

A takarmányalapanyag-termelés klímahatásának monetáris értékelése és annak agrárökonómiai alkalmazása – a magyarországi szójatermesztés példáján

TIKÁSZ ILDIKÓ EDIT – MOLNÁR ZSUZSA

Kulcsszavak: ÜHG-kibocsátás, benchmarking, klímaexternália, internalizálás, FADN

JEL-kód: Q12, Q51, Q54

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A mezőgazdasági termékek piaci ára jelenleg nem tükrözi a termelésük során keletkező klímaexternáliákat. Bár ezek pénzbeli értékelésére több módszertan is létezik, alkalmazásuk még kevésbé elterjedt. A tanulmány egy ilyen értékelési megközelítést vizsgál a magyarországi szójatermesztés példáján. A FOODCoST projekt keretében létrehozott adatbázis 72 gazdaság 2022–2024. évi adataiból összesen 682 termesztéstechnológiai megfigyelést tartalmaz. A fajlagos üvegházhatásúgáz-kibocsátást (ÜHG-kibocsátást) a RED II uniós irányelvre épülő számítási modellel, míg a kibocsátás pénzbeli értékét a CE Delft környezeti árai alapján határoztuk meg.

A vizsgált szójatermesztési technológiák átlagos ÜHG-kibocsátása 454,8 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag volt, amely 89,5 EUR/tonna klímaexternáliának felelt meg – ennyivel módosítaná átlagosan egy tonna szójabab gazdasági értékét a klímahatás figyelembevétele. Az agrárökonómiai alkalmazás során azonban nem ezt az abszolút értéket, hanem a technológiák és a magyarországi referenciaérték közötti eltérés monetáris hatását építettük be a termelői árba: az alacsonyabb kibocsátású gazdaságok árprémiumot, a magasabb kibocsátásúak árlevonást kaptak. A módszert nyolc, részletes adatgyűjtéssel felmért panelüzemen teszteltük, ahol az árkorrekció a termelési értéken keresztül –68,2 és +39,7 ezer forint/hektár között módosította az ágazati eredményt. Megvizsgáltuk a panelüzemek szójatermesztésének ágazati eredménye alapján egymáshoz, valamint az AKI Tesztüzemi Információs Rendszer (FADN) országos átlagához viszonyított helyzetüket is. Megállapítottuk, hogy a klímaexternáliák internalizálása módosította az ágazati eredményeket, a gazdaságok rangsorát azonban érdemben nem változtatta meg.

A kidolgozott benchmarkingmódszer alkalmas arra, hogy az éghajlati hatás a hagyományos agrárökonómiai mutatókkal együtt jelenjen meg a gazdaságok összehasonlításában. Megfelelő emissziószámítási modellel és üzemi adatok rendelkezésre állása esetén a módszer más növénytermesztési kultúrákra is adaptálható.

Tikász Ildikó Edit, igazgatóhelyettes, tudományos tanácsadó, Agrárközgazdasági Intézet, Budapest,

ORCID: 0000-0002-1037-8272, tikasz.ildiko.edit@aki.gov.hu

Molnár Zsuzsa, osztályvezető, tudományos tanácsadó, Agrárközgazdasági Intézet, Budapest,

ORCID: 0000-0002-8304-6762, molnar.zsuzsa@aki.gov.hu

MONETARY VALUATION OF THE CLIMATE IMPACT OF FEED CROP PRODUCTION AND ITS AGROECONOMIC APPLICATION: THE CASE OF HUNGARIAN SOYBEAN PRODUCTION

Key words: GHG-emissions, benchmarking, climate externalities, internalisation, FADN

JEL Codes: Q12, Q51, Q54

The market prices of agricultural products currently do not reflect the climate externalities generated during their production. Although several methodologies exist for the monetary valuation of these externalities, their practical application remains limited. This study examines one such valuation approach using Hungarian soybean production as a case study. The database established within the FOODCoST project contains a total of 682 crop production technology observations derived from the 2022–2024 data of 72 farms. Greenhouse gas (GHG) emissions per unit of output were determined using a calculation model based on the RED II EU directive, while their monetary value was determined using the environmental prices published by CE Delft.

The average GHG emission of the soybean production technologies examined was 454.8 kg CO_{2eq} per tonne of dry matter, corresponding to a climate externality of EUR 89.5 per tonne – the amount by which accounting for the climate impact would, on average, modify the economic value of one tonne of soybeans. In the agro-economic application, however, it was not this absolute value but the monetary effect of the deviation between the technologies and the Hungarian reference value that was incorporated into the producer price: farms with lower emissions received a price premium, while those with higher emissions received a price deduction. The method was tested on eight panel farms with detailed data collection, where the price adjustment modified product-level income through changes in revenue by between HUF –68.2 and +39.7 thousand per hectare. Based on the product-level income of soybean production, we examined the panel farms' position both relative to one another and relative to the national average of the Hungarian Farm Accountancy Data Network (FADN) operated by AKI. The results showed that the internalization of climate externalities modified product-level incomes but did not substantially alter the ranking of the farms.

The developed benchmarking method is capable of incorporating climate impact into farm comparisons alongside conventional agro-economic indicators. Provided that an appropriate emission calculation model and farm-level data are available, the method can also be adapted to other arable crops.

BEVEZETÉS

A mezőgazdaság, mint minden emberi tevékenység, hozzájárul az éghajlatváltozáshoz, egyúttal annak egyik leginkább kitett ágazata is. Ennek ellenére, a mezőgazdaság ÜHG-kibocsátásának csökkentését célzó intézkedések eddig nem vezettek érdemi kibocsátáscsökkenéshez az OECD (2019) tanulmánya szerint, ami rámutat a jelenlegi ösztönzőrendszerek korlátaira a fennálló termelési rendszerek és piaci árazási mechanizmusok mellett. Ezért a kibocsátások társadalmi költségeinek gazdasági értékelése és a „szennyező fizet” elvének érvényesítése egyre fontosabb szerepet kaphat a klímapolitikai döntéshozatalban.

Ehhez azonban elengedhetetlen, hogy a mezőgazdasági termelés során keletkező ÜHG-kibocsátások pénzben is kifejezhetővé váljanak, lehetővé téve azok beépítését a gazdasági elemzésekbe és a piaci döntésekbe. Bár a mezőgazdasági termelés klímahatásának számszerűsítésére számos életciklus-elemzést (*Life Cycle Assessment, LCA*) alapul vevő módszer áll rendelkezésre, ezek eredményeinek gazdasági értelmezése és termelői szintű alkalmazása még kevésbé kidolgozott. E kihívásra is kereste a megoldást a Horizon Europe *FOODCoST (FOOD Costing and Internalisation of Externalities for System Transition)* projekt, amelynek célja a mezőgazdasági és élelmiszeripari termékek előállításának során keletkező pozitív és negatív externáliák harmonizált számszerűsítése, monetáris értékelése és az úgynevezett „true pricing” megközelítésen alapuló internalizálási lehetőségek kidolgozása. A projekt keretében az Agrárközgazdasági Intézet (AKI) egy esettanulmánnyal járult hozzá a módszertan gyakorlati alkalmazásához, amely egyebek mellett a belföldi, takarmányozási célú szójatermesztés környezeti externáliáinak beépíthetőségét vizsgálta a szójabab árképzésébe.

Jelen tanulmány a *FOODCoST* projekt keretében készített magyarországi esettanulmány erre vonatkozó eredményeit mutatja be. Célja egy olyan monetáris értékelési módszer ismertetése, amely alkalmas a takarmányalapanyag-termelés ÜHG-kibocsátásának gazdasági értelmezésére, valamint annak vizsgálata, hogy ez milyen gazdasági következményekkel járna a szántóföldi növénytermesztők számára. A módszert a magyarországi szójatermesztés példáján teszteltük.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A mezőgazdaság ÜHG-kibocsátásának jellemzői és számítási módszerei

Az emberi tevékenységből származó ÜHG-k, azaz a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O) és az F-gázok (fluorozott szénhidrogének) felelősek a globális felmelegedésért és a klímaváltozásért. Ezek a kibocsátások elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok elégetésének a következményei. De jelentősen hozzájárulnak a globális felmelegedéshez a mezőgazdasági tevékenységből származó kibocsátások, azaz a kérődzők emésztésekor és a trágya tárolása során keletkező CH_4 , valamint a talajok nitrogéntrágyázásából, továbbá a talajban zajló mikrobiális nitrogénátalakulási folyamatok során képződő N_2O (Gyarmati, 2021; IPCC, 2023).

Az ÜHG-k együttes hatását a globális felmelegedési potenciál (*Global Warming Potential, GWP*) alapján értékelik, amely az egyes gázok melegítő hatását hasonlítja össze a szén-dioxidéval, meghatározott időszak alatt. Kifejezésére a CO_2 -egyenérték ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) mutatót és leggyakrabban a 100 éves időtávra vonatkoztatott (GWP100) átváltási tényezőket alkalmazzák (IPCC, 2023).

Ágazati megközelítésben legnagyobb ÜHG-kibocsátó forrásnak az energiaszektor¹ (80,4%) tekinthető, miközben a mezőgazdaság 13,3%-ban, az ipar és termékhasználat² 11,2%-ban felelt az ÜHG-kibocsátásért 2024-ben Magyarországon. A hulladék forráskategória 8,5%-os kibocsátása mellett az „elnyelő” erdő és földhasználati szektor 13,4%-kal csökkentette a CO_2 levegőbe jutását. A mezőgazdaság által kibocsátott ÜHG-k közül a N_2O és a CH_4 terhelik a legjelentősebb mértékben a környezetet. A hazai N_2O -kibocsátás 75,5%-a mezőgazdasági eredetű, CO_2 -egyenértékben kifejezve viszont a teljes ÜHG-kibocsátás

¹ Energiaipar, feldolgozóipar (élelmiszeripar is) és építőipar, közlekedés; szilárd tüzelőanyagok, illetve az olaj és földgáz tüzeléséből származó diffúz kibocsátás, CO_2 szállítása és tárolása

² Ásványipar, vegyipar, fémipar, elektronikai ipar és egyéb ágazatok

mindössze 6,8%-át tette ki 2024-ben. Ezzel egyidőben Magyarország CH_4 -kibocsátásának 34,8%-a származik a mezőgazdaságból és ez a teljes ÜHG-kibocsátáson belül 6,1% arányt képviselt. Nem hagyható figyelmen kívül, hogy a mezőgazdaság közvetlen CO_2 -kibocsátása mindössze 0,4%-ot tesz ki a teljes ÜHG-kibocsátásból, ami főként a karbamidműtrágya használatának eredménye (Kis-Kovács et al., 2026).

Az ÜHG-kibocsátás nemzeti és vállalati szintű számítására és jelentéstételére nemzetközileg elismert módszertani útmutatók állnak rendelkezésre. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) által publikált útmutató a nemzeti szintű, ágazatspecifikus ÜHG-leltárak készítéséhez biztosít módszertant (Moolla et al., 2014). Az útmutató tartalmazza azokat az alapértelmezett emissziós szorzófaktorokat és egyenleteket, amelyek segítségével különböző területi szinteken és különböző pontossággal lehetséges az emisszió kiszámítása (IPCC, 2023; Mulya et al., 2025). Az ÜHG-jegyzőkönyv (*The Greenhouse Gas Protocol*) a vállalkozások és egyéb szervezetek ÜHG-kibocsátási leltárának készítéséhez nyújt nemzetközileg elfogadott keretrendszert. Nem határoz meg egységes számítási módszertant, ugyanakkor előírja az alkalmazott módszerek dokumentálását és a kibocsátások elszámolási határainak egyértelmű meghatározását (Ranganathan et al., 2004; Tikász, 2024). Míg az IPCC útmutató makro- és területi szintű megközelítést alkalmaz, az ÜHG-protokoll vállalati és értékláncszintű jelentéstételi keretrendszer. A termékiszintű, annak teljes életciklusát lekövető ÜHG-kibocsátás meghatározásához az ISO 14040 és ISO 14044 nemzetközileg elismert szabványpár biztosít módszertant. Az életciklus-elemzés a termék teljes élete során (a bölcsőtől a sírig) keletkező környezeti hatásokat értékeli. A módszertan magában foglalja a vizsgálat céljának és határainak meghatározását, az életciklusleltár összeállítását, a környezeti hatások értékelését, valamint az eredmények értelmezését (Asdrubali et al., 2015; Mulya et al., 2025).

Az ismerttetett módszertani keretek eltérő célokat szolgálnak, ugyanakkor közös jellemzőjük, hogy lehetővé teszik az ÜHG-kibocsátások számszerűsítését különböző területi és szervezeti szinteken. A megfelelő módszer kiválasztását a vizsgálat célja, a rendelkezésre álló adatok részletessége és a kívánt pontosság határozza meg.

A környezeti externáliák monetáris értékelése

Az előző fejezetek rámutatnak arra, hogy – jóllehet a mezőgazdaság nagymértékben hozzájárul az éghajlatváltozáshoz – a jelenlegi ösztönzőrendszerek nem eredményeztek számottevő kibocsátáscsökkenést az ágazatban. Ennek egyik oka, hogy a mezőgazdasági termékek piaci ára jellemzően nem tükrözi a termelés során keletkező környezeti externáliákat, mivel azok nem vagy csak részben épülnek be az árképzésbe. Következésképp, a különböző környezeti teljesítményű termelési rendszerek között nem alakul ki olyan piaci árjelzés, amely a klímahatásokat is figyelembe venné (Bakosné Böröcz & Fogarassy, 2011; Logatcheva et al., 2023; Michalke et al., 2023).

A környezeti externáliák monetáris értékelésére az elmúlt években több módszertani megközelítés alakult ki, amelyek közül az egyik legátfogóbb a valódi költségelszámolás (*True Cost Accounting, TCA*). A TCA olyan keretrendszer, amely az élelmiszer-termelés során keletkező, a piaci árban nem megjelenő környezeti, társadalmi és gazdasági externáliák pénzbeli értékelésére szolgál. Egyik legelterjedtebb alkalmazása a valódi ár (*true price*) meghatározása. Mindazonáltal a megközelítés nem a „helyes” vagy „mértányos” piaci ár, hanem a piaci ár és a valódi ár közötti különbség (*true price gap*) számszerűsítésére törekszik (Galgani et al., 2021; Hendriks et al., 2021; von Braun & Hendriks, 2023).

A true price meghatározásához három alapvető kérdés megválaszolása szükséges: (i) mely externáliákat kívánjuk figyelembe venni, (ii) milyen indikátorokkal mérjük azokat, valamint (iii) milyen monetizációs megközelítést alkalmazunk. Ennek megfelelően az elmúlt években számos életciklusleltár (*Life Cycle Inventory, LCI*), adatbázis (pl. *Agri-footprint, Agribalyse*), életciklus-hatásértékelési módszer (pl. *Product Environmental Footprint – PEF, ReCiPe*), valamint különböző monetizációs módszertan jelent meg (Auberger et al., 2022; Blonk et al., 2022; European Commission, 2021; Huijbregts et al., 2017).

Ugyanakkor jelenleg nem áll rendelkezésre egységesen elfogadott, harmonizált módszertan, sem az életciklus-elemzés, sem a monetáris értékelés tekintetében. A különböző szervezetek – például a német Környezetvédelmi Ügynökség (*Umweltbundesamt, UBA*), az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (*Environmental Protection Agency, EPA*), az Európai Bizottság vagy a CE Delft – eltérő értékelési elveket és monetizációs faktorokat alkalmaznak, amelyek még az üvegházhatású gázok esetében is jelentős különbségeket eredményeznek (de Vries et al., 2025; EPA, 2023; European Commission, 2021; Matthey & Bünger, 2024). A szakirodalomban közölt CO₂-egyenértékre vonatkozó monetizációs értékek nagyságrendje hozzávetőleg 57–765 EUR/tonna CO_{2eq} között változik, ami jól szemlélteti a módszertani harmonizáció hiányát (Stein et al., 2026).

E módszertani sokszínűsége számos tanulmány, köztük a FOODCoST projekt keretében készült is felhívja a figyelmet, kiemelve, hogy a valódi költségszámítás eredményeinek összehasonlíthatóságát jelenleg elsősorban az eltérő életciklus-értékelési és monetizációs megközelítések korlátozzák (Amadei et al., 2021; Arendt et al., 2020; Hendriks et al., 2023; Stein et al., 2026).

A jelen tanulmány azonban nem törekszik a termék teljes valódi árának meghatározására, hanem kizárólag a klímaexternáliák monetáris értékelésére. Ennek megfelelően a vizsgálat a környezeti externáliákon belül az ÜHG-kibocsátás pénzbeli értékelésére koncentrált, lehetővé téve a takarmányalapanyag-termelési rendszerek agrárökonómiai összehasonlítását. Ezenkívül a vizsgálat rendszerhatára nem terjed ki a talajban vagy a biomasszában történő szénmegkötés számszerűsítésére és monetáris értékelésére, így az eredmények kizárólag a termelési folyamat ÜHG-kibocsátásának gazdasági hatását tükrözik.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálat módszertani felépítését az 1. ábra szemlélteti. A kutatás három egymásra épülő fő lépésből állt: (i) a szójatermesztés ÜHG-kibocsátásának meghatározása, (ii) a klímaexternáliák monetáris értékelése, valamint (iii) a monetizált klímaexternáliák agrárökonómiai benchmarkingja.

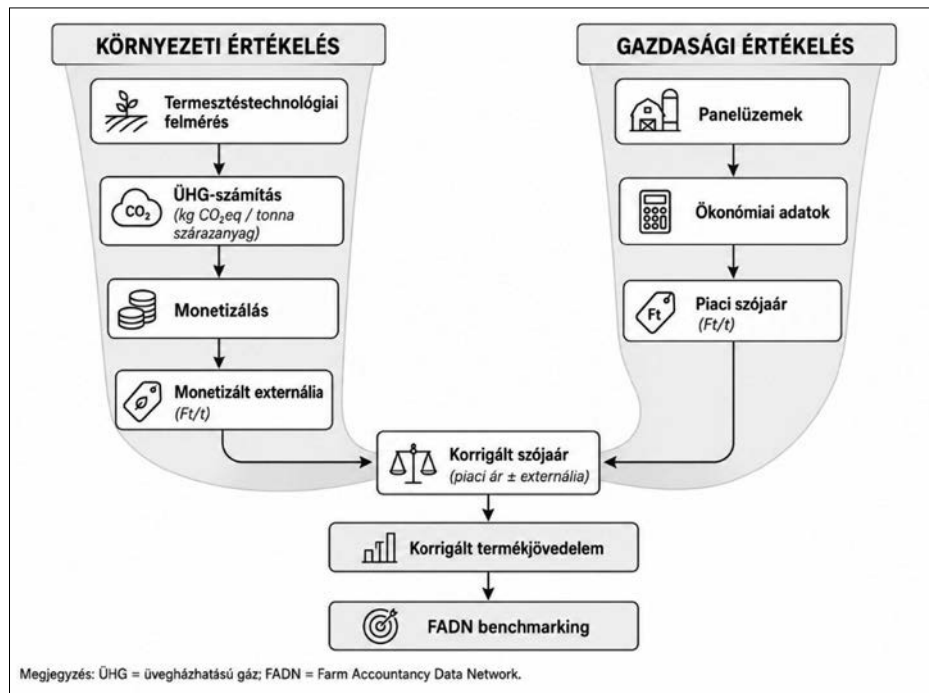
Az esettanulmány bemutatása

A vizsgálat a FOODCoST: Élelmiszerek externáliákat internalizáló költségszámítása a szemléletváltás érdekében című projekt keretében valósult meg. A projekt célja olyan módszertani keretrendszer kidolgozása volt, amely lehetővé teszi az élelmiszerek előállítása során keletkező környezeti és társadalmi externáliák pénzbeli értékelését, valamint azok figyelembevételét a mezőgazdasági és élelmiszertermékek gazdasági értékelésében.

A projekt magyarországi esettanulmánya a hazai GMO-mentes szójatermesztésre épült. A szója kiválasztását stratégiai jelentősége indokolta, mivel az Európai Unió és Magyarország takarmányfehérje-ellátása jelentős mértékben import szójára támaszkodik, miközben a hazai termelés fejlesztése agrár- és környezetpolitikai szempontból is kiemelt cél. A projekt

I. ábra

A klímaexternáliák értékelésének és agrárökonómiai benchmarkingjának módszertani folyamata
(Methodological framework for the monetization of climate externalities and the agri-economic benchmarking approach)



Forrás: saját ábrázolás

célkitűzései közül jelen tanulmány kizárólag a klímaexternáliák monetáris értékelésének módszertanára és annak agrárökonómiai alkalmazására fókuszál.

Az adatbázis

A vizsgálat alapját a FOODCoST projekt keretében létrehozott magyarországi szója-adatbázis képezte. Az adatgyűjtést az AKI koordinálta, amely során a Magyar Szója és Fehérjenövény Egyesület 72 magyarországi szójatermesztő gazdaság 2022–2024. évi terméséből összesen 682 szójababmintát gyűjtött, valamint rögzítette a mintákhoz kapcsolódó legfontosabb termesztéstechnológiai adatokat. Egy gazdaságon belül külön mintát adtak le akkor is, ha több szójafajtát termesztettek, és akkor is, ha ugyanazon fajta esetében eltérő termesztéstechnológiát alkalmaztak; egy gazdasághoz ezért több technológiai adatlap is kapcsolódhatott. A szójamintákhoz kapcsolódó vizsgálatokra jelen tanulmány nem terjed ki, az elemzés alapjaként a technológiai adatlap szolgált. A tanulmányban egy technológiai adatlapot egy technológiai megfigyelésként kezeltünk, így az elemzés összesen 682 technológiai megfigyelésen alapult.

A projekt célja a termesztéstechnológia, a termés mennyisége és minősége, valamint a termelés klímahatása közötti összefüggések feltárása volt. Jelen tanulmányban az adatbázisból az ÜHG-kibocsátás számításához a vetőmag mennyiségére, a ter-

mészhozamra és a betakarításkori nedvességtartalomra, a kijuttatott műtrágyák N-, P_2O_5 - és K_2O -hatóanyag-tartalmára, a nitrogénműtrágya típusára, a szerves trágya és a növényvédőszer-hatóanyagok mennyiségére, a földrajzi elhelyezkedésre, valamint az öntözésre vonatkozó adatokat használtuk fel. Az ÜHG-kibocsátást és annak monetáris értékét valamennyi technológiai megfigyelésre meghatároztuk. Mivel az azonos üzemben termesztett különböző fajták terméshozama eltérhetett, az egységnyi termékre (kg CO_{2eq} /tonna szárazanyag) vetített ÜHG-kibocsátás és a monetizált klímaexternália értéke megfigyelésenként is különbözhetett.

A projekt keretében nyolc olyan gazdaságot választottunk ki, amelyektől a vizsgált időszak mindhárom évére részletes termesztéstechnológiai és ökonomiai adatokat gyűjtöttünk; ezeket panelüzemeknek neveztük. A panelüzemek adatbázisa egyrészt lehetővé tette egyes hiányzó technológiai paraméterek – elsősorban az üzemanyag-felhasználás – becslését, másrészt alapul szolgált a monetizált klímaexternáliák termelési költségekkel és jövedelmi adatokkal történő agrárökonómiai összehasonlításához. Az agrárökonómiai benchmarkingot ezért kizárólag e nyolc panelüzem esetében végeztük el. A talaj pH-értékéről nem álltak rendelkezésre közvetlen mérési adatok, ezért azt szakirodalmi forrás alapján határoztuk meg (Tóth et al., 2015).

Az ÜHG-kibocsátás számítása

A szójatermesztés üvegházhatásúgáz-kibocsátását egy, a megújuló energiaforrásokból előállított energia felhasználásának előmozdításáról szóló (EU) 2018/2001 európai parlamenti és tanácsi irányelv (RED II) szerinti bioüzemanyag-alapanyagok NUTS2-szintű regionális ÜHG-értékeinek meghatározására kidolgozott számítási modellel határoztuk meg. A modell az IPCC irányelveire, a *Joint Research Centre* (JRC) módszertani útmutatóira, valamint az (EU) 2022/996 bizottsági végrehajtási rendelet előírásaira épül (Edwards et al., 2019; European Commission, 2022; European Parliament and the Council, 2018; IPCC, 2019). A számítási modellt eredetileg a Magyarországon termesztett öt fő bioüzemanyag-alapanyag (búza, kukorica, repce, napraforgó és szója) NUTS2-szintű regionális ÜHG-kibocsátási értékeinek meghatározására fejlesztettük ki. A modell alkalmazásával meghatározott regionális ÜHG-kibocsátási értékeket az Európai Bizottság elfogadta és közzétette, a számítási modell megfelelőségét pedig a Bizottság által felkért független szakértői csoport validálta (European Commission, 2025).

A számítás rendszerhatára a szójatermesztés teljes termelési folyamatára terjedt ki az inputanyagok előállításától a betakarított termény szárításán és tárolásán át a gazdaság kapujáig (*farm gate*). A vizsgálat figyelembe vette a vetőmag-, a műtrágya-, a szervestrágya-, a növényvédőszer- és az üzemanyag-felhasználást, továbbá az öntözés, a szárítás és a tárolás energiaigényét. A közvetlen kibocsátások közé tartoztak a talajból származó N_2O -kibocsátások, valamint a karbamid alkalmazásához és a mésztrágyázáshoz kapcsolódó CO_2 -kibocsátások. A rendszerhatár nem terjedt ki a termény szállítására, feldolgozására és további hasznosítására, mivel a vizsgálat célja a szójatermesztés termékszintű ÜHG-kibocsátásának meghatározása volt.

A műtrágyák és növényvédő szerek esetében az üzemekben alkalmazott kereskedelmi termékeket egységesítettük a számítási modell követelményeinek megfelelően. A műtrágyákhoz a 2022/996/EU végrehajtási rendeletben meghatározott műtrágyatípusokhoz tartozó emissziós szorzófaktorokat rendeltük hozzá. Azoknál a kereskedelmi termékeknél, amelyek nem voltak közvetlenül megfeleltethetők a rendeletben szereplő kategóriáknak, a hatóanyag-összetétel és a termék jellemzői alapján kialakított besorolási eljárást alkalmaz-

tunk. A növényvédő szerek esetében a kereskedelmi készítmények hatóanyag-összetételét az engedélyokiratok alapján határoztuk meg, majd a kijuttatott készítménymennyiségekből számított hatóanyag-felhasználás képezte az emissziószámítás alapját.

A szárítás és tárolás energiafelhasználásához üzemi szintű adatok nem álltak rendelkezésre, így a RED II számításokhoz korábban meghatározott országos és megyei átlagértékeket alkalmaztuk. Mivel e folyamatok hozzájárulása a teljes termékszintű ÜHG-kibocsátáshoz csekély, az alkalmazott közelítés a számítások pontosságát érdemben nem befolyásolta.

Az egyes kibocsátási forrásokból származó emissziókat a vonatkozó GWP100 értékek alkalmazásával CO₂-egyenértékre számítottuk át, majd összegeztük, és a betakarított termés szárazanyag-tartalmára vetítve fejeztük ki (kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag).

A technológiai megfigyelések klímahatásának értékeléséhez viszonyítási alapként a magyarországi szójatermesztés validált országos átlagos ÜHG-kibocsátási értékét (357,2 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag; a továbbiakban: referenciaérték) alkalmaztuk (European Commission, 2025). A referenciaérték eredetileg a 2017–2021 közötti időszakra lett meghatározva, és a tanulmány megjelenésének idején is a hazai bioüzemanyag-értékláncban alkalmazott hivatalos referenciaérték. A vizsgálat során a referenciaértéket a technológiai megfigyelések csoportosításához, a klímaexternáliák monetáris értékeléséhez, valamint a panelüzemek agrárökonómiai benchmarkingjához egyaránt viszonyítási alapként alkalmaztuk.

A klímaexternáliák monetáris értékelésének módszertana

Az ÜHG-kibocsátás számítását követően a technológiai megfigyelések fajlagos kibocsátási értékeit monetizáltuk. A monetizálás során a CE Delft által közzétett *Environmental Prices Handbook 2024* (de Vries et al., 2025) klímaváltozásra vonatkozó, 2021. évi középértékű (*mid value*) környezeti árát alkalmaztuk. A környezeti ár EUR/kg CO_{2eq} mértékegységben állt rendelkezésre. Mivel a vizsgálat a 2022–2024. évek adataira épült, a 2021. évi környezeti árát a vizsgált évekre az EUROSTAT harmonizált fogyasztóiár-indexének (HICP) éves átlagos értékei alapján inflációval korrigáltuk, a kézikönyv ajánlásának megfelelően (1. táblázat).

I. táblázat

A vizsgálatban alkalmazott környezeti árak (*Environmental prices used in the study*)

Év	Környezeti ár (EUR/kg CO _{2eq})	Megjegyzés
2022	0,1545	HICP-vel korrigálva
2023	0,1952	HICP-vel korrigálva
2024	0,2531	HICP-vel korrigálva

Forrás: Eurostat és de Vries et al. (2025) alapján saját számítás

A fajlagos ÜHG-kibocsátás és az inflációval korrigált környezeti ár szorzataként mind a 682 technológiai megfigyelés esetén meghatároztuk a klímaexternália monetáris értékét (EUR/tonna). Mivel a fajlagos ÜHG-kibocsátás a terméshozamtól is függ, az azonos természettechnológiával előállított, de eltérő hozamot elérő minták monetizált klímaexternáliája is különbözhetett.

A monetizált klímaexternáliák agrárökonómiai benchmarkingja

A monetizált klímaexternáliák gazdasági hatásának értékelését a nyolc panelüzem részletes ökonómiai adatai alapján végeztük el. Az ökonómiai összehasonlítás külső refe-

renciáját az AKI Tesztüzemi Információs Rendszerének (FADN) ágazati adatgyűjtésében szereplő szójababtermesztő gazdaságok országos átlagos szójababtermesztési költség- és jövedelemadatai jelentették. A benchmarking célja annak vizsgálata volt, hogy a klímaexternáliák internalizálása milyen mértékben módosítaná a panelüzemek szójababtermesztésének jövedelmezőségét, valamint azok relatív gazdasági pozícióját egymáshoz és a hazai szójababtermesztő gazdaságok átlagos teljesítményéhez viszonyítva.

A benchmarking előkészítéséhez szükséges számításokat négy egymást követő lépésben végeztük el:

1. Az előző fejezetben leírtak szerint meghatároztuk a panelüzemek éves átlagos fajlagos ÜHG-kibocsátását.
2. Az üzemi átlagokat összevetettük a magyarországi referenciaértékkel (European Commission, 2025), és meghatároztuk az attól való eltérést. A benchmarking során ugyanis a referenciaérték nem abszolút környezeti küszöbértékként, hanem a panelüzemek klímahatásának viszonyítási alapjaként szolgált. Az árazási modellbe ezért nem a teljes monetizált klímaexternáliát, hanem kizárólag a referenciaértéktől való eltérés monetáris értékét építettük be. A referenciaértéknél alacsonyabb kibocsátást bevételnövelő, a magasabb kibocsátást bevételcsökkentő tényezőként értelmeztük.
3. A referenciaértéktől való eltéréseket megszoroztuk a de Vries et al. (2025) alapján meghatározott, inflációval korrigált éves környezeti árakkal (1. táblázat).
4. Az így kapott, euróban kifejezett értékeket a Magyar Nemzeti Bank éves átlagos HUF/EUR árfolyamain váltottuk át forintra, majd pozitív vagy negatív környezeti bonifikációként beépítettük a panelüzemek szójababra megadott egyedi termelői árba. Az alkalmazott ármodell az alábbi összefüggéssel írható le:

$$\text{IoE szójababár}_{i,t} = \text{szójababár}_{i,t} + x_{i,t}$$

ahol:

- i az érintett gazdaságot jelöli;
- t az érintett évet jelöli;
- $\text{IoE szójababár}_{i,t}$ az i gazdaság szójababtermésének externális hatások internalizálásával korrigált ára a t évben, forint/tonna mértékegységben;
- $\text{szójababár}_{i,t}$ az i gazdaság eredeti, externális hatások internalizálása nélkül számított szójababára a t évben, forint/tonna mértékegységben;
- $x_{i,t}$ az i gazdaság szójababtermesztésének ÜHG-kibocsátásához kapcsolódó környezeti árkomponens a t évben, forint/tonna mértékegységben.

$$x_{i,t} > 0, \text{ ha } y_{i,t} < y_{HU,t}, \text{ és } x_{i,t} < 0, \text{ ha } y_{i,t} > y_{HU,t}$$

ahol:

- $y_{i,t}$ az i gazdaság szójababtermesztésének ÜHG-kibocsátása a t évben, kg CO₂-egyenérték/tonna szójabab-száranyag mértékegységben;
- $y_{HU,t}$ a magyarországi szójababtermesztés referencia ÜHG-kibocsátási értéke.

A benchmarking során minden panelüzem esetében három értéket hasonlítottunk össze: (i) az eredeti ágazati eredményt, (ii) a klímaexternáliák internalizálását követően számított korrigált ágazati eredményt, valamint (iii) a magyarországi FADN ágazati adatgyűjtésében szereplő szójababtermesztő gazdaságok országos átlagos ágazati eredményét. Az ágazati eredményt minden esetben a termelési érték és a termelési költség különbözeteként határoztuk meg, a támogatások és a földbérleti díj figyelembevétele nélkül. Ez lehetővé

tette annak értékelését, hogy a klímaexternália monetáris figyelembevétele milyen mértékben módosítja az egyes gazdaságok relatív gazdasági pozícióját és versenyképességét.

A panelüzemek anonimitásának megőrzése érdekében a tanulmányban valamennyi gazdaságot kóddal jelöltük. A betűjel az üzem vármegyéjének rövidítésére, a szám pedig az adott vármegyén belüli sorszáma utal.

A benchmarkingmódszer robusztusságának vizsgálata érdekében érzékenységvizsgálatot végeztünk. Ennek során egyrészt a magyarországi referencia ÜHG-kibocsátási értéket $\pm 5\%$ -kal módosítottuk, modellezve egy jövőbeni, új adatok alapján elvégzett referenciaérték-felülvizsgálat lehetséges hatását. Másrészt a monetizálást a CE Delft korábbi, 2015. évi környezeti árai (de Bruyn et al., 2018) alapján is elvégeztük. A főszámításokkal megegyező módon a 2015. évi környezeti árakat is a vizsgált évek árszintjére aktualizáltuk, így azt vizsgáltuk, hogy az eltérő kiinduló környezeti árak milyen mértékben befolyásolják a benchmarking eredményeit.

EREDMÉNYEK

A magyarországi szójatermesztés ÜHG-kibocsátásának jellemzői

A vizsgált adatállományban szereplő 682 technológiai megfigyelés átlagos fajlagos ÜHG-kibocsátása 454,8 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag volt a 2022–2024 közötti időszakban, éves átlagban 293,8 és 531,5 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag között alakult. Az egyes technológiai megfigyelések között ugyanakkor jelentős különbségek mutatkoztak: a fajlagos ÜHG-kibocsátás 139,7 és 2905,7 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag között változott, ami a termesztési rendszerek jelentős változékonyságát tükrözi. Erre utalnak a variációs együttható (CV) magas értékei (37,7–105,3%), valamint az átlag és a medián közötti különbség, amely néhány kiugróan magas fajlagos ÜHG-kibocsátású technológia jelenlétére utal (2. táblázat).

2. táblázat

A vizsgált technológiai megfigyelések ÜHG-kibocsátásának leíró statisztikai jellemzői
(Descriptive statistics of the specific GHG emissions of the analysed technological observations)

Megnevezés	Mértékegység	Évek			
		2022	2023	2024	2022–2024
Mintaszám	darab	262	219	201	682
Átlag	kg CO _{2eq} /t sza.	531,5	293,8	530,2	454,8
Medián	kg CO _{2eq} /t sza.	410,4	280,2	365,8	346,0
Szórás	kg CO _{2eq} /t sza.	375,7	110,7	558,1	402,2
CV	százalék	70,7	37,7	105,3	88,4
Minimum	kg CO _{2eq} /t sza.	157,7	139,7	191,1	139,7
Maximum	kg CO _{2eq} /t sza.	2 527,1	677,4	2 905,7	2 905,7

sza: szárazanyag

Forrás: AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját számítás

A vizsgált technológiai megfigyeléseket a magyarországi szójatermesztésre meghatározott referenciaérték – 357,2 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag – alapján két csoportra osztottuk. A referenciaérték alatti csoportba azok a technológiai megfigyelések kerültek, amelyek fajlagos ÜHG-kibocsátása nem haladta meg ezt az értéket, míg a másik csoportba

a referenciaértéket meghaladó megfigyelések tartoztak. A két csoport főbb technológiai és kibocsátási jellemzőit a 3. táblázat mutatja be.

A referenciaérték alatti technológiai megfigyelések átlagos fajlagos ÜHG-kibocsátása 256,8 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag, míg a referenciaértéket meghaladó csoporté 673,5 kg CO_{2eq}/tonna szárazanyag volt. A két csoport között jelentős különbség mutatkozott a terméshozamban is: a referenciaértéket meghaladó csoport szárazanyagra vetített átlagos termése 1761 kg/ha volt, amely 35%-kal elmaradt a referenciaérték alatti csoport 2718 kg/ha-os átlagától. A magasabb fajlagos ÜHG-kibocsátású technológiai megfigyelések emellett 142%-kal több szintetikusnitrogén-hatóanyagot használtak fel, míg üzemanyag-felhasználásuk 19%-kal volt magasabb (3. táblázat).

A technológiai különbségek a kibocsátási komponensekben is egyértelműen megjelentek. A referenciaértéket meghaladó csoportban valamennyi vizsgált kibocsátási forrás magasabb értéket mutatott, közülük a legnagyobb eltérés a műtrágyához kapcsolódó ÜHG-kibocsátásban volt (+366%). Jelentős különbség mutatkozott az üzemanyag-eredetű (+136%) és a talajeredetű (+130%) kibocsátások esetében is, míg a szárításból származó kibocsátások mindkét csoportban csekély mértékűek maradtak. Az eredmények azt mutatják, hogy a magasabb fajlagos ÜHG-kibocsátás nem egyetlen kibocsátási forrásból eredt, hanem több kibocsátási komponens együttes növekedésének eredményeként alakult ki (3. táblázat).

3. táblázat

Referenciaérték alatti és feletti technológiai megfigyelések összehasonlítása
(Comparison of technological observations below and above the reference value)

Megnevezés	Mértékegység	Referencia alatt (<357,2 kg CO _{2eq} /t sza.)	Referencia felett (>357,2 kg CO _{2eq} /t sza.)	Eltérés
Mintaszám	darab	358	324	–9%
ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	256,8	673,5	+162%
Hozam (száraz)	kg sza./ha	2717,9	1761,5	–35%
Szintetikus N-hatóanyag	kg/ha	16,0	38,7	+142%
Üzemanyag	liter/ha	108,9	129,3	+19%
Műtrágya eredetű ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	31,5	146,9	+366%
Talajeredetű ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	70,9	163,4	+130%
Üzemanyag-eredetű ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	146,2	344,6	+136%
Szárításból származó ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	1,8	2,3	+28%
Egyéb eredetű ÜHG-kibocsátás	kg CO _{2eq} /t sza.	6,4	16,4	+156%

sza: szárazanyag

Forrás: AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját számítás

A klímaexternáliák monetáris értékelésének eredményei

Az ÜHG-kibocsátásban megfigyelt különbségek önmagukban még nem teszik lehetővé annak megítélését, hogy ezek milyen gazdasági jelentőséggel bírnak. Ennek érdekében a fajlagos ÜHG-kibocsátásokat a módszertani fejezetben ismertetett környezeti árak alkalmazásával monetizáltuk, majd az eredményeket a magyarországi referenciaértékhez viszonyítva értékeltük. A referenciaérték monetáris megfelelőjét a vizsgált időszak (2022–2024) inflációval korrigált környezeti árainak (1. táblázat) egyszerű számtani átlaga alapján határoztuk meg, biztosítva ezzel a referenciaérték és a vizsgált technológiai megfigyelések összehasonlíthatóságát. A referenciaérték monetizált megfelelője így 71,8 EUR/tonna lett.

A referenciaérték alatti technológiai megfigyelések átlagos monetizált klímaexternáliája 51,6 EUR/tonna szárazanyag volt, amely 20,2 EUR/tonnával maradt el a referenciaérték összegétől. Ezzel szemben a referenciaértéket meghaladó csoport átlagos externális költsége 131,4 EUR/tonna szárazanyag volt, amely 59,6 EUR/tonnával haladta meg a referenciaértéket. A teljes adatállomány átlagos monetizált klímaexternáliája 89,5 EUR/tonna szárazanyag volt, amely 17,7 EUR/tonnával meghaladta a referenciaértéket. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a technológiai megfigyelések közötti ÜHG-kibocsátásban mutakozó különbségek jelentős pénzbeli eltéréseket eredményeznek (4. táblázat).

4. táblázat
A referenciaérték alatti és feletti technológiai megfigyelések klímaexternáliájának monetáris értékelése
(Monetary valuation of climate externalities for technological observations below and above the reference value)

Megnevezés	ÜHG-kibocsátás	Monetizált klímaexternália	Eltérés a monetizált referenciaértéktől (71,78 EUR/t)
	kg CO _{2eq} /t sza.	EUR/t sza.	EUR/t sza.
Referencia alatt (<357,2 kg CO _{2eq} /t sza.)	256,8	51,6	–20,2
Referencia felett (>357,2 kg CO _{2eq} /t sza.)	673,5	131,4	+59,6
Összesen	454,8	89,5	+17,7

sza: szárazanyag
Forrás: AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját számítás

A kapott értékek nagyságrendje összhangban van a nemzetközi szakirodalomban közölt, klímaexternáliákra vonatkozó monetizációs sávval (57–765 EUR/tonna CO_{2eq}; Stein et al., 2026) és inkább annak alsó tartományához közelít.

A klímaexternáliák ökonómiai értékelése benchmarkingelemzés alapján

A benchmarkingvizsgálatba nyolc, eltérő termőhelyi adottságokkal és termesztéstechnológiával rendelkező panelüzemet vontunk be (5. táblázat). A gazdaságok Magyarország különböző agroökológiai térségeit reprezentálják: Dél-Magyarországot (Baranya vármegye), az észak-magyarországi hegyvidéki térséget (Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye), Nyugat-Magyarországot (Győr-Moson-Sopron és Zala vármegye), valamint az Alföld északi peremét (Heves vármegye). A vizsgált gazdaságok között jelentős különbségek figyelhetők meg a szójaterület, a talajtípus, a tenyészydőszak csapadékelátottsága, a termés hozam,

a tápanyag-felhasználás és a fajlagos ÜHG-kibocsátás tekintetében, ami megfelelő alapot biztosított a klímaexternáliák gazdasági hatásának összehasonlító értékeléséhez.

A három vizsgált év időjárási feltételei jelentősen eltértek egymástól. A 2022-es év – amelyet Magyarországon azt megelőző száz év egyik legmelegebb és legaszályosabb vegetációs időszaka jellemzett – minden panelüzemben a legalacsonyabb tenyészidőszaki csapadékösszegekkel és többnyire a legalacsonyabb terméshozamokkal párosult. Ezzel szemben 2023 kedvező csapadékelátottságot biztosított, míg 2024 átmenetet képviselt a két szélső évjárat között. Az eltérő évjáratok hatások nemcsak a terméseredményekben, hanem a fajlagos ÜHG-kibocsátás alakulásában is meghatározó szerepet játszottak, ezért a benchmarkingeredmények értelmezése során kiemelt jelentőséggel bírnak.

5. táblázat

A benchmarkingvizsgálatban szereplő panelüzemek főbb jellemzői a 2022–2024 közötti időszakban (minimum-maximum értékek)

(Main characteristics of the panel farms included in the benchmarking analysis during the 2022–2024 period, minimum-maximum values)

Üzem-kód	Szója-terület	Csapadék-tenyészidő alatt	Talaj-típus	Átlagos szója-hozam	Tápanyag-ellátás, összes hatóanyag	Szójatermesztés ÜHG-kibocsátása
	ha	mm		t/ha	kg/ha	kg CO _{2eq} /t sza.
BAI	56–58	300–522	BE/CS	1,5–3,2	72–110	316–638
BA2	173–400	129–217	R	1,8–2,9	0–2	174–262
BAZI	20–38	120–437	BE	0,8–3,4	97–301	233–450
BAZ2	15–31	130–319	BE/R	1,7–3,9	6–10	263–403
BAZ3	37–82	120–451	BE/Ö/R	1,3–3,0	39–167	367–761
GYMSI	13–27	228–499	Ö	2,4–3,2	48–253	267–426
HEI	3–10	187–392	BE/CS	0,7–3,5	41–78	377–1494
ZAI	17–25	330–744	BE	2,3–2,6	185–410	465–826

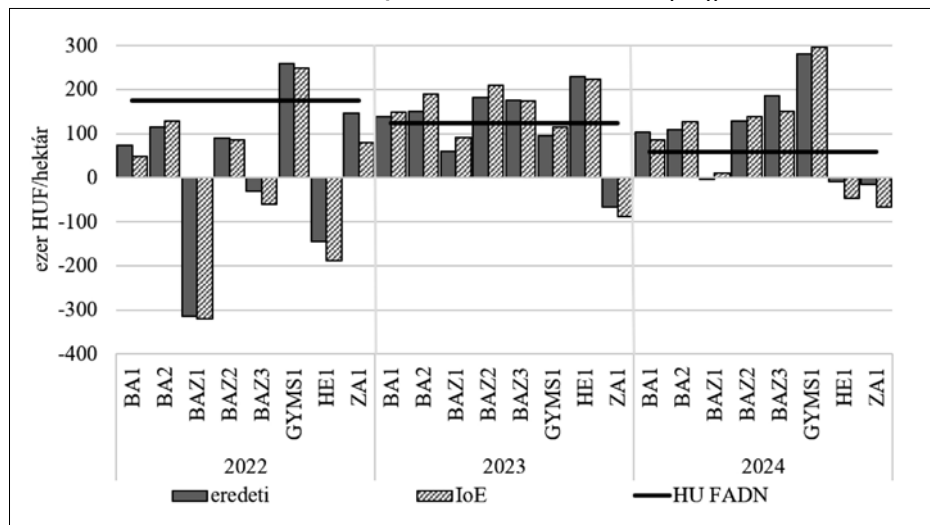
Talajtípus: BE – barna erdőtalaj, CS: csernozjom, Ö: öntéstalaj, R: réti talaj
sza: szárazanyag

Forrás: AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját összeállítás

A vizsgált panelüzemek szójatermelésének ágazati eredménye (2. ábra) az internalizálást megelőzően 2022-ben –315,4 ezer és 260,0 ezer forint/hektár (átlag: 24,4 ezer forint/hektár), 2023-ban –66,8 ezer és 229,0 ezer forint/hektár (átlag: 120,6 ezer forint/hektár), 2024-ben –14,1 és 280,6 ezer forint/hektár (átlag: 97,8 ezer forint/hektár) között alakult. Az internalizálás a referenciaértéktől való eltérés alapján módosította a szójabab termelői árát, amely a termelési értéken keresztül jelent meg az ágazati eredmény változásában. A vizsgált panelüzemek esetében a klímahatás függvényében alkalmazott árkorrekció néhány ezertől több tízezer forint/tonna nagyságrend között alakult. Ennek hatására az ágazati eredmény 2022-ben –319,9 ezer és 249,9 ezer, 2023-ban –87,6 ezer és 223,9 ezer, míg 2024-ben –66,0 és 296,0 ezer forint/hektár közötti tartományban alakult, az átlagos ágazati eredmény pedig az évek sorrendjében 2,5 ezer, 133,0 ezer és 86,7 ezer forint/hektárra módosult. Az átlagos korrekció rendre –21,9 ezer, +12,5 ezer és –11,1 ezer forint/hektár volt, miközben az egyes panelüzemek esetében az internalizálás hatása –68,2 és +39,7 ezer forint/hektár között alakult a vizsgált három év alatt. Ez arra utal, hogy a klímahatás figyelembevétele több esetben már gazdasági szempontból is érdemi ösztön-

2. ábra

A panelüzemek szójatermelésének ágazati eredménye¹ a környezeti externáliák figyelembevételével (IoE) és anélkül
(Product-level income of soybean production in the panel farms with and without the internalisation of environmental externalities (IoE))



¹⁾ Támogatások és földbérleti díjak nélkül

IoE: Internalization of Externalities; externáliák figyelembevétele

HU FADN: a szójatermesztés ágazati eredménye Magyarországon az FADN ágazati adatgyűjtése alapján.

Forrás: AKI FADN és AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját kalkuláció és összeállítás

zót jelenthet, ugyanakkor az átlagos korrekciók jól tükrözik az évjáráthatás szerepét a klímaexternáliák monetáris értékelésében.

A panelüzemek között jelentős különbségek mutatkoztak az ÜHG-kibocsátás tekintetében. A BA2 panelüzem mindhárom évben a referenciaérték alatt teljesített (174–262 kg CO_{2eq}/tonna), és következetesen a legnagyobb környezeti prémiumban részesült. Kedvező irányú korrekció volt megfigyelhető a BA1, BAZ1, BAZ2 és GYMS1 üzemekben is azokban az években, amikor fajlagos ÜHG-kibocsátásuk szintén a referenciaérték alatt maradt. Ezzel szemben a referenciaértéket meghaladó kibocsátás minden esetben az ágazati eredmény romlásával járt. A legnagyobb árlevonás következetesen a ZA1 üzemben jelentkezett, ahol a magas összes hatóanyag-felhasználás (185–410 kg/ha) és a mérsékelt terméshozam együttesen kedvezőtlen klímaexternáliát eredményezett.

Az eredmények ugyanakkor arra is rámutatnak, hogy a klímahatás nem vezethető vissza kizárólag az inputfelhasználás mértékére. A HE1 üzem 2022-ben viszonylag alacsony tápanyag-felhasználás mellett is messze a legmagasabb fajlagos ÜHG-kibocsátást érte el (1494 kg CO_{2eq}/tonna), ami elsősorban a rendkívül alacsony, 0,65 tonna/hektár terméshozam következménye volt. Ez azt mutatja, hogy az alkalmazott internalizálási módszer a tényleges klímahatást értékeli, nem pedig az inputfelhasználást „bünteti”. A kibocsátás nagyságát ugyanis a felhasznált inputok mennyisége mellett azok hasznosulása, vagyis az segítségnyújtó környezeti terhelés határozza meg. Ennek megfelelően a módszer a hatékony erőforrás-felhasználást ösztönzi.

A három vizsgált év eredményei egyértelmű évjáráthatást jeleztek. A kedvezőtlenebb 2022. évben a panelüzemek többségének fajlagos ÜHG-kibocsátása meghaladta a referen-

ciaértéket, így az internalizálás hét gazdaság ágazati eredményét csökkentette. A kedvezőbb 2023. évben ezzel szemben öt üzem ÜHG-kibocsátása már a referenciaérték alatt alakult, ezért az internalizálás ezeknek az ágazati eredményét növelte. A 2024. évi eredmények átmenetet képeztek a két szélső év között. Mindez arra utal, hogy a klímahatást az alkalmazott technológia mellett az évjárat is számottevően befolyásolja, elsősorban a terméshozamokon keresztül. Azonos termesztéstechnológia mellett a kedvezőtlenebb évjárat önmagában is növelheti az egységnyi termékre jutó ÜHG-kibocsátást, míg kedvezőbb termelési feltételek mellett ugyanaz a technológia kedvezőbb éghajlati hatást eredményezhet.

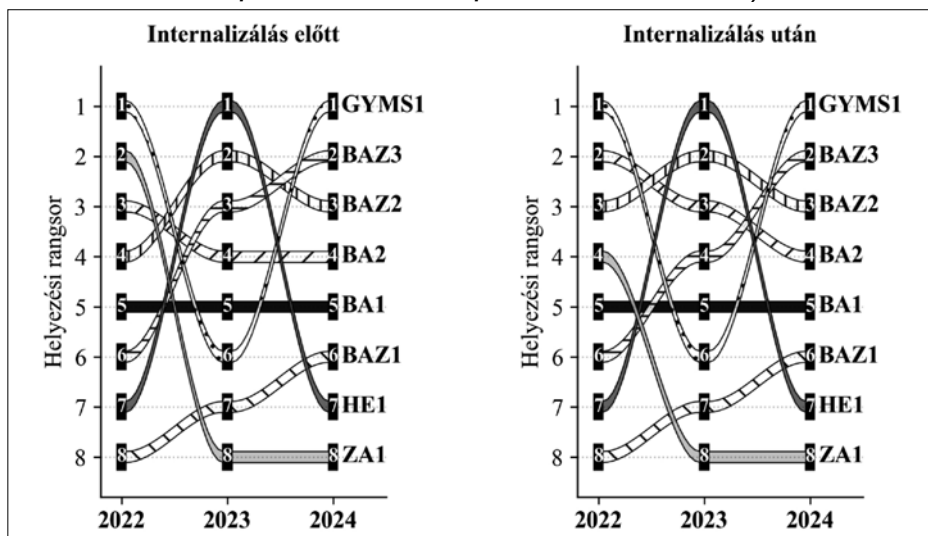
Az internalizálás a panelüzemek országos FADN-átlaghoz viszonyított pozícióját csak korlátozott mértékben módosította. Egyetlen gazdaság esetében változott meg az ágazati eredmény előjele (a BAZI üzem 2024-ben kis veszteségből csekély nyereségessé vált), illetve mindössze néhány, egymáshoz közeli eredményű üzem sorrendje módosult az országos átlaghoz viszonyítva. Az üzemek alapvető gazdasági helyzetét továbbra is elsősorban a terméshozam, a költséghatékonyság és az értékesítési feltételek határozták meg, míg a környezeti externáliák figyelembevétele ezeket kiegészítve differenciálta a jövedelmezőséget.

A környezeti externáliák internalizálásának hatására a panelüzemek ágazati eredmény szerinti rangsora csak korlátozott mértékben módosult (3. ábra). Az internalizálás előtti és utáni rangsor összehasonlítása alapján 2022-ben három, 2023-ban két helycsere történt, míg 2024-ben egyetlen helyezés sem változott. A változások minden esetben egy-két helyezést érintettek, és – az országos FADN ágazati adatgyűjtésében szereplő gazdaságok átlagához viszonyított eredményekhez hasonlóan – azoknál a panelüzemeknél következtek be, amelyek eredeti ágazati eredménye egymáshoz viszonylag közel állt.

3. ábra

A panelüzemek szójabbertermelésének ágazati eredménye¹ szerinti rangsora az internalizálás előtt és után

(Ranking of the panel farms based on the product-level income from soybean production before and after the internalisation of environmental externalities)



¹⁾ Támogatások és földbérleti díjak nélkül

Forrás: AKI FOODCoST adatgyűjtése alapján saját számítás és összeállítás

A legnagyobb rangsorváltozás a 2022. évi, internalizálás előtti és utáni rangsor összehasonlításakor következett be, amikor a ZA1 két helyet veszített, míg a BA2 és a BAZ2 egy-egy helyet javított. A 2023. évi rangsorban az internalizálás hatására a BA2 egy helyet előrelépett, a BAZ3 pedig egy helyet visszacsúszott. Ezzel szemben a 2024. évi internalizálás előtti és utáni rangsor teljes mértékben megegyezett, vagyis az internalizálás egyik panelüzem helyezését sem módosította.

A három év összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a panelüzemek relatív gazdasági pozícióját elsősorban az évjáratí különbségek alakították, míg a klímaexternáliák internalizálása csak kisebb rangsor-átrendeződéseket eredményezett.

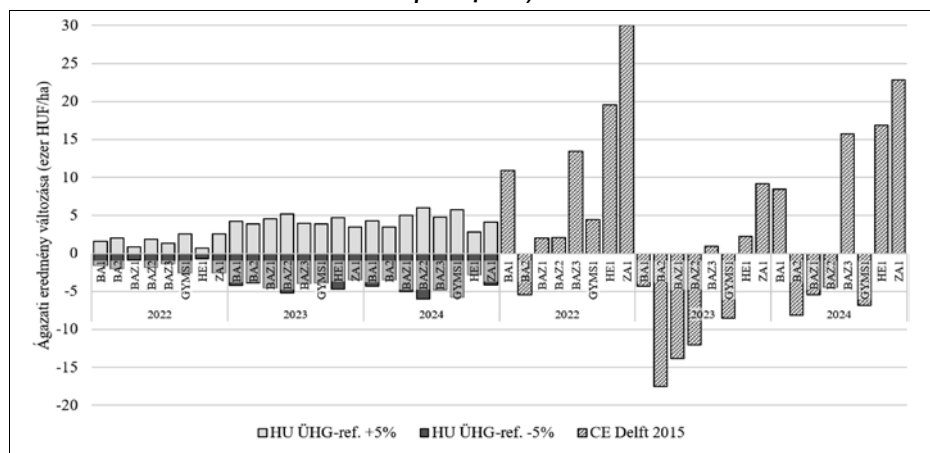
Érzékenységvizsgálat

Számításba véve azt, hogy a magyarországi referencia ÜHG-kibocsátási érték, illetve a monetizáláshoz alkalmazott környezeti ár kalkulációinak módszertana idővel szükségszerűen módosul, érzékenységvizsgálatot végeztünk annak szimulálására, hogy ezen esetleges változtatások milyen mértékben és irányban térítenék el a panelüzemek szójatermelésének környezeti externáliákkal korrigált ágazati eredményét.

A magyarországi referencia ÜHG-kibocsátási érték $\pm 5\%$ -os módosítása az internalizálás eredményeként számított ágazati eredményt csak néhány ezer forint/hektár mértékben változtatta meg. A környezeti árak módosulása ugyanakkor ennél lényegesen nagyobb hatást gyakorolt az eredményekre. A CE Delft 2015. évi környezeti áraiból kiindulva, a vizsgált évek árszintjére aktualizált egységárak 2022-ben 0,0864, 2023-ban 0,1092, míg 2024-ben 0,1416 EUR/kg CO_{2eq} értéket vettek fel, amelyek az alapváltozatnál (1. táblázat) valamennyi évben alacsonyabbak voltak. Ennek következtében, az alapváltozathoz viszonyított eltérés 2022-ben $-5,4$ és $+30,0$ ezer, 2023-ban $-17,5$ és $+9,2$ ezer, míg 2024-ben $-8,1$ és $+22,9$ ezer forint/hektár között alakult (4. ábra). Az alacsonyabb környezeti árak következtében az internalizáció mértéke mérséklődött, így az eredmények valamennyi

4. ábra

Az érzékenységvizsgálat hatása a panelüzemek szójatermelésének ágazati eredményére¹
(Effects of the sensitivity analysis on the product-level income of soybean production in the panel farms)



¹⁾ Támogatások és földbérleti díjak nélkül

esetben közelebb kerültek az externáliák figyelembevétele nélkül számított ágazati eredményhez. A környezeti prémiumban részesülő panelüzemek ágazati eredménye csökkent, míg az árlevonással érintett gazdaságoké javult, azonban a prémium, illetve az árlevonás iránya egyik esetben sem változott.

Az érzékenységvizsgálat alapján megállapítható, hogy a benchmarking eredményeit a környezeti árak megválasztása nagyobb mértékben befolyásolja, mint a hazai referencia ÜHG-kibocsátási érték észszerű mértékű módosítása. Ugyanakkor egyik vizsgált forgatókönyv sem változtatta meg a panelüzemek alapvető gazdasági helyzetét: a nyereséges vagy veszteséges státusz, illetve az országos FADN ágazati adatgyűjtésben szereplő gazdaságok átlagához viszonyított besorolás változatlan maradt, és csak néhány, egymáshoz közeli eredményű panelüzem relatív sorrendje módosult. Az eredmények alapján a klímaexternáliák internalizálására alkalmazott benchmarkingmódszer robusztusnak tekinthető.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgálat eredményei alapján a szántóföldi növénytermesztés ÜHG-kibocsátása termelői szinten számszerűsíthető, monetáris értéke meghatározható, és agrárökonómiai elemzésekbe is beépíthető, azaz képes érdemben kiegészíteni a gazdasági teljesítmény értékelését.

Tanulmányunkban a magyarországi szójatermesztés validált ÜHG-kibocsátási referenciaértékére építve olyan agrárökonómiai benchmarkingmodellt alakítottunk ki, amelyben a klímaexternáliák monetáris értéke közvetlenül megjelenik a termékszintű ágazati eredményben. Így az éghajlati hatás a hagyományos agrárökonómiai mutatókkal együtt vizsgálható. Ismereteink szerint ez az első olyan hazai alkalmazás, amely a validált országos ÜHG-referenciaértéket közvetlenül agrárökonómiai benchmarking céljára használja fel.

Az eredmények azt is igazolták, hogy a fajlagos ÜHG-kibocsátást a termelési rendszer egészének hatékonysága alakítja. A tápanyag-felhasználás mellett a terméshozam, az alkalmazott termesztéstechnológia és a termelési feltételek – különösen az évjáráthatás – egyaránt meghatározó szerepet játszik.

A klímaexternáliák monetáris figyelembevétele a vizsgált panelüzemek ágazati eredményét érzékelhető mértékben módosította, ugyanakkor a gazdaságok termékszintű jövedelmezőségi viszonyait nem rendezte át. A klímahatás tovább differenciálta az ágazati eredményeket, miközben azt továbbra is elsősorban a terméshozam, a költséghatékonyság és a piaci feltételek határozták meg. Ez arra utal, hogy a módszer alkalmas lehet a környezeti szempontok fokozatos beépítésére a gazdasági értékelési és ösztönző rendszerekbe.

A bemutatott módszer a szójatermesztésen túl más növénytermesztési kultúrákra is adaptálható, amennyiben rendelkezésre állnak az adott kultúrára kidolgozott ÜHG-kibocsátás-számítási modellek és a szükséges üzemi adatok. A jövőben indokolt lehet a módszer kiterjesztése további növénytermesztési és állattenyésztési ágazatokra, valamint más környezeti externáliák – különösen a biodiverzitás, a vízhasználat és a levegőszennyezés – monetáris értékelésére. A vizsgálat ugyanakkor nem terjedt ki a talajban és a biomasszában megkötött szén figyelembevételére, ezért a bemutatott eredmények kizárólag a kibocsátási oldal gazdasági értékelését tükrözik.

Hosszabb távon a bemutatott megközelítés hozzájárulhat olyan agrárökonómiai értékelési rendszerek kialakításához, amelyekben a gazdasági teljesítmény és a klímahatás egyéges szempontrendszerben, összehasonlítható módon jelenik meg. Különösen időszerrévé teheti ezt a Fenntartható Mezőgazdasági Adatgyűjtési Hálózat (*Farm Sustainability Data Network – FSDN*) bevezetése, amely a korábbi FADN-rendszert kibővítve a gazdasági adatok mellett környezeti és társadalmi fenntarthatósági információk gyűjtésére is

kiterjed. Az így rendelkezésre álló adatok lehetőséget teremthetnek arra, hogy a környezeti externáliák monetáris értékelése a jövőben az agrárökonómiai elemzések, hatásvizsgálatok és döntéstámogatás szerves részévé váljon.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány az Európai Unió Horizont Európa kutatási és innovációs programjának támogatásával, a FOODCoST projekt (101060481 számú támogatási szerződés) keretében készült.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- Amadei, A. M., De Laurentiis, V., & Sala, S. (2021). A review of monetary valuation in life cycle assessment: State of the art and future needs. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129668. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129668>
- Arendt, R., Bachmann, T. M., Motoshita, M., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2020). Comparison of Different Monetization Methods in LCA: A Review. *Sustainability*, 12(24), 10493. <https://doi.org/10.3390/su122410493>
- Asdrubali, F., Baldinelli, G., D'Alessandro, F., & Scrucca, F. (2015). Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1113–1122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.082>
- Auberger, J., Ayari, N., Ceccaldi, M., Cornelus, M., & Geneste, C. (2022). *Agribalyse Change Report 3.0/3.1*.
- Bakosné Böröcz M., & Fogarassy C. (2011). A hazai húsmarhatartás környezeti értékelése és externáliáinak vizsgálat. *Gazdálkodás*, 55. évfolyam(2), 181–185.
- Blonk, H., van Paassen, M., Draijer, N., Tyszler, M., Braconi, N., & van Rijn, J. (2022). *Agri-footprint 6 Methodology Report*. Blonk Sustainability Tools.
- de Bruyn, S., Bijleveld, M., de Graaff, L., Schep, E., Schroten, A., Vergeer, R., & Ahdour, S. (2018). *Environmental Prices Handbook. EU28 version*. (18.7N54.125). CE Delft. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_7N54_Environmental_Prices_Handbook_EU28_version_Def_VS2020.pdf
- de Vries, J., de Bruyn, S., Boerdijk, S., Bijleveld, M., vander Giesen, C., Korteland, M., Odenhoven, N., van Santen, W., & Pápai, S. (2025). *Environmental Prices Handbook 2024: EU27 version. Methodical justification of key indicators used for the valuation of emissions and the environmental impact*. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2024/12/CE_Delft_230107_Environmental-Prices-Handbook-2024-EU-version_def_V1.1.pdf
- Edwards, R., O', C. A. P., Padella, M., Giuntoli, J., Koeble, R., Bulgheroni, C., Marelli, L., & Lonza, L. (2019). *Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation*. JRC Publications Repository. <https://doi.org/10.2760/69179>
- EPA. (2023). *EPA Report on the Social Cost of Greenhouse Gases: Estimates Incorporating Recent Scientific Advances*. U.S. Environmental Protection Agency. https://elaw.org/wp-content/uploads/2024/04/epa_scghg_2023_report_final-1.pdf
- European Commission. (2021). Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. In *OJ L* (Vol. 471). <http://data.europa.eu/eli/reco/2021/2279/oj>
- European Commission. (2022). *Commission Implementing Regulation (EU) 2022/996 of 14 June 2022 on rules to verify sustainability and greenhouse gas emissions saving criteria and low indirect land-use change-risk criteria (Text with EEA relevance)*. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2022/996/oj
- European Commission. (2025). *Commission Implementing Decision (EU) 2025/18 of 9 January 2025 recognising under Article 31(2) and (4) of Directive (EU) 2018/2001 that the report contains accurate data for the purposes of measuring the greenhouse gas emissions associated with the cultivation of wheat, maize, sunflower, soybean and rapeseed in Hungary*. http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2025/18/oj

- European Parliament and the Council. (2018). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance.)*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
- Galgani, P., Woltjer, G., de Adelhart Toorop, R., & de Groot Ruiz, A. (2021). *Valuation Framework for True Price Assessment of Agri-food Products*. <https://edepot.wur.nl/588067>
- Gyarmati, G. (2021). A mezőgazdasági szén-dioxid-kibocsátást befolyásoló legfőbb tényezők vizsgálata. *Gazdálkodás*, 65(6), 517–535. https://doi.org/10.53079/GAZDALKODAS.65.6.t.pp_517-535
- Hendriks, S., de Groot Ruiz, A., Acosta, M. H., Baumers, H., Galgani, P., Mason-D'Croz, D., Godde, C., Waha, K., Kanidou, D., von Braun, J., Benitez, M., Blanke, J., Caron, P., Fanzo, J., Greb, F., Haddad, L., Herforth, A., Jordaana, D., Masters, W., ... Watkins, M. (2023). The True Cost of Food: A Preliminary Assessment. In J. von Braun, K. Afsana, L. O. Fresco, & M. H. A. Hassan (Eds), *Science and Innovations for Food Systems Transformation* (pp. 581–601). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_32
- Hendriks, S., Ruiz, A. de G., Acosta, M. H., Baumers, H., Galgani, P., Mason-D'Croz, D., Godde, C., Waha, K., & Kanidou, D. (2021). *The True Cost and True Price of Food*.
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st edn). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kis-Kovács, G., Szabó, Á., Labancz, K., Horváth, K., Annus, N., Kálmán, K., Szilágyi, F., Somogyi, Z., Szakálas, J., Tobisch, T., Király, É., & Horváth, K. (2026). *National Inventory Document for 1985–2024 Hungary*. HungaroMet. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/HU_NID_2026.pdf
- Logatcheva, K., Baltussen, W., & Ruster, W. (2023). *True Cost Accounting (TCA): A methodology for making the global food system more sustainable*. <https://edepot.wur.nl/629345>
- Matthey, A., & Bünger, B. (2024). *Methodological Convention 3.2 for the Assessment of Environmental Costs*. German Environment Agency (UBA). (https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/methodological_convention_3_2_value_factors_bf.pdf).
- Michalke, A., Köhler, S., Messmann, L., Thorenz, A., Tuma, A., & Gaugler, T. (2023). True cost accounting of organic and conventional food production. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137134>
- Moolla, Z., McNamara, A., & Nicholls, S. (2014). *Connecting the IPCC Greenhouse Gas Inventory Guidelines with the Corporate Standard*.
- Mulya, K. S., Tan, J. P., Yeat, S. P., Yeat, C. N. C., Farooque, A. A., Zhou, S., & Woon, K. S. (2025). Toward carbon mitigation resiliency in the agriculture sector: An integrated LCA-GHG protocol-IPCC guidelines framework for biofertilizer application in paddy field. *Journal of Environmental Management*, 389, 126005. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126005>
- OECD. (2019). *Enhancing the Mitigation of Climate Change through Agriculture: Policies, Economic Consequences, and Trade-offs*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e9a79226-en>
- Ranganathan, J., Corbier, L., Bhatia, P., Schmitz, S., Gage, P., Oren, K., Dawson, B., Spannagle, M., McMahon, M., Boileau, P., Frederick, R., Vanderborght, B., Thomson, F., Kitamura, K., Woo, C. M., Pankhida, N., Miner, R., Segalen, L., Koch, J., ... Cook, E. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard*. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- Stein, L., Oebel, B., Michalke, A., & Gaugler, T. (2026). Towards a harmonized true cost accounting methodology: Evidence from a nationwide retailer campaign in Germany. *Environmental Challenges*, 22, 101427. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2026.101427>

- Tikász, I. E. (2024). ÜHG-jelentések az ESG és CSRD keretein belül. *Partnertájékoztató Hírlevél*, (XXIV. évf. 12. szám).
- Tóth, G., Hermann, T., Hengl, T., Makó, A., Kocsis, M., Tóth, B., & Berényi-Üveges, J. (2015). *Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonosság-térképei*. <https://doi.org/10.2788/673710>
- von Braun, J., & Hendriks, S. L. (2023). Full-cost accounting and redefining the cost of food: Implications for agricultural economics research. *Agricultural Economics*, 54(4), 451–454. <https://doi.org/10.1111/agec.12774>