rendszerekhez kapcsolódó klímamitigációs hatásokat sem. Király et al. (2024b) a magyar mezővédő erdősávok föld feletti biomasszájában megvalósuló éves szénmegkötést  $-33 \text{ ktCO}_2/\text{év}$  értékre becsültk, ami a magyarországi erdők föld feletti biomasszájában megvalósuló éves szénmegkötés 0,7 százalékának felel meg az üvegházhatású gázokról szóló leltárjelentés szerint (NIR, 2023). A hazai agrárerdészeti

rendszerek jövőbeli szénmegkötésének, illetve klímamitigációs potenciáljának számszerűsítése azonban még további vizsgálatokra szorul. Különösen aktuális ez az EU Carbon Removals and Carbon Farming rendeletének (EU/2024/3012; CRCF, 2024) elfogadása miatt is, mely lehetővé teszi az agrárerdészeti rendszerek által megkötött szén értékesítését az önkéntes karbonpiacon, ezzel többletbevételi lehetőséget kínálva a gazdálkodóknak.

### **A „CARBON REMOVALS AND CARBON FARMING” RENDELET FÁSÍTÁSOKRA VONATKOZÓ SZABÁLYOZÁSÁNAK ISMERTETÉSE**

Az Európai Tanács 2024. november 19-én fogadta el a szén-dioxid eltávolítására és a karbonszén-dioxidra vonatkozó (Carbon Removals and Carbon Farming, azaz CRCF) rendelet végleges szövegét, mely 2024 decemberében lépett hatályba. Ezzel létrehozta az első EU-szintű önkéntes keretrendszert a szénmegkötési megoldások egységesített tanúsítására, ami mérőföldkének tekinthető az erdészeti és a mezőgazdasági szektor szempontjából is.

A CRCF-rendelet egy EU által szigorúan szabályozott keretrendszert hoz létre, melyben a szénmegkötő tevékenységek tanúsítása és auditálása központi protokoll alapján történik. 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, mind szén-dioxid-megkötési/eltávolítási és tárolási technológiák, mind pedig carbon farming tevékenységek tanúsíthatóak és részt vehetnek a karbonpiacon (Borovics és Király, 2024a, b).

A carbon farming, azaz karbonszén-dioxid 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, illetve az agrárerdészeti rendszerek biomasszájában és talajában megvalósított szénmegkötési projektek, valamint a mezőgazdasági talajokból származó kibocsátás csökkentésére irányuló projektek is.

A CRCF-rendelet részletes módszertani útmutatóinak kidolgozása jelenleg folyamatban van. E cikk megírásakor a rendelet szövegét (CRCF, 2024), illetve a módszertani útmutató még nem véglegesített tervezeteit vettük alapul az elszámolható szénmegkötés kiszámításához.

A mezővédő fásítások létesítése a 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 később a szén-dioxid megkötéséből származó bevétel egészít ki.

A fásítási projektek 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. Ehhez hektáronként 3 talajminta vételezését és laboratóriumi elemzését javasolja a módszertani útmutató tervezete.

A projekt megvalósítása során rendszeres (legalább 5 évenkénti) monitoring-tevékenységre is szükség van, ahol dendrometriai, illetve talajszénmérések segítségével szükséges megvizsgálni, hogy a tervezett szénmegkötés a helyszínen valóban megvalósult-e. A terepi mérések kiegészíthetők távérzékeléses vizsgálatokkal is.

A karbonkreditek kibocsátása utólagos, tehát csak a már valóban megvalósult szénmegkötés eredményezhet karbonkrediteket.

Egy tonna megkötött szén-dioxid képez egy karbonkreditegységet. Jellemzően a fásítás telepítését követő ötödik évben kerülhet sor az első helyszíni auditra, ezután történhet meg a karbonkreditek kibocsátása. Azonban már a projekt indulásakor kiadott megfelelőségi tanúsítvány is lehetővé teszi, hogy a gazdálkodó előszerződést kössön egy finanszírozóval, aki majd a később keletkező karbonkreditek birtokosa lesz, ezáltal a gazdálkodó az első monitoringciklus lezárulta előtt is bevételhez juthat.

Egy mezővédő fásítási projekt minimális hossza a szabályozás szerint 10 év, melyhez legalább 15 éves monitoring-időszak társul, azonban természetesen lehetőség van a projekt meghosszabbítására 10 év után, mellyel automatikusan a kötelező monitoring időszaka is kitolódik.

## CÉLOK

Jelen tanulmány célja az volt, hogy megszerűsítsük négy hazai mezővédő fásítás megvalósítása során keletkező elszámolható karbonkreditek mennyiségét, és megbecsüljük az ebből származó bevételi lehetőség nagyságrendjét. Ehhez a fásítások kiviteli terveit vettük alapul, melyek alapján modelleztük a fásítások szénmegkötését a 2050-es céldátumig a Forest Industry Carbon Model (Borovics et al., 2024) felhasználásával. Emellett kiszámítottuk a fásítások telepítése és ápolása során keletkező ÜHG-kibocsátásokat is, melyek ismeretében meg tudtuk határozni az elszámolható szénmegkötést, illetve a várható karbonkredit-bevételeket.

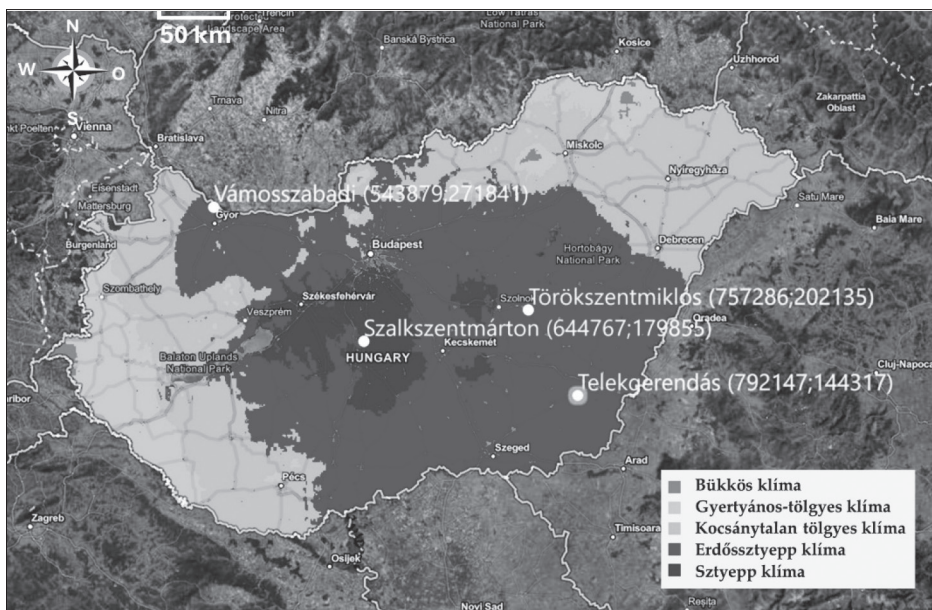
## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A mintaterületek és a tervezett fásítások bemutatása

A fásítások helyszíneit négy állami erdőgazdálkodóval történt megállapodás alapján, az általuk vagyongezelt állami, szántó művelési ágú területekből választottuk ki. A helyszínek megválasztása során a célunk

I. ábra

**A tervezett fásítások területének klímája a jelen (2011–2040) időszakban**  
**(The climate of the planned shelterbelts during the current period of 2011–2040)**



Forrás: SiteViewer 3.0, 2024

I. táblázat

**A tervezett fásítások termőhelytípus-változatának adatai és kiterjedése**  
**(Data and extent of the planned shelterbelts by production area type variants)**

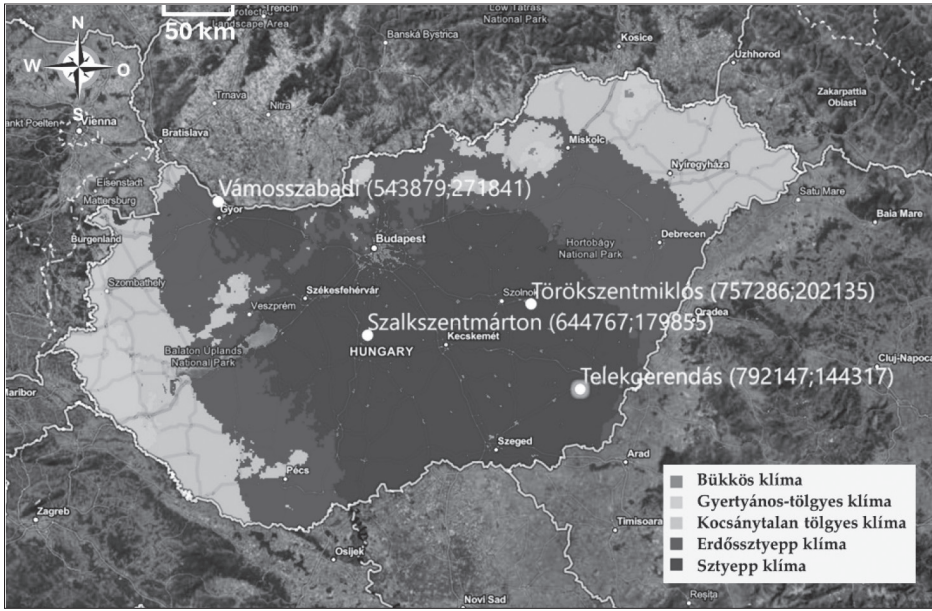
	Tervezett sáv hossza (m)	Klíma 2011–2040.	Klíma 2041–2070.	Hidrológia	Genetikai talajtípus	Termőrétegmélység	Fizikai talajféleség
Városszabadi I.	210	erdős-szytyepp	erdős-szytyepp	többlet-vízhatástól független	humuszos öntéstalaj	közepes	vályog
Városszabadi II.	225	erdős-szytyepp	erdős-szytyepp	többlet-vízhatástól független	humuszos öntéstalaj	közepes	vályog
Szalkszentmárton	800	szytyepp	szytyepp	többlet-vízhatástól független	humuszos homoktalaj	közepes	homok
Telekgerendás	450	erdős-szytyepp	szytyepp	többlet-vízhatástól független	típusos réti talaj	sekély	agyag
Törökszentmiklós	500	erdős-szytyepp	szytyepp	többlet-vízhatástól független	régi csernozjom	közepes	agyag

Forrás: saját szerkesztés

az volt, hogy az alföldi erdőgazdálkodói gyakorlat és a kutatás együttműködésével a mezővédő erdősávok kialakítására jó gyakorlatokat alakítsunk ki és mutassunk be.

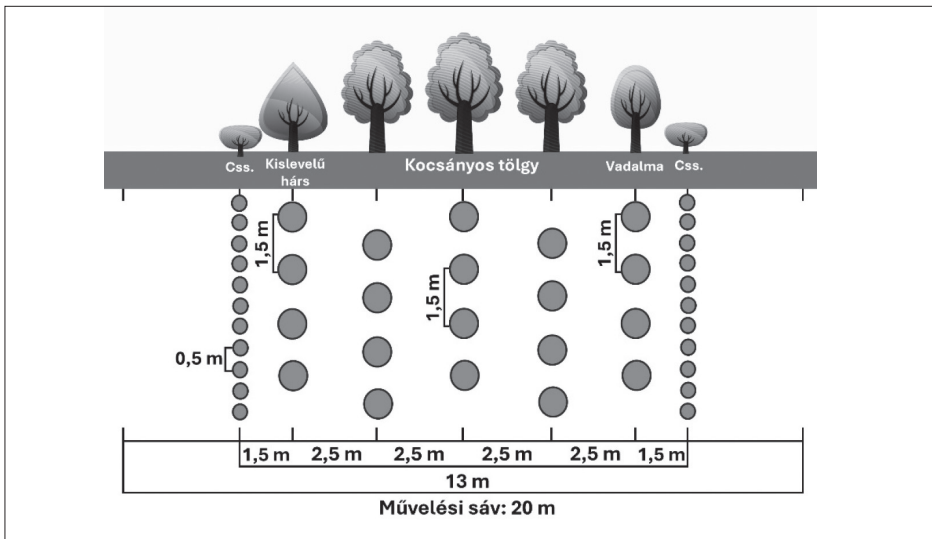
A tervezett fásítások a KAEG – Kisalföldi Erdőgazdaság Zrt., a KEFAG – Kiskunsági Erdészeti és Faipari Zrt., a DALERD – Délalföldi Erdészeti Zrt., valamint a NEFAG

**2. ábra**  
**A tervezett fásítások területének klímája a közeljövő (2041–2070) időszakban**  
**(The climate of the planned shelterbelts during the near future period of 2041–2070)**



Forrás: SiteViewer 3.0, 2024

**3. ábra**  
**A vámoszabadi I. sáv tervezett ültetési hálózata**  
**(The planned planting network of shelterbelt I in Vámoszabadi)**

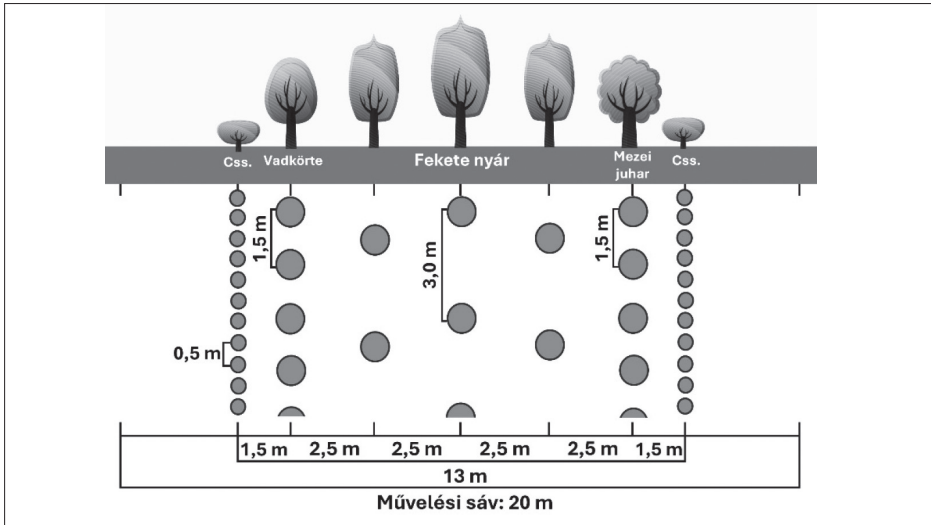


Megjegyzés: A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*), varjútevisebenge (*Rhamnus cathartica*), fagyal (*Ligustrum vulgare*), veresgyűrű som (*Cornus sanguinea*), kőköny ( *Prunus spinosa*), mogyoró (*Corylus avellana*).

Forrás: saját szerkesztés

4. ábra

**A vámoszabadi II. sáv tervezett ültetési hálózata**  
 (The planned planting network of shelterbelt II in Vámoszabadi)

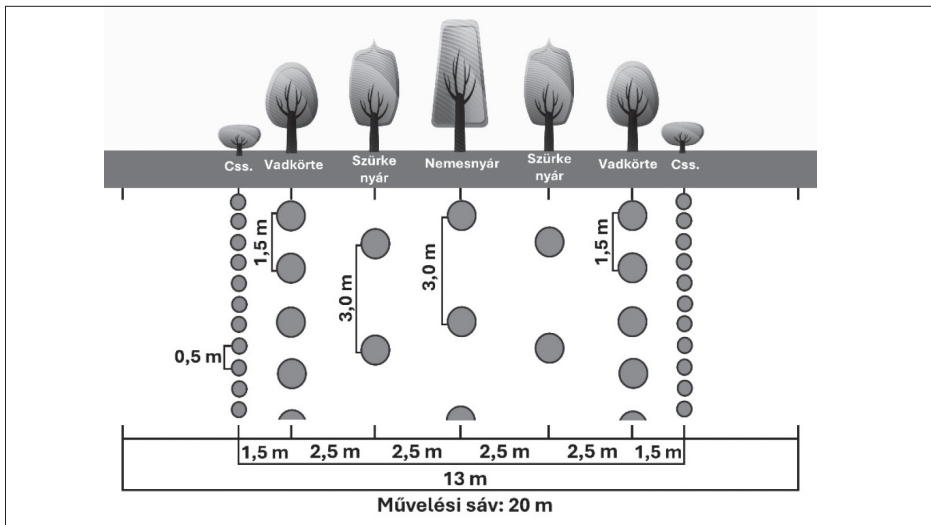


Megjegyzés: A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*), varjútövisbenge (*Rhamnus cathartica*), fagyal (*Ligustrum vulgare*), veresgyűrű som (*Cornus sanguinea*), kőkény (*Prunus spinosa*), mogyoró (*Corylus avellana*).

Forrás: saját szerkesztés.

5. ábra

**A szalkszentmártoni sáv tervezett ültetési hálózata**  
 (The planned planting network of the shelterbelt in Szalkszentmárton)



Megjegyzés: A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*), varjútövisbenge (*Rhamnus cathartica*), fagyal (*Ligustrum vulgare*), hűsös som (*Cornus mas*), kőkény (*Prunus spinosa*), csíkos kecskerágó (*Euonymus europaeus*).

Forrás: saját szerkesztés.



– Nagykunsági Erdészeti és Faipari Zrt. területén helyezkednek el, Vámoszabadi (EOV 543879 271841), Szalkszentmárton (EOV 644767 179855), Telekgerendás (EOV 792147 144317) és Törökszentmiklós (EOV 757286 202135) települések határában. A vámoszabadi területen két egymásra merőleges egyenes mentén tervezett, eltérő fafajösszetételű fásítás történik.

A fásítások kiviteli terveit a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete készítette. Az ültetési hálózatot a mezővédő erdősávok létesítésének KAP-támogatása (KAP-RD21-RD22-1-25) rögzíti, a tervezés során ezt az előírást alkalmaztuk. A fafajválasztás a helyszíneken végzett talajszelvény-elemzések és a laboratóriumi talajvizsgálatok eredményeinek, valamint a jövő klimatikus viszonyait leíró SiteViewer 3.0 döntéstámogató alkalmazás projekcióinak együttes értékelése alapján történt, a ma elérhető legkorszerűbb módszer szerint.

A fásítások tervezett helyszíneit, illetve jelenlegi és a jövőre előrevetített klimatikus viszonyait az 1. és 2. ábrák szemléltetik. A telepítési helyszínek jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyainak megállapítására a SiteViewer 3.0 programot használtuk fel az RCP4.5 forgatókönyv figyelembevételével.

A fásítások helyszínének termőhelyi adatait, illetve jelenlegi és jövőbeli klimatikus viszonyait az 1. táblázat ismerteti. A tervezés során a termőhelyi jellemzőket a helyszínen is ellenőriztük.

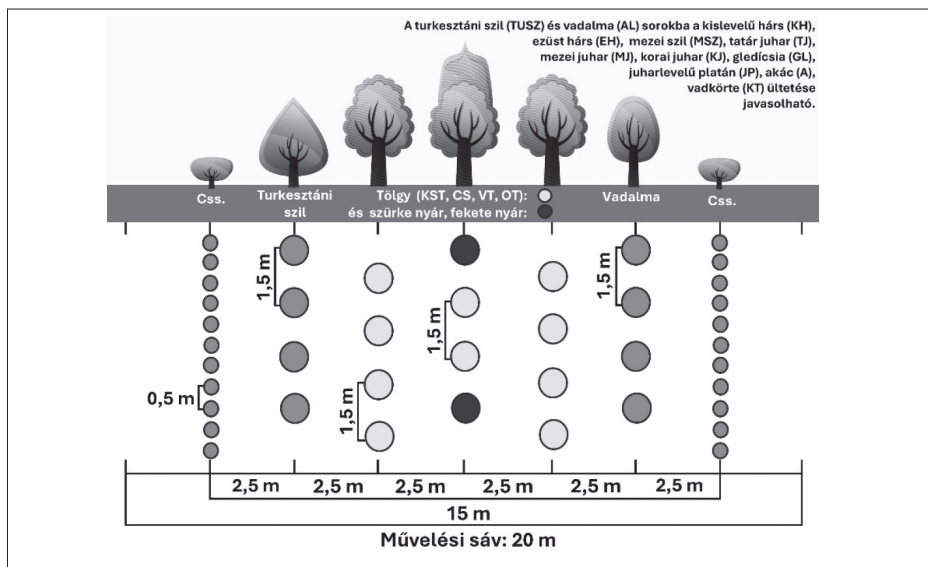
A tervezett fásítások ültetési hálózatát és a telepített fafajokat a 3–7. ábrákon mutatjuk be.

### A telepítési és ápolási munkák ÜHG-kibocsátásainak számszerűsítése

A kiviteli tervek szerint a fásítások telepítése és ápolása során a 2. táblázatban felsorolt munkákat fogják elvégezni.

6. ábra

**A telekgerendási sáv tervezett ültetési hálózata**  
(The planned planting network of the shelterbelt in Telekgerendás)

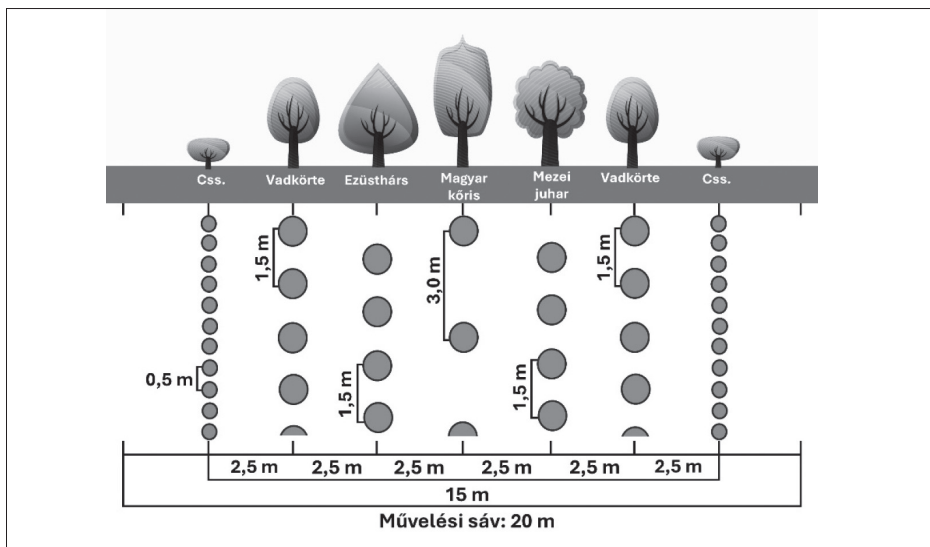


Megjegyzés: A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: fagyal (*Ligustrum vulgare*), tamariska (*Tamarix tetrandra*), csipkebogyó (*Rosa canina*), kökény (*Prunus spinosa*).

Forrás: saját szerkesztés.

7. ábra

**A törökszentmiklósi sáv tervezett ültetési hálózata**  
**(The planned planting network of the shelterbelt in Törökszentmiklós)**



Megjegyzés: A cserjesorok kialakítása során felhasználásra javasolt cserjefajok a következők: fagyal (*Ligustrum vulgare*), mogyoró (*Corylus avellana*).

Forrás: saját szerkesztés.

A CRCF-rendelet módszertani előírásaival összhangban elvégeztük a fenti munkákhoz kapcsolódó szén-dioxid-, dinitrogén-oxid- ( $N_2O$ ) és metán- ( $CH_4$ ) emissziók kiszámítását. Az egy kilogramm gázolaj, illetve benzin elégetése során keletkező ÜHG-kibocsátások becsléséhez az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) által a mezőgazdasági és erdészeti gépekre megadott legfrissebb konverziós faktorokat alkalmaztuk (IPCC 2006, 2019).

A munkagépek üzemanyag-fogyasztását Erdeiné Késmárki-Gally és Rák (2020) útmutatója alapján Benke et al. (2015) számításaihoz hasonlóan végeztük el. A fásítások területének területkategória szerinti besorolásait a 2. táblázat tartalmazza.

### A szénmegkötés és a karbonkredit-bevétel számítása

A fásítások szénmegkötését a Forest Industry Carbon Model (Borovics et al.,

2024) segítségével számítottuk ki, mely lehetővé teszi az erdei biomassa, a talaj, a holt szerves anyag, illetve a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások prognosztizálását is. A modell agrárerdészeti modulját (Király et al., 2024a) a hazai mezővédő erdősávok adatainak átfogó elemzése és integrálása útján alakítottuk ki, ezért országspecifikus modellnek tekinthető. E modell felhasználásával számítottuk a tervezett sávok föld feletti és föld alatti biomasszájában, talajában, illetve a felhalmozódó holt szerves anyagokban megkötött szén-dioxid mennyiségét. A projekciót a 2024–2050 közötti időszak vonatkozásában végeztük el. A választott fajok fatermőképességét a SiteViewer 3.0 alkalmazás segítségével állapítottuk meg a 2041–2070 közötti időszakra vonatkozó klimatikus adatokat alapul véve. Az egyes fajokhoz tartozó fatermési táblákat az Országos Erdőállomány Adattárban is alkalmazott összerendelés szerint választottuk meg.

**2. táblázat**

**A fásítások telepítése és ápolása során tervezett munkálatok, illetve a fásítások területkategória szerinti besorolása**  
**(Planned activities for shelterbelt planting and maintenance, along with site category classification)**

		Gép típusa	Művelet gyakorisága					
			Vámoszabadi I.	Vámoszabadi II.	Szalkszentmárton	Telekgerendás	Törökszentmiklós	
Területkategória			II.	II.	I.	I.	I.	
<b>Műveletek</b>	1. év	Mélyforgatás	traktor	-	-	Ix	-	-
		Mélyszántás	traktor	-	-	-	-	Ix
		Simitózás	traktor	-	-	Ix	-	-
		Talajelőkészítés tárcsás boronával	traktor	Ix	Ix	-	-	Ix
		Pásztás talajelőkészítés	traktor	-	-	-	Ix	-
		Gépi ültetés (fák)	suhángültető/csemeteültető	Ix	Ix	Ix	Ix	Ix
		Kézi ékásós ültetés (cserjék)	-	Ix	Ix	Ix	Ix	Ix
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	3x	3x	4x	4x	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	3x	3x	-	-	-
	Szárzúzás	traktor	-	-	4x	4x	4x	
	2. év	Sorkaszálás	motoros fűkasza	3x	3x	4x	4x	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	3x	3x	-	-	-
		Szárzúzás	traktor	-	-	4x	4x	4x
	3. év	Pótlás	kézi gödörfúró	Ix	Ix	Ix	Ix	Ix
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	3x	3x	4x	4x	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	3x	3x	-	-	-
		Szárzúzás	traktor	-	-	4x	4x	4x
	4. év	Pótlás	kézi gödörfúró	Ix	Ix	Ix	Ix	Ix
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x	2x	4x	4x	4x
		Sorközi tárcsázás	traktor	2x	2x	-	-	-
	5. év	Szárzúzás	traktor	-	-	4x	4x	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	2x	2x	4x	4x	4x
	6. év	Szárzúzás	traktor	2x	2x	4x	4x	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	-	-	4x	4x	4x
	7. év	Szárzúzás	traktor	Ix	Ix	4x	4x	4x
		Sorkaszálás	motoros fűkasza	-	-	4x	4x	4x
			Szárzúzás	traktor	Ix	Ix	4x	4x

Forrás: saját szerkesztés

Mivel a fásítások telepítése korábbi szántóterületen történik, ezért a telepítéshez kapcsolódóan talajemisszióval nem számoltunk. A fásítások létesítése és fenntartása során tápanyag-utánpótlás nem tervezett, így az ebből származó társult kibocsátások esetünkben nullának tekinthetők.

Az elszámolható szénmegkötés az a mennyiség, mely az önkéntes karbonpiacon a karbonkredit-kibocsátás alapját képezi. A CRCF-rendelet szerint fásítások esetében ezt a mennyiséget úgy kapjuk, hogy a fásításban megvalósuló szénmegkötés értékéből levonjuk a telepítés és az ápolás során keletkező fosszilis eredetű szén-dioxid-kibocsátásokat az (1–4) egyenletek szerint.

$$(1) \text{ Elszámolható szénmegkötés} =$$

$$CR_{\text{baseline}} - CR_{\text{total}} - GHG_{\text{associated}} > 0$$

$$(2) CR_{\text{baseline}} = 0$$

$$(3) CR_{\text{total}} = CR_{\text{biomass}} + CR_{\text{soil}}$$

$$(4) GHG_{\text{associated}} = GHG_{\text{fossil fuel}} +$$

$GHG_{\text{fertilizer}}$   
ahol:

$CR_{\text{baseline}}$ : a fásítás megvalósítása nélküli szénmegkötés alapszintje;

$CR_{\text{total}}$ : a fásítás teljes szénmegkötése;

$GHG_{\text{associated}}$ : a fásítás telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó addicionális ÜHG-kibocsátások;

$CR_{\text{biomass}}$ : a biomasszában megvalósuló szénmegkötés;

$CR_{\text{soil}}$ : 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 CO<sub>2</sub>-egyenértékben kifejezett értéke adja meg a keletkező karbonkreditek mennyiségét. A karbonkredit-bevételt ennek alapján 50 euró/tonna CO<sub>2</sub>-árat feltételezve számítottuk ki. A számítások során 408 HUF/EUR árfolyamot vettünk alapul. A bevétel jelenértékét 2 százalék elvárt reálkamatot feltételezve számszerűsítettük.

## EREDMÉNYEK

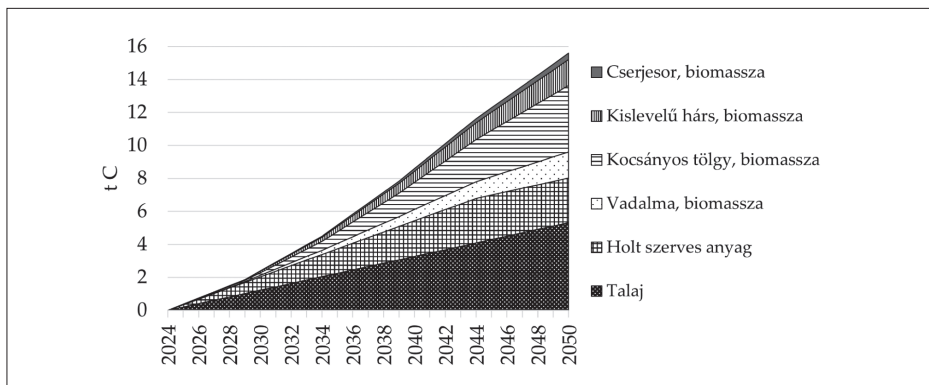
### Vámosszabadi I. sáv

A vámosszabadi I. fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2050-ig 15,6 tonna C, a legjelentősebb széntárolók a kocsányos tölgy biomasszája, illetve a talaj (8. ábra).

A 9. ábrán együtt ábrázoltuk a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és az ápoláshoz kapcsolódó

8. ábra

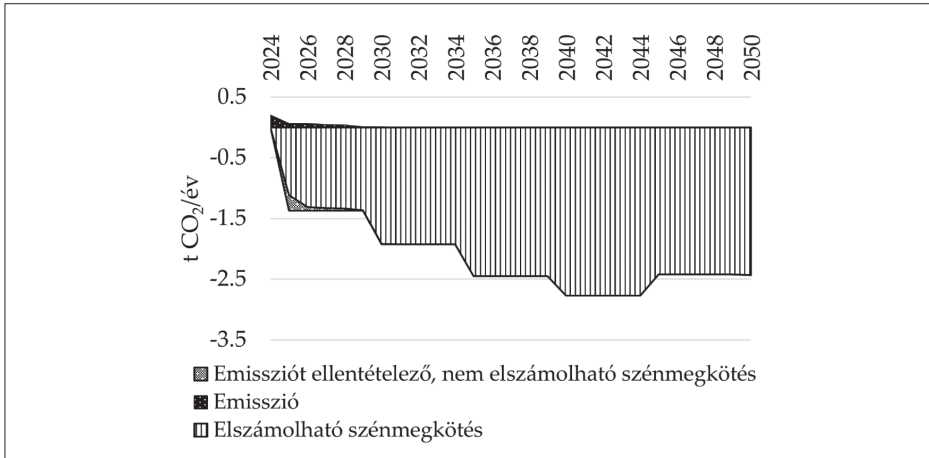
**A vámosszabadi I. sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2050 közötti időszakban**  
(Carbon stock of the Vámosszabadi I shelterbelt by carbon pools and tree species during the 2024–2050 period)



Forrás: saját szerkesztés.

9. ábra

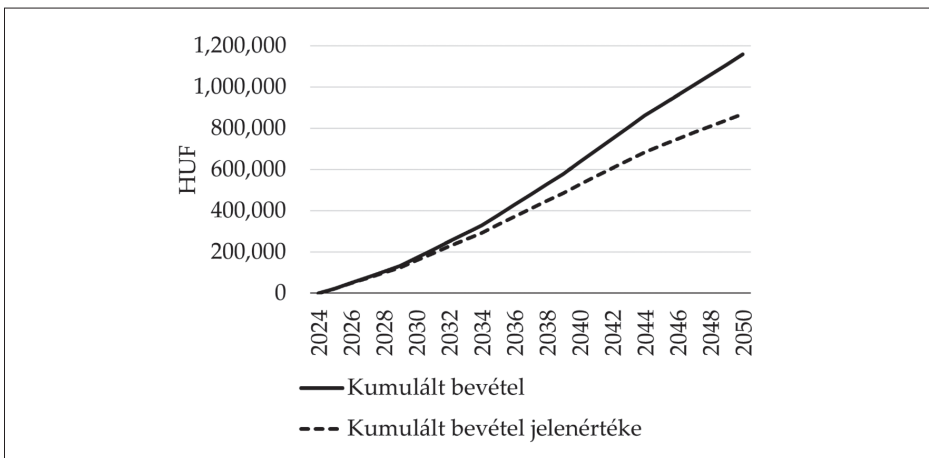
**A vámoszabadi I. sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége a 2024–2050 közötti időszakban**  
 (The eligible carbon sequestration, the greenhouse gas emissions associated with the installation and maintenance and the amount of carbon sequestration that offsets them of the Vámoszabadi I shelterbelt during the 2024-2050 period)



Forrás: saját szerkesztés.

10. ábra

**A vámoszabadi I. sávból származó kumulált karbonkredit-bevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2050 közötti időszakban**  
 (Cumulative carbon credit income and its present value of the Vámoszabadi I shelterbelt during the 2024-2050 period)



Forrás: saját szerkesztés.

ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését itt megbontottuk karbonkreditként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a fásítás teljes, 2050-ig megvalósuló szénmegkötésének mindössze 0,7 százalékát teszi ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátása.

A tervezett fásítás teljes területére vonatkozó karbonkredit-bevétel a 2024–2050 közötti időszakban várhatóan 1,16 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 870 ezer HUF (10. ábra).

### Vámosszabadi II. sáv

A vámosszabadi II. fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2050-ig 17,2 tonna C, a legjelentősebb széntárolók a fekete nyár biomasszája, illetve a talaj (11. ábra).

A 12. ábrán együtt ábrázoltuk a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését itt megbontottuk karbonkreditként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező

frakciókra. Számításaink szerint a fásítás teljes, 2050-ig megvalósuló szénmegkötésének mindössze 0,6 százalékát teszik ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

A fásításhoz kapcsolódó teljes karbonkredit-bevétel a 2024–2050 közötti időszakban várhatóan 1,28 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 969 ezer HUF (13. ábra).

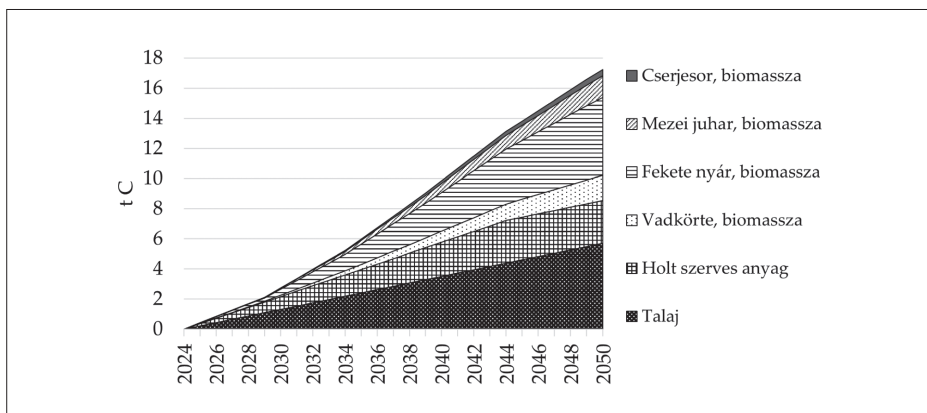
### Szalkszentmártoni sáv

A szalkszentmártoni fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2050-ig 60,3 tonna C (14. ábra).

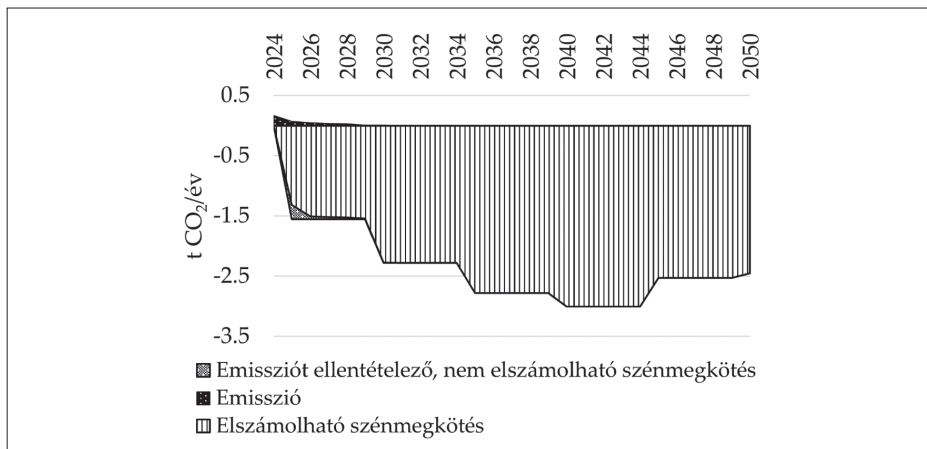
A 15. ábrán együtt ábrázoltuk a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését itt megbontottuk karbonkreditként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a fásítás teljes, 2050-ig megvalósuló szénmegkötésének mindössze 0,8 százalékát teszik ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

11. ábra

**A vámosszabadi II. sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2050 közötti időszakban**  
(Carbon stock of the Vámosszabadi II shelterbelt by carbon pools and tree species during the 2024–2050 period)

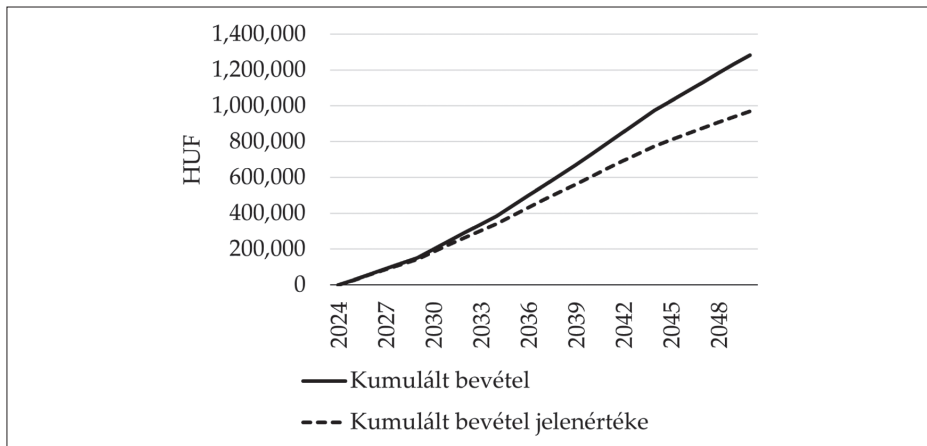


**12. ábra**  
**A vámoszabadi II. sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(The eligible carbon sequestration, the greenhouse gas emissions associated with the installation and maintenance and the amount of carbon sequestration that offsets them of the Vámoszabadi II shelterbelt during the 2024–2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

**13. ábra**  
**A vámoszabadi II. sávból származó kumulált karbonkredit-bevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Cumulative carbon credit income and its present value of the Vámoszabadi II shelterbelt during the 2024–2050 period)*



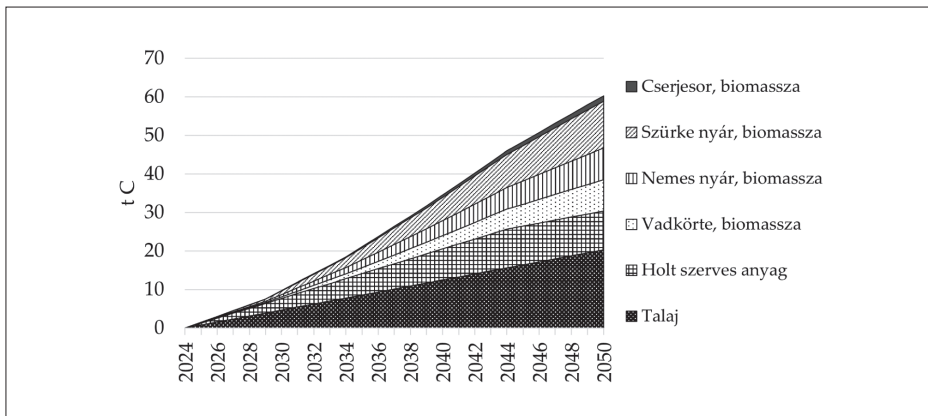
Forrás: saját szerkesztés.

A fásításhoz kapcsolódó teljes karbonkredit-bevétel a 2024–2050 közötti időszakban várhatóan 4,47 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 3,38 millió HUF (16. ábra).

**Telekgerendási sáv**

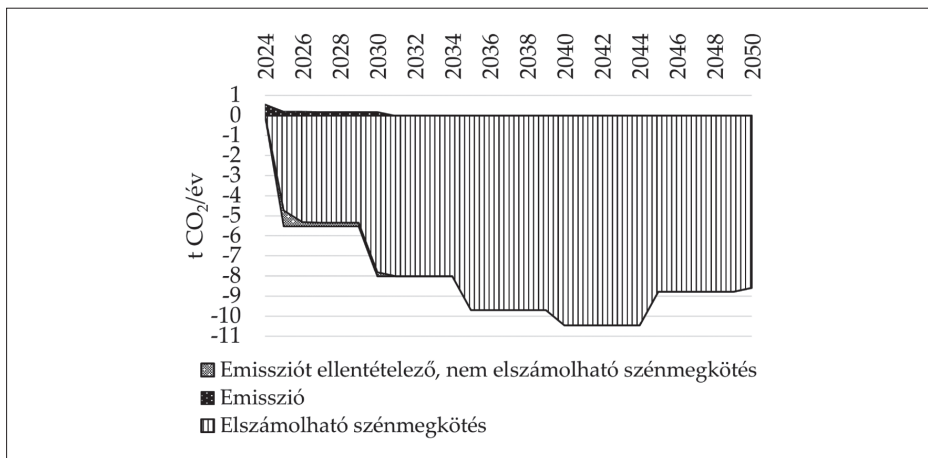
A telekgerendási fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2050-ig 36,2 tonna C, (17. ábra)

**14. ábra**  
**A szalkszentmártoni sáv szénkészlete széntárolók, illetve fajok szerint a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Carbon stock of the Szalkszentmárton shelterbelt by carbon pools and tree species during the 2024–2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

**15. ábra**  
**A szalkszentmártoni sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Eligible carbon sequestration of the shelterbelt, the GHG emissions related to its installation and maintenance, and the amount of carbon sequestration that compensates for them of the Szalkszentmárton shelterbelt during the 2024–2050 period)*



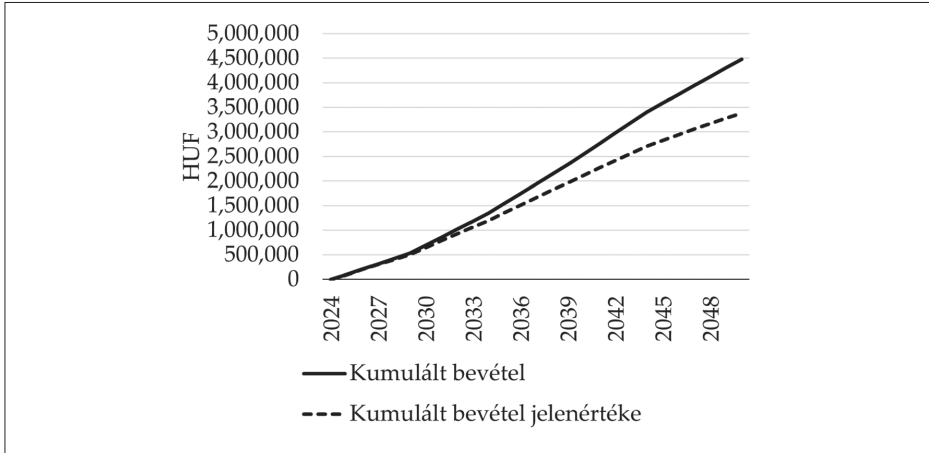
Forrás: saját szerkesztés.

A 18. ábrán együtt ábráztuk a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését

itt megbontottuk karbonkreditként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a fásítás teljes, 2050-ig megvalósuló szénmegkötésének mindössze 0,6 százalékát teszik ki

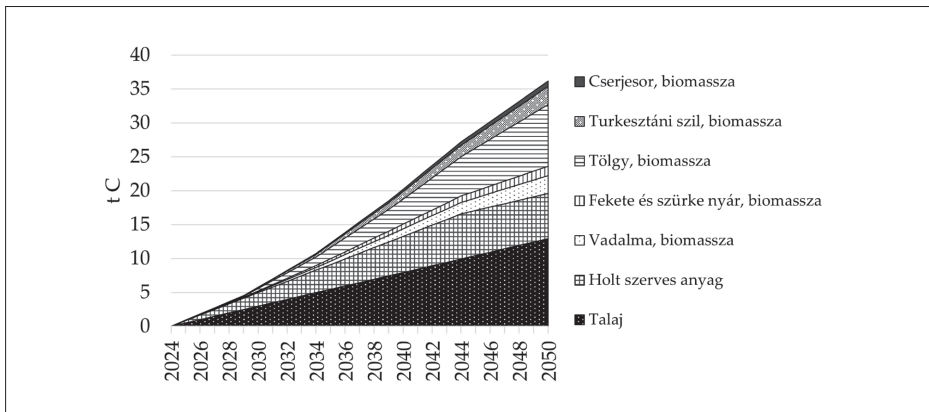


**16. ábra**  
**A szalkszentmártoni sávból származó kumulált karbonkredit-bevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Cumulative carbon credit income and its present value of the Szalkszentmárton shelterbelt during the 2024–2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

**17. ábra**  
**A telekgerendási sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2050 időszakban**  
*(Carbon stock of the Telekgerendás shelterbelt by carbon pools and tree species during the 2024–2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

A fásításhoz kapcsolódó teljes karbonkredit-bevétel a 2024–2050 közötti időszakban várhatóan 2,69 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 2,03 millió HUF (19. ábra).

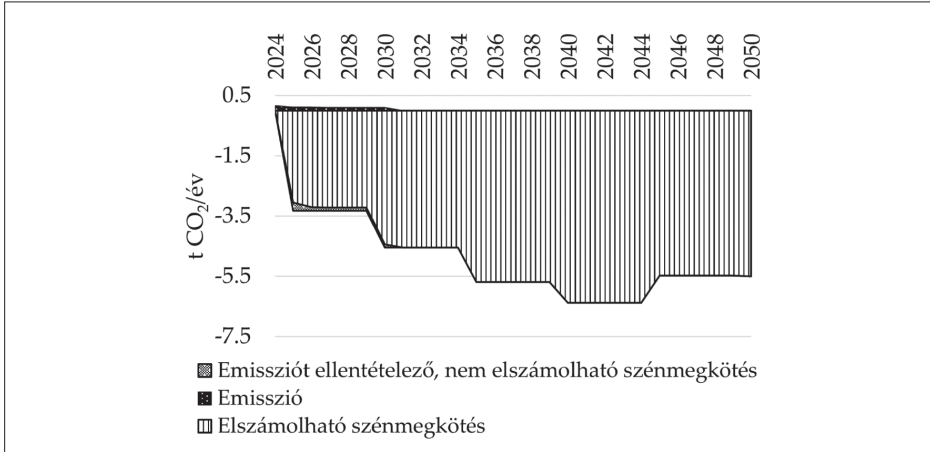
### Törökszentmiklósi sáv

A törökszentmiklósi fásítás teljes prognosztizált szénmegkötése 2050-ig 40,5 tonna C (20. ábra).

A 21. ábrán együtt ábrázoltuk a teljes évenkénti szénmegkötést, illetve a tele-

18. ábra

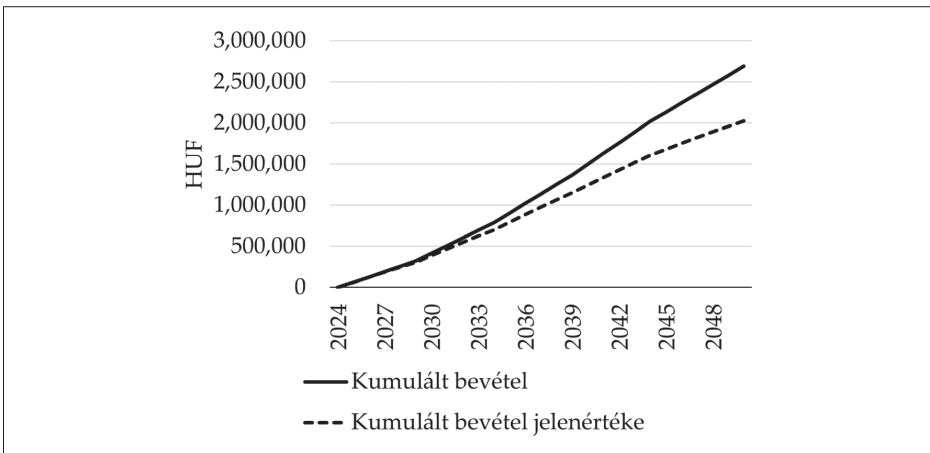
**A telekgerendási sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége a 2024–2050 közötti időszakban**  
**(Eligible carbon sequestration of the shelterbelt, the GHG emissions related to its installation and maintenance, and the amount of carbon sequestration that compensates for them of the Telekgerendás shelterbelt during the 2040-2050 period)**



Forrás: saját szerkesztés.

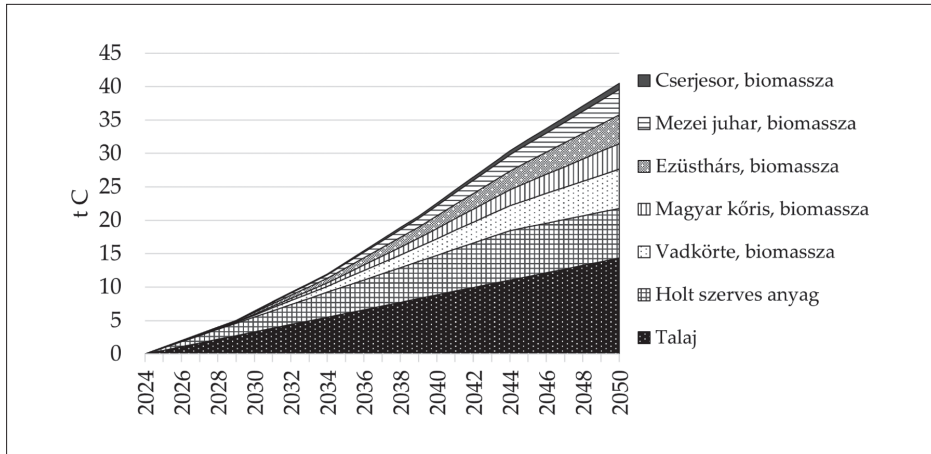
19. ábra

**A telekgerendási sávból származó kumulált karbonkredit-bevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2050 közötti időszakban**  
**(Cumulative carbon credit income and its present value of the Telekgerendás shelterbelt during the 2024–2050 period)**



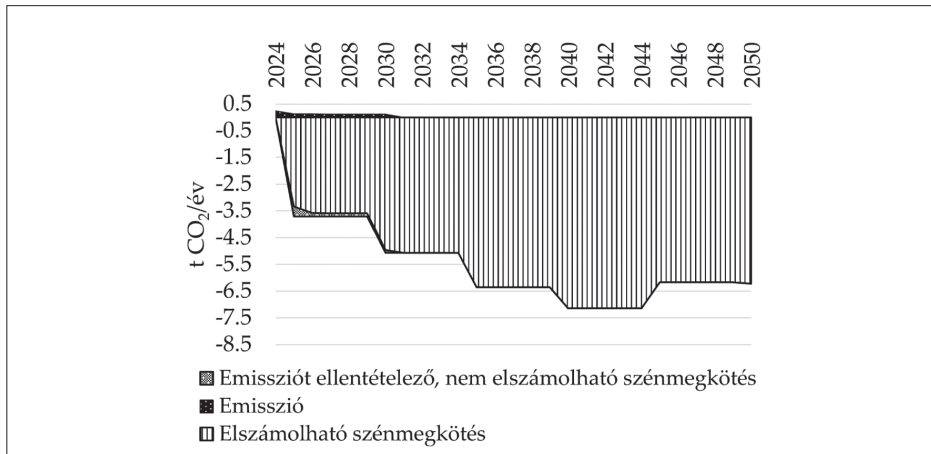
Forrás: saját szerkesztés.

**20. ábra**  
**A törökszentmiklósi sáv szénkészlete széntárolók, illetve fafajok szerint a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Carbon stock of the Törökszentmiklós shelterbelt by carbon pools and tree species during the 2024–2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

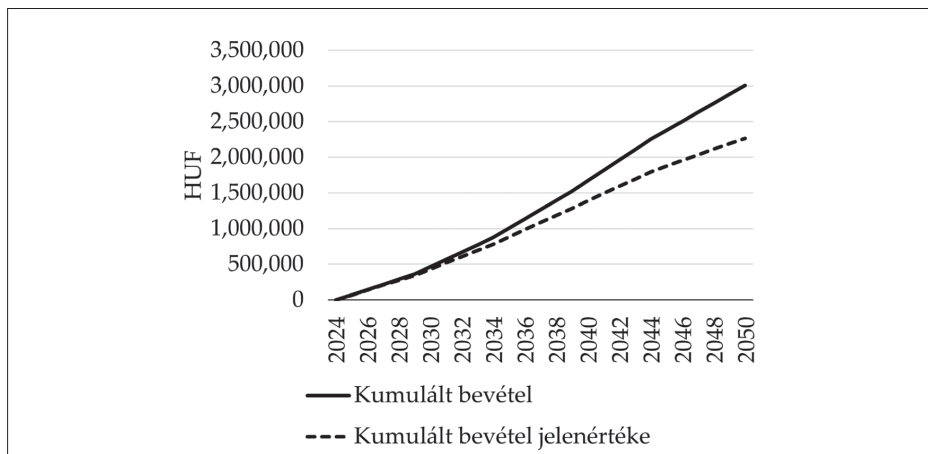
**21. ábra**  
**A törökszentmiklósi sáv elszámolható szénmegkötése, a telepítéséhez és ápolásához kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a szénmegkötés ezeket ellentételező mennyisége a 2024–2050 közötti időszakban**  
*(Eligible carbon sequestration of the shelterbelt, the GHG emissions related to its installation and maintenance, and the amount of carbon sequestration that compensates for them of the Törökszentmiklós shelterbelt during the 2040-2050 period)*



Forrás: saját szerkesztés.

**22. ábra**

**A törökszentmiklósi sávból származó kumulált karbonkredit-bevétel, illetve annak jelenértéke a 2024–2050 közötti időszakban**  
(Cumulative carbon credit income and its present value of the Törökszentmiklós shelterbelt during the 2024–2050 period)



Forrás: saját szerkesztés.

pítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók szén-dioxid-egyenértékben kifejezett értékeit. A fásítás szénmegkötését itt megbontottuk karbonkreditként elszámolható, illetve emissziókat ellentételező frakciókra. Számításaink szerint a fásítás 2050-ig megvalósuló teljes szénmegkötésének mindössze 0,7 százalékát teszik ki a létesítése és ápolása során üzemeltetett gépek ÜHG-kibocsátásai.

A fásításhoz kapcsolódó teljes karbonkredit-bevétel a 2024–2050 közötti időszakban várhatóan 3,01 millió HUF lesz, melynek jelenértéke 2,27 millió HUF (22. ábra).

### Összesített eredmények

A 3. táblázat mutatja be összesítve a fásítások szénmegkötését, ÜHG-kibocsátásait, illetve a létesítésükhöz kapcsolódóan várható karbonkreditek számát és a várható karbonkredit-bevételt. Az egy hektárra normalizált mennyiségek alapján megállapíthatjuk, hogy a hektáronkénti karbonkredit-bevétel értéke 3,98 és 4,38 millió HUF között mozog. A város-

szabadi II. fásítás telepítése jár a legmagasabb hektáronkénti bevétellel, melyre a kedvezőbb termőhelyi adottságok, illetve a gyors növekedésű fekete nyár fafaj választása adnak magyarázatot.

A táblázatban viszonyítási alapként a fásítások telepítéséhez igényelhető 12 euró/folyóméterben meghatározott KAP-támogatás HUF-ra átszámított értékét is feltüntettük. Ennek alapján elmondhatjuk, hogy a fásításokból származó teljes karbonkredit-bevétel 2050-ig összességében várhatóan meg fogja haladni a KAP-támogatás mértékét.

### KÖVETKEZTETÉSEK

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 többlet-bevételi forrást jelentenek.

3. táblázat

**A fásítások szénmegkötése, a telepítéshez és ápoláshoz kapcsolódó ÜHG-emissziók, illetve a fásításokból származó karbonkreditek és karbonkredit-bevétel, valamint a KAP-támogatás mértéke**  
**(Carbon sequestration of shelterbelts, GHG emissions related to planting and maintenance, and carbon credits and carbon credit income from afforestation and the amount of the related CAP subsidy.)**

	Fásítás területe (ha)	Művelési sáv területe (ha)	Szénmegkötés (t CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> -emisszió (kg)	N <sub>2</sub> O-emisszió (kg)	CH <sub>4</sub> -emisszió (kg)	Karbonkreditek száma (db)	Karbonkreditek száma (db/ha)	Karbonkredit-bevétel (M HUF)	Karbonkredit-bevétel (M HUF/ha)	Karbonkredit-bevétel (HUF/folyóméter)	KAP -támogatás (HUF/folyóméter)
Vámosszabadi I.	0,27	0,42	57	385,8	0,1	0,2	56	205	1,16	4,24	5 514	4 896
Vámosszabadi II.	0,29	0,45	63	328,3	0,1	0,2	62	212	1,28	4,38	5 699	4 896
Szalkszentmárton	1,04	1,60	221	1628,1	0,3	1,0	219	211	4,47	4,30	5 593	4 896
Telekgerendás	0,68	0,90	133	767,9	0,1	0,6	131	194	2,69	3,98	5 976	4 896
Törökszentmiklós	0,75	1,00	148	912,8	0,2	0,6	147	196	3,01	4,01	6 017	4 896

Forrás: saját szerkesztés.

Eredményeink szerint a fásítások telepítése és ápolása során üzemelő gépek ÜHG-emissziói elenyészően kicsik (mindössze 0,6–0,8 százalék közötti értékűek) a biomasszában és talajban megvalósuló szénmegkötéshez képest.

Mindezek alapján elmondhatjuk, hogy a fásítások telepítése mellett, 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 bevételre tegyenek szert.

Fontos megemlíteni azonban, hogy a karbonkreditek kibocsátása egy klímamitigációs projekt esetében csak akkor történhet meg, 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.

A cikkünkben bemutatott modellezés a CRCF-rendelet szerinti megfeleléségi tanúsítvány kiállításának képezheti alapját, ami azt jelenti, hogy a szénmegkötés prognosztizálható mértékére vonatkozóan ad tudományosan megalapozott támpontot. Ez azonban nem jelenti, hogy az előrejelzett szénmegkötés valóban meg fog valósulni a területen, hiszen akár időjárási szélsőségek, egyéb haváriás események, illetve a

gazdálkodói szándék módosulása is eredményezheti a fásítás megszűnését. Emellett elképzelhető, hogy a fásítás gyengébb vagy éppen erőteljesebb növekedést mutat az előrejelzésekhez képest. E bizonytalanságok kezelésére a CRCF-rendelet ex-post, azaz utólagos karbonkredit-kibocsátást ír elő. Ez biztosítja, hogy karbonkrediteket csak a ténylegesen megvalósult és a terepen validáló mérésekkel igazolt szénmegkötések alapján lehessen kibocsátani.

A szénmegkötés modellezése során az Országos Erdőállomány Adattárban is használt fatermési táblákat alkalmaztuk. A fatermőképesség megállapítása a helyszínen feltárt termőhelyi viszonyokon, illetve a SiteViewer 3.0 döntéstámogatási eszköz klimatikus előrejelzésein alapult, a ma elérhető legkorszerűbb módszer szerint. Ennek ellenére fontos hangsúlyozni, hogy kedvezőtlenebb klimatikus feltételek megvalósulása esetén a szénmegkötés mértéke elmaradhat a prognosztizálttól.

További bizonytalanságot eredményez, hogy az önkéntes karbonpiacot érintő szabályozási környezet változásai is módosíthatják a szénmegkötések és a társult kibocsátások meghatározásának módszertanát. A modellezés során a CRCF-rendelet szövegét, illetve a módszertani útmutatók tervezeteit vettük figyelembe. A rendelet 2024 decemberében lépett hatályba, így valószínűleg rövid távon nem fog megváltozni a benne foglalt szabályrendszer. Ugyanakkor a módszertani útmutatók megalkotásán jelenleg is dolgozik az EU Bizottság tanácsadó testülete, azok véglegesítése csak 2025 folyamán várható, tehát a módszertan kisebb módosulásai még ebben a fázisban bekövetkezhetnek.

A vizsgálatban szereplő négy mintaterület eltérő klimatikus és termőhelyi adottságokkal rendelkezik, ennek megfelelően a telepített fafajok fatermőképessége is eltérő.

A választott fafajok között vannak gyorsabb és lassabb növekedésűek, így az élőfa-készletben megvalósuló szénmegkötés üteme is eltér. Mindez befolyásolja az évenként és hektáronként prognosztizált szénmegkötések értékeit is. Általánosságban megállapítható, hogy minél kedvezőbbek a termőhelyi feltételek, illetve minél gyorsabb növekedésű és adaptívabb fafajokat választunk, annál nagyobb szénmegkötést érhetünk el egységnyi területen, egységnyi idő alatt. Ugyanakkor fontos kiemelni, hogy a fásítások létesítése során nem kizárólagos szempont a szénmegkötés maximalizálása. A CRCF-rendelet adicionalitási kritériumai között szerepel a biodiverzitás és a talajegészség növelésére vonatkozó kettős kritérium. Így csak olyan projektek részülhetnek karbonkredit-bevételekből, melyek e célokhoz hozzájárulnak. Ezzel összefüggésben fontos minél diverzebb, elegendő fásítások létrehozása. Az elegység egyben segíti a fokozatosan szárazodó klimatikus feltételekhez történő alkalmazkodást is.

A cikkünkben közölt számítási módszerrel, illetve a Forest Industry Carbon Model alkalmazása hazánk más tájegységein is javasolt és eredményesen megvalósítható a mezővédő fásítások elszámolható szénmegkötésének előrejelzésére. A módszertan nemzetközi adaptációja esetében szükséges lehet a modell fatermési tábláinak a célterület fafajaira specifikus módon történő módosítása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W. és Cerdà, 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>
- Aertsens, J., De Nocker, L. és 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>
- Benke, A., Tóvári, P. és Borovics, A. (2015). 7 éves fás szárú energetikai ültetvény szénmérlegének vizsgálata. *Mezőgazdasági Technika* 56, 2 pp. 12–14., 3 p.
- Boote, K. J., Jones, J. W. és Hoogenboom, G. (2018). Simulation of crop growth: CROPGRO model. In *Agricultural systems modeling and simulation* (pp. 651–692). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482269765-18>
- Borovics A., Király É. (2024a). Az erdő alapú szektor szerepe a kvótakereskedelemben I.: Az államok közötti kvótakereskedelem és a köteles piacok szabályozásának áttekintése. *Erdészeti Lapok* 159: 9 pp. 370–375., 6 p.
- Borovics A., Király É. (2024b). Az önkéntes karbonpiaci mechanizmusok és a CRCF rendelet szabályrendszere. *Erdészeti Lapok* 159: 10 pp. 418–423., 6 p.
- Borovics, A., Somogyi, N., Honfy, V., Keserű, Z. és Gyuricza, C. (2017). Agrárerdészet, a klímatudatos, természetközeli termelési mód. *Erdészeti Lapok* 6 (2017): 178–182.
- Borovics, A., Király, É. és Kottek, P. (2024). Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model. *Forests*, 15(4), 600. <https://doi.org/10.3390/f15040600>
- Borovics, A. (2022). ErdőLab: a Soproni Egyetem erdészeti és faipari projektje: Fókuszban az éghajlatváltozás mérséklése. *Erdészeti Lapok*, 157(4), 114–115.
- 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(5-6), 311–346. <https://doi.org/10.1051/agro:19980501>
- Cahyo, A. N., Babel, M. S., Datta, A., Prasad, K. C. és 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(1), 93–103. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v38i1.583>
- CRCF, (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>
- Danszky, I. (1973). *Erdőművelés I.* Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest. 420–448.
- Deng, R., Yang, G., Wang, W., Li, Y., Zhang, X., Hu, F., Guo, Q. és 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, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112071>
- Dmuchowski, W., Baczewska-Dąbrowska, A. H. és Gworek, B. (2024). The role of temperate agroforestry in mitigating climate change: A review. *Forest Policy and Economics*, 159, 103136, ISSN 1389-9341, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103136>
- Dufour, L., Metay, A., Talbot, G. és 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(3), 217–227. <https://doi.org/10.1111/jac.12008>
- Easterling, W. E., Hays, C. J., Easterling, M. M. és Brandle, J. R. (1997). Modelling the effect of shelterbelts on maize productivity under climate change: An application of the EPIC model. *Agriculture, ecosystems & environment*, 61(2-3), 163–176. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01098-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01098-5)
- Eglin, T., Ciais, P., Piao, S. L., Barré, P., Bellassen, V., Cadule, P., ... és Smith, P. (2010). Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 62(5), 700–718. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00499.x>
- Frank, N. és Takács, V. (2012). Hő- és szélfogó erdősávok minősítése szélesség-csökkentő hatásuk alapján. *Erdészettudományi Közlemények* 2(1) 151–162.

- Gál, J. (1963). A mezőgazdasági terméshozamok növekedése az erdősavók védelmében. *Erdészettudományi Közlemények*, 1, 41–83.
- Gál, J. (1967). *A mezővédő erdősavók tervezési irányelvei és gazdaságossági vizsgálata*. Erdészeti és Faipari Egyetem.
- Hart, K., Allen, B., Keenleyside, C., Nanni, S., Maréchal, A., Paquel, K., Nesbit, M. és Ziemann, J. (2017). The consequences of climate change for EU agriculture: follow-up to the COP21 Un Paris Climate Change Conference. <https://doi.org/10.2861/295025>.
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Eds., IGES: Kanagawa.
- IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., Federici, S., Eds., IPCC: Geneva.
- IPCC (2022). Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, the Working Group III Contribution. Chapter 7 Agriculture, Forestry, and Other Land Uses (AFOLU), IPCC: Geneva.
- Joffre, R., Vacher, J., de los Llanos, C. és 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 71-96. <https://doi.org/10.1007/BF02344747>
- Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H., Borek, R., Crous-Durane, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Gravesi, A., Jagerj, M., Lamersdorfk, N., Memedemin, D. Mosquera-Losada, R., Pantera, A., Paracchini, M. L., Paris, P., Roces-Díaz, J. V., Rolo, V., Rosati, A., Sandor, M., Smith, J., Szerencsits, E., Varga, A., Viaud, V., Wawer, R., Burgess, P. J., Herzog, F. (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>
- Erdeiné Késmárki-Gally, Sz., Rák, R. (2020). Mezőgazdasági Gépi Munkák Költsége 2020-ban. NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet. Vác. pp. 32.
- KAP-RD21-RD22-1-25 (2024). Agrár-erdészeti rendszerek telepítése, ápolása és fenntartása. Letöltve: 2025. január 10. <https://kap.gov.hu/tarsadalmasitas/kap-rd21-rd22-1-25-agrar-erdeszeti-rendszerek-telepitese-apolasa-es-fenntartasa>
- Király, É., Bidló, A., Keserű, Zs. és 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., Keserű, Z., Molnár, T., Szabó, O. és Borovics, A. (2024b). Carbon sequestration in the aboveground living biomass of windbreaks – climate change mitigation by means of agroforestry in Hungary. *Forests*, 15(1), 63. <https://doi.org/10.3390/f15010063>
- Korosuo, A., Pilli, R., Abad Viñas, R., Blujdea, V. N., Colditz, R. R., Fiorese, G.,... és Grassi, G. (2023). The role of forests in the EU climate policy: are we on the right track? *Carbon balance management*, 18(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00234-0>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Rábai, M., Kovács, B., Kolbay, K., Péteri, V., Galambos, E., Csontos, E., Varga, L., Ulmer, Á. és Kőbányai, D. (2023). Magyarország Nyolcadik Nemzeti Kommunikációja és Ötödik Kétéves Jelentése. Eighth National Communication and Fifth Biennial Report of Hungary. p. 291. Letöltve: 2025. január 10. <https://unfccc.int/documents/630941>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S. és Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models: A review. *Sustainable agriculture*, 329–353. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- Martin, F. S. és van Noordwijk, M. (2009). Trade-offs analysis for possible timber-based agroforestry scenarios using native trees in the Philippines. *Agroforestry systems* 76(3), 555–567. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9208-z>



- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A. és 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>
- Nair, P. R., Nair, V. D., Kumar, B. M. és Showalter, J. M. (2010). Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in agronomy*, 108, 237-307, ISSN 0065-2113, ISBN 9780123810311, [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. Letöltve: 2025. január 10. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgaltatas/erdogazdalkodas/104858-fatol-az-erdoig-uj-tamogatasi-lehetosegek>
- Somogyi, Z., Tobisch, T. és Király, É. (2023). National Inventory Report for 1985–2021. Hungary. Chapter: Land-Use, Land-Use Change and Forestry, Hungarian Meteorological Service: Budapest, Hungary.
- Pansak, W., Hilger, T., Lusiana, B., Kongkaew, T., Marohn, C. és Cadisch, G. (2010). Assessing soil conservation strategies for upland cropping in Northeast Thailand with the WaNuLCAS model. *Agroforestry Systems*, 79, 123–144. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9290-2>
- 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. <https://doi.org/10.1023/A:1010647118256>
- Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J. és Mosquera-Losada, M. R. (Eds.) (2008). Agroforestry in Europe: Current status and future prospects. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6>
- SiteViewer 3.0 (2024). <https://siteviewer.hu/>
- Tiefenbacher, A., Sandén, T., Haslmayr, H. P., Miloczki, J., Wenzel, W. és Spiegel, H. (2021). Optimizing carbon sequestration in croplands: A synthesis. *Agronomy*, 11(5), 882. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050882>
- Van Noordwijk, M. és Lusiana, B. (1999). WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. In *Agroforestry for sustainable land-use fundamental research and modelling with emphasis on temperate and Mediterranean applications: selected papers from a workshop held in Montpellier, France, 23–29 June 1997* (pp. 217–242). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0679-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0679-7_14)
- Verkerk, H., Delacote, P., Hurmekoski, E., Kunttu, J., Matthews, R., Mäkipää, R., Mosley, F., Perugini, L., Reyser, C. P. O., Roe, S. és Trømborg, E. (2022). Forest-based climate change mitigation and adaptation in Europe. ISBN 978-952-7426-22-7 <https://doi.org/10.36333/fs14>
- Walker, A. P., Mutuo, P. K., van Noordwijk, M., Albrecht, A. és Cadisch, G. (2007). Modelling of planted legume fallows in Western Kenya using WaNuLCAS. (I) Model calibration and validation. *Agroforestry systems*, 70, 197–209. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9049-6>
- Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J. R. és Spalán, D. A. (1989). The EPIC crop growth model. *Transactions of the ASAE*, 32(2), 497–0511.
- Zamora, D. S., Jose, S., Jones, J. W. és Cropper, W. P. (2008). Modeling cotton production response to shading in a pecan alleycropping system using CROPGRO. *Agroforestry for Commodity Production: Ecological and Social Dimensions* (pp. 159-171). Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9166-x>