



A kép illusztráció / Picture is for illustration only

Erdélyi Éva¹, Jakuschné Kocsis Tímea¹, Lovasné Avató Judit¹

Érkezett: 2019. március – Elfogadva: 2019. október

Az élelmiszeripari termékek környezeti hatásai és számszerűsítésük nehézségei

KULCSSZAVAK: Környezeti hatás, PAS 2070, ISO14067 szabvány, agrártermelés ökológiai lábnyoma

ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági termelés és az élelmiszeripar, valamint az élelmiszerek szállítása egyaránt szennyezik környezetünket. A környezetterhelés különböző vonatkozásai közül egyre nagyobb figyelmet kap az élelmiszeripar hozzájárulása az üvegházhatású gázok kibocsátásához, ezzel pedig a klímaváltozáshoz. A nemzetközi szakirodalomban igen sok tanulmány olvasható a növényi és állati eredetű termékek előállítása során kibocsátott gázok mennyiségének összehasonlításáról, vagy a különböző mezőgazdasági- és élelmiszeripari termékek előállítása során kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségének felméréséről. Ezeket a mennyiségeket szén-dioxid egyenértékben összesítve adhatjuk meg, a termék karbon-lábnyomának nevezzük, de a számításához használt módszerek nem egységesek. Használható a PAS 2070 iránymutatása, vagy az ISO14067 szabvány. Ezek a módszerek a termékek életciklus-elemzésén (LCA – Life Cycle Analysis) alapulnak, vagyis a termék előállítása, megtermelése során felhasznált erőforrások, felhasznált nyers- és alapanyagok, a csomagolóanyag-előállítás, a szállítás, valamint az energiafelhasználás számbavétele után megadják a termelési folyamatban keletkezett üvegházhatású gázok mennyiségét. Az élelmiszerek sokszor igen hosszú szállítási lánc végén jutnak el a vásárlókhoz. Figyelembe vehető a termék életciklusának azon része is, ami a hulladékká válást és a hulladékkezelést illeti. Ebben az esetben az életciklus-elemzés „bölcsőtől a bölcsőig” szemléletét követhetjük. Nehézséget jelent azonban a megfelelő adatok összegyűjtése a nyersanyagterkép összeállítása és a folyamatok feltérképezése során; dolgozatunkban ezt egy első hallásra egyszerűnek tűnő példán keresztül mutatjuk majd be. Külön nehézséget jelent, ha nem a pultokra kerülő élelmiszerek, hanem az éttermi fogyasztás során elfogyasztott kész élelmiszerek karbon-lábnyomát szeretnénk meghatározni. Fontos, hogy a folyamatok felmérése során felállítsuk azokat a határokat, amiken belül megbízható adatok alapján a teljes hatáslánc egy részének karbon-lábnyoma megbízhatóan kiszámítható.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az élelmiszeripari termelés környezetterhelő hatása vitathatatlan. A mezőgazdasági termelés és az élelmiszeripar, valamint az élelmiszerek szállítása mind-mind környezetszennyező hatásokról ismertek. A mezőgazdaság jelentős részben hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához, miközben elnyeli a szén-dioxidot, így a klímaváltozás

szempontjából szerepe ellentmondásos. Az agrártermékek karbon-lábnyom-meghatározása megfelelő eszköz az agrártermelés hatékonyságának és fenntarthatóságának mérésére [1]. *Al-Mansour és munkatársai* [1] egy modell segítségével összegzik egy-egy termék üvegházhatású gáz-kibocsátását a termelési folyamat kezdetétől a tároláson át addig, amíg a termék eljut az élelmiszeripar végső fogyasztójához. A környezetterhelés

¹ Budapesti Gazdasági Egyetem, Kereskedelmi Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar, Üzleti Elemzés Módszertan Tanszék

különböző vonatkozásai közül egyre nagyobb figyelmet kap az élelmiszeripar hozzájárulása az üvegházhatású gázok kibocsátásához ezzel pedig a klímaváltozáshoz. Az élelmiszeripar nagy üvegházgáz-kibocsátása miatt a kutatók figyelmének középpontjába került az élelmiszeripar karbon-lábnyoma [41]. A mezőgazdasági termelés a teljes üvegházhatású gáz-kibocsátás 35%-át adja [6]. A növekvő népesség élelmiszerellátása a környezeti externáliák csökkentése mellett kulcsfontosságú kérdés napjainkban a fenntarthatósággal kapcsolatos vitákban. A vizsgálatok arra utalnak, hogy az élelmiszer-fogyasztás meghatározó faktor egy olyan térség környezeti deficitje szempontjából, amelynek az erőforrás- és öko-szolgáltatás igénye meghaladja az ökoszisztéma határait. A vizsgált országok közül Portugália, Málta és Görögország esetében a legmagasabb az egy főre jutó ökológiai lábnyom nagysága, míg Szlovénia, Egyiptom és Izrael esetében a legalacsonyabb [12]. A fenntartható fogyasztás és termelés a megújult Európai Unió Fenntartható Fejlődési Stratégiájának szakpolitikai kulcsfontosságú célkitűzése. Ezek a célok túlnyomórészt termelési, és nem fogyasztási típusúak és az Európai Unió minden egyes tagállama esetében különbözők. Fontos megjegyezni, hogy a Nemzetközi Karbon-lábnyom Hálózat adatai alapján a fogyasztásból származó karbon-lábnyom napjainkra szinte minden Európai Unió tagállam esetében meghaladta a termelésből származó üvegházhatású gáz-kibocsátást [17].

Vergé és munkatársainak [34] vizsgálatai a kanadai sertéshús-ágazat karbon-lábnyomának számítására irányultak. A sertéshús előállítása Kelet-Kanadában technológiától és súlyozási módszertől függően 2,6 - 4,0 kg CO₂e egyenérték/kg termék, nyugaton 3,2 - 5,0 kg CO₂e egyenérték/kg termék. Számításaikban háromféle súlyozási módszert használtak:

1. Súlyozás nélküli számítás: ami a gazdaságokban folyó termelésen alapul;
2. Gazdasági súlyozás: ami a piackutatásokra épül;
3. Súlyozás a megtermelt tömeg szerint: ami a legjobban illeszkedik a fenntarthatósági vizsgálatokhoz.

Buratti és munkatársai [5] olaszországi példán keresztül vizsgálták a hagyományos- és az organikus marhahús-termelési rendszerek karbon-lábnyomát (hagyományos tartástechnológia alatt a vizsgált Közép- és Dél-Olaszországban jellemző nagyüzemi tartástechnológiát értik a szerzők). Az organikus termelési eljárásban egy kg élőtömeg előállításának karbon-lábnyoma 24,62 kg CO₂e egyenérték (a továbbiakban CO₂e), ezzel szemben a hagyományos technológiában előállított egy kg élőtömegé 18,21 kg CO₂e. A karbon-lábnyom számítása során a kibocsátott üvegházhatású gázok 50-54%-át az emésztőrendszeri fermentációból származó metán adta. Xu és Lan [39] Kínában végzett kutatásainak eredményei alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az állati eredetű élelmiszerek előállítása nagyobb karbon-lábnyommal bír, mint a növényi eredetű élelmiszereké. A marha- és bárányhús előállítása magasabb karbon-lábnyommal jár, mint más élelmiszereké, a legalacsonyabb karbon-lábnyomot pedig a retetektermesztés mutatta. A növényi élelmiszerek előállítása esetén a karbon-lábnyom nagy része a szántóföldi termelésből származott. A karbon-lábnyom összetétele az állati eredetű élelmiszerek esetében eltérő volt.

Az organikus úton előállított élelmiszereket gyakran tartják környezetkímélőbb termékeknek a hagyományos úton előállított termékekhez képest; Európán belül például Németországban gyorsan

1. táblázat. Különböző élelmiszeripari termékek karbon-lábnyoma Yue és munkatársai [40] számításai alapján.
Table 1. Carbon footprint of various food products as calculated by Yue et al. [40]

Termék Product	Karbon-lábnyom (kg CO ₂ e / kg előállított termék) Carbon footprint (kg CO ₂ e / kg of product manufactured)
Gyümölcsök Fruits	0.31
Hüvelyes növények Legumes	0.46
Gabonafélék Cereals	0.77
Olajos növények Oil plants	0.95
Tej Milk	1.47
Ipari növények Industrial plants	2.96
Tojás Egg	4.09

bővül a bio (organikus) termékek piaca. *Treu és munkatársai* [33] szerint a hagyományos és az organikus étrendhez kapcsolódó üvegházgáz-kibocsátás lényegében megegyezik, míg a földhasználathoz kapcsolódó üvegházgáz-kibocsátás kb. 40%-kal magasabb az organikus étrend esetében. A hagyományos étrend 45%-kal több húst tartalmaz, mint az organikus étrend, ami így 40%-kal több zöldséget és gyümölcsöt tartalmaz. A karbon-lábnyom domináns hányadát (70-75%) mindkét esetben az állati eredetű élelmiszerek előállítására és a földhasználat adta. *Yue és munkatársai* [40] – statisztikai adatok alapján – huszonhatféle gabona és hatféle haszonállatból készült termék karbon-lábnyomát vizsgálták Kínában. Az alábbi eredményekre jutottak (**1. táblázat**).

Yue és munkatársai [40] számításai szerint a növényi termékek karbon-lábnyomai közül az árasztásos rizstermesztés és a műtrágyahasználat okozta metánkibocsátás adta a lábnyom legnagyobb részét (36-93%). Az állattartás esetében a kibocsátás 96%-át a takarmányozás, az emésztőrendszeri fermentáció és a trágyakezelés adta. Vizsgálták az otthoni és az éttermi étkezés karbon-lábnyomát is: a házon kívüli étkezés lábnyoma 2,87 kg CO₂e/fő/étkezés volt, míg az otthoni étkezés esetében a karbon-lábnyom értéke 1,57 kg CO₂e/fő/étkezés [40]. Kínában *Jianyi és munkatársai* [15] vizsgálták 1979 és 2009 között tizenöt-féle élelmiszer karbon-lábnyomának alakulását. Eredményeik szerint a rizstermesztés karbon-lábnyoma nőtt a leginkább, de a növekvő termésmennyiségnek köszönhetően a tej, a marhahús, a gyümölcsök és a zöldségek esetében is gyors növekedés volt tapasztalható. Ezeknek a termékeknek a széndioxid-kibocsátást befolyásoló faktoraiban azonban általánosságban csökkenés tapasztalható.

Argentínában *Mujica és munkatársai* [21] meghatározták a méz karbon-lábnyomát: 2,5 ± 0,17 kg CO₂e/kg termék, amiből a legnagyobb részt a leválasztás (pergetés) adja.

Chiriaco és munkatársai [7] a teljes kiőrlésű kenyér példáján számolták a karbon-lábnyomot az életciklus-elemzés módszerét alkalmazva. Összehasonlították a termék esetében a bio- illetve a hagyományos termesztésből származó búzából készített teljes kiőrlésű kenyér karbon-lábnyomát. Az eredmények kimutatták, hogy a hagyományos termesztésű búzából készült korpás kenyér 1 kg-ja 24%-kal alacsonyabb kibocsátást indukál. A hagyományos termesztési technológiából származó búza felhasználásával készített kenyér karbon-lábnyoma 1,18 kg CO₂e/kg, míg a bio (organikus) termesztésből származó búzából készült kenyér esetében a mutató 1,55 kg CO₂e/kg volt. Amikor azonban a gabonatermesztéshez igénybe vett földterület egységére vonatkoztatva számolták a karbon-lábnyomot, akkor a bio-termesztés teljesítménye eredményesebbnek mutatkozott:

hektáronként 60%-kal volt alacsonyabb az üvegházgáz-kibocsátása, mint a hagyományos termesztési technológiának. Célszerű azonban figyelembe venni a bio-termesztés alacsonyabb hatásfokát és nagyobb területigényét. *Casolani és munkatársai* [6] az olaszországi durumbúza termesztése esetében a víz- és karbon-lábnyom alakulását vizsgálták 2011 és 2015 között. Vizsgálták ezeknek a mutatóknak az egymáshoz viszonyított arányát, ami alapján kiderült, hogy ez az arány az adriai térségben a legmagasabb. A karbon-lábnyom tekintetében az észak-olaszországi területek adták a legnagyobb értéket (2462 kg CO₂e/ha).

Scholz és munkatársai [26] a hulladékkeletkezés miatt kárba vesző kibocsátásokat számszerűsítette. Az élelmiszerhulladék nagy probléma a modern társadalmak számára és számottevő társadalmi, gazdasági és környezeti ráfordítást jelent. Az élelmiszer előállítása a teljes élelmiszerlánc során üvegházhatású gázok kibocsátásával jár, és az élelmiszerek hulladékká válása egyet jelent a hozzájuk kapcsolódó kibocsátás feleslegessé válásával. Ezért az élelmiszerhulladékok mennyiségének csökkentésével kapcsolatban egyetértés alakult ki a szakemberek között. Hat, svéd élelmiszeráruházban végzett felmérés alapján a keletkezett hulladék mennyiségének 85%-át a zöldség- és gyümölcsosztály adta, ami az elvesztegetett karbon-lábnyom 46%-át jelentette. A húsosztály a keletkezett hulladék 3,5%-át termelte, ami a kárba vesztett kibocsátás 29%-át adta [26].

Az élelmiszer-hulladékmennyiségének csökkentésére és a fenntartható élelmiszer-fogyasztási szokások kialakítására irányuló stratégiák kidolgozásához szükség van olyan információkra (klíma-, víz-, területhasználat), amelyek számszerűsítik a fogyasztási magatartás és a hulladékkeletkezés környezeti hatásait [29]. Az élelmiszeripari-hulladék keletkezése a legnagyobb probléma, mennyiségének csökkentése feltétlenül szükséges a fenntartható élelmiszer-láncok kialakításához [10]. *Eriksson és munkatársai* [10] harminc közétkeztetési konyhai egység megfigyelését végezték el Svédországban, és azt találták, hogy az élelmiszeripari-hulladék tált adagra vetített mértéke 75g, ami a kiadott élelmiszer mennyiségének 23%-a volt.

Az élelmiszerfogyasztás környezeti hatásait számszerűsítette *Vetőné Mózner Zsófia* [35] hazai példán keresztül az öko- és karbon-lábnyom módszerének felhasználásával. Vizsgálatai szerint a hús- és tejtermékek öko- illetve karbon-lábnyoma a legmagasabb. Kimutatta, hogy hazánkban a férfiak – étkezési szokásaik vizsgálata alapján – 13%-kal magasabb ökológiai lábnyommal rendelkeznek, mint a nők. *Csutora és Vetőné* [8] közös munkája rámutat, hogy az élelmiszerfogyasztás jelentős környezeti terheléssel jár, és a háztartások, valamint a bennük résztvevők megtakarításokra fordítható jövedelme nagy szerepet játszik abban, hogy milyen

típusú élelmiszert fogyasztanak. Elmondható, hogy minél magasabb a jövedelem, annál magasabb az élelmiszer-fogyasztás. Ugyanakkor a magasabb jövedelmű egyének nagyobb hajlandóságot mutatnak az egészségesebb táplálkozási szokások gyakorlata iránt, így mérsékeltebb a fogyasztásuk is. Ennek kapcsán célszerű lenne a fenntartható fogyasztással kapcsolatos kommunikáció segítségével a különböző társadalmi csoportok jövedelem alapján történő meghatározása. *Sommer és Kratena [28]* az Európai Unió 27 tagállama esetében makrogazdasági modellek segítségével számították ki a személyes fogyasztás karbon-lábnyomát, öt jövedelmi kategória szerint csoportosított háztartás-csoportra vetítve. Az eredményeik közül fontos megemlíteni, hogy a legfelső jövedelmi kategóriába sorolt háztartások a jövedelem 45%-át birtokolják, de a karbon-lábnyom 37%-áért felelősek, ezzel szemben a legalacsonyabb jövedelmű háztartások a jövedelem 6%-át birtokolva a karbon-lábnyom 8%-át adják. *Vetőné [36]* a tanulmányában rámutat arra, hogy a környezeti és a gazdasági elemzésekben a környezeti és az egészségügyi szempontokat együttesen kell figyelembe venni.

Az élelmiszer-fogyasztás közvetlen hatással van a fogyasztók egészségére és környezetére. *Benedek [3]* szerint a helyi élelmiszer – és ezzel összefüggésben a rövid élelmiszer-ellátási láncok – szerepe egyre nagyobb figyelmet kap mind a fogyasztói civil szervezetek, mind a különböző szintű döntéshozók körében. A konvencionális élelmiszeripar támasztotta sokféle problémára (pléldául élelmiszer-mérföld) megoldást jelenthetnek mind a fogyasztók, mind a termelők számára. A rövid élelmiszer-ellátási láncoknak Észak-Amerikában és Nyugat-Európában évtizedes hagyományai vannak, de hazánkban is egyre több ilyen szerkezetű kereskedelmi hálózat jön létre.

A vendéglátó-szektor nagy mérete és gazdasági jelentősége ellenére tudományos ismereteink hiányosak annak környezeti hatásairól [11]. Ugyanakkor a környezeti szempontból fenntartható élelmiszer-készítés és -fogyasztás iránti igény egyre nő. Általában véve két vendéglátási szolgáltatási módszer különíthető el. Az egyik esetben a főzés és a tálalás egy helyen történik, ekkor az élelmiszert – miután az elkészült – azonnal tálalják a fogyasztónak. A másik esetben viszont ezek a folyamatok elválnak egymástól, vagyis a főzés, az elkészítés és a fogyasztás térben és időben egyaránt elkülönül. *Fusi és munkatársai [11]* az elválasztott eljárás környezeti hatásait egy tipikus olasz élelmiszer, a tészta példáján keresztül vizsgálták. Két fő rendszertípusra fókuszáltak: főzés-melegen tartás és főzés-hűtés, ezen belül is külön vizsgálták a különböző főzési eljárásokat. Az eredmények alapján a tésztafőző berendezésben főtt tészta esetében az energiafelhasználás 60%-kal, míg a vízfelhasználás 38%-kal volt alacsonyabb a hagyományos (tűzhelyes) eljáráshoz képest. Az így elkészített tészta

környezeti hatása így összességében 34-66%-kal volt alacsonyabb. A környezeti hatás úgy is csökkenthető volt, hogy gázüzemű főző berendezést használtak az elektromos helyett. A főzés-hűtés rendszer környezeti hatása – főként a hűtési technológia energiaszüksége miatt – 17-96%-kal volt magasabb a főzés-melegen tartás rendszerénél.

Nem csak az élelmiszerek vagy az éttermi vendéglátás karbon-lábnyoma vizsgálható, de a szállodáké is. Példa erre *Liqin [18]* *Ji'nan* munkája, aki felső kategóriás szállodákban vizsgálta azok szokásos működése során vendéglátási tevékenységeik (termékeik) karbon-lábnyomát. Azt találta, hogy a vendéglátás termékeinek karbon lábnyomának 99%-a direkt üvegházgáz-kibocsátásból fakadt. Minél magasabb volt a szálloda kategóriája és különlegesebb a választéka, annál magasabb volt a karbon-lábnyoma. Bizonyos élelmiszerfélések nagyobb üvegházgáz-kibocsátással járnak, mint mások, így ezek megfelelő szervezése-rendezése a turizmusba ágyazva hozzájárulhat a klímaváltozást kiváltó hatások csökkentéséhez. *Gössling és munkatársainak [13]* tanulmánya különböző élelmiszerfélések karbon-intenzitását tekinti át, és azt tárgyalja, hogy az étkeztetéssel foglalkozók hogyan tudnák előnyösen megváltoztatni jelenlegi gyakorlatukat. Számos olyan fontos összefüggés figyelhető meg az élelmiszertermelés és a turizmus keretében megvalósuló élelmiszerfogyasztás között, ami meghatározó szerepet játszik a fenntarthatóságban. *Torres [32]* szerint a turizmussal kapcsolatos pénzköltés egyharmadát élelmiszerre fordítjuk. *Sel és munkatársai [27]* szerint egy fenntartható vendéglátási lánc kidolgozásához nagyban hozzájárulhat az erőforrások folyamatból való kiszervezése, a megfelelően képzett munkaerő alkalmazása és a folyamatszabályozás hatékonysága miatt növekvő kapacitások kezelése.

A KARBON LÁBNYOM SZÁMÍTÁSÁNAK MÓDSZEREI

A karbon-lábnyom egy környezeti fenntarthatósági indikátor, amely a termék életciklusa során kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségét számszerűsíti [21]. Manapság a fenntartható termelés magában foglalja a források ésszerű felhasználását és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére irányuló kötelezettség teljesítését. A karbon-lábnyom lényegében a termékek és tevékenységek életciklusa során keletkezett üvegházhatású gáz-kibocsátásának mennyiségét jelenti [23]. *Wiedmann és Minx [37]* megfogalmazásában a karbon-lábnyom az ökológiai lábnyom része, amely valamilyen jellegű tevékenység, személy, területegység stb. által közvetlenül vagy közvetett módon a levegőbe jutott CO₂ összes mennyiségét méri, illetve azt a területegységet, amely ezen CO₂ mennyiség semlegesítéséhez szükséges [2]. Ez a megközelítés az ökológiai lábnyom számításához tartozik. A szervezeti karbon-lábnyom – vagy egy termék karbon-lábnyomához kapcsolódó – számítások

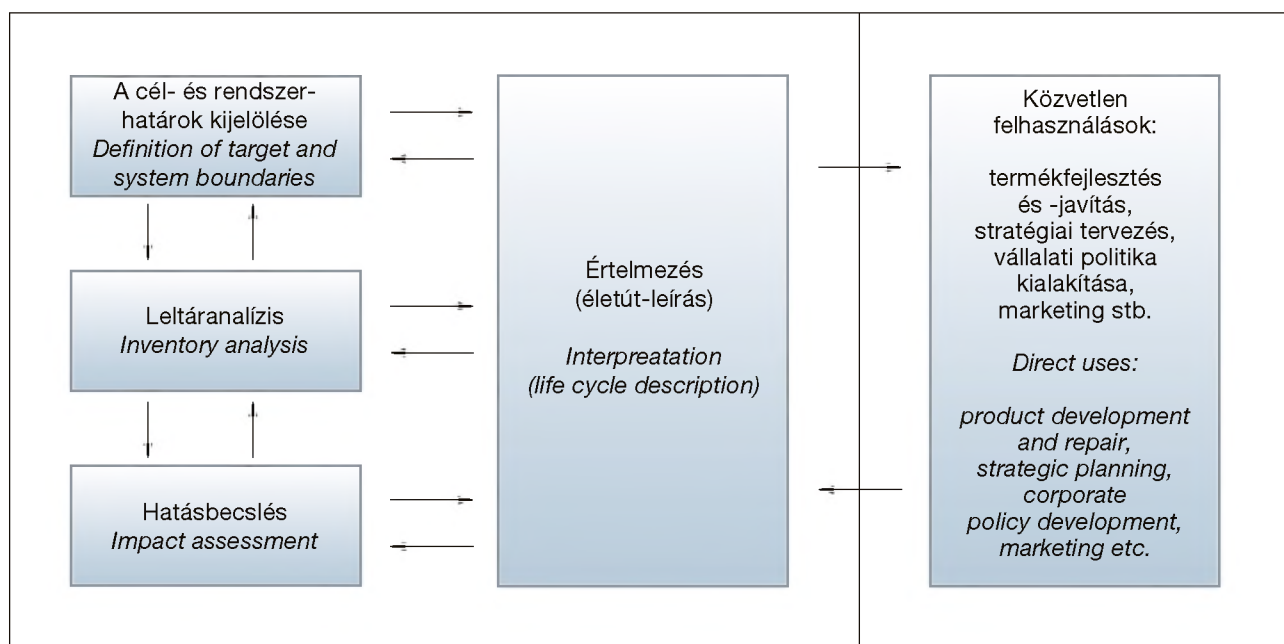
alapja az életciklus-elemzés, valamint a kibocsátás számszerűsítése valamilyen egységre vonatkoztatva (pléldául élelmiszeripari termék esetében kg késztermék).

A karbon-lábnym számításához használt módszerek nem egységesek. Használható a PAS 2070 iránymutatása, vagy az ISO14067 szabvány. A nemzetközi szabvány irányelveket, követelményeket és útmutatást határoz meg a termékek karbon lábnyomának számításához/felméréséhez és kommunikálásához. Az ISO 14067 szabvány alapja az életciklus elemzést, az öko-címkézést és a környezeti jelentések készítését szolgáló szabványok (ISO 14040, 14044, 14020, 14024, 14025) [14]. A Nemzetközi Szabványügyi Testület (ISO) szabványainak alkalmazása önkéntes jellegű. A szabványok iránymutatást adnak a szabvány szerinti minősítés elérésének feltételeit illetően. Az ISO szabványok elvi alapja a folyamatos fejlődést szolgáló PDCA ciklus, amelynek lényegét Kósi és Valkó mutatja be [16]. Az említett karbon-lábnym számítási módszerek a termékek életciklus-elemzésén (Life Cycle Assessment - LCA) alapulnak, vagyis a termék előállítása és megtermelése során felhasznált erőforrások, nyers- és alapanyagok, valamint energia számbavétele után megadják a termelési folyamatban keletkezett üvegházhatású gázok mennyiségét. (Az LCA folyamatát az **1. ábra** szemlélteti.)

A környezettudatos vállalati menedzsment gyorsan fejlődő területéről, vagyis a karbon-leltár és a karbon-lábnym számításának módszertanáról *Schaltegger és Csutora* [25] tanulmánya ad átfogó képet. Karbon-leltár készítésével és az elszámolás módszertanával foglalkozó irodalmi összefoglalót *Stechemesser és Guenther* [30] tanulmányaiban olvashatunk. *Vergé*

és *munkatársai* [34] arra hívják fel a figyelmet, hogy az emberi tevékenység környezeti hatásainak becsléséhez használt számítási módszerek megválasztása alapos körültekintést igényel, hiszen módosíthatja az ilyen jellegű vizsgálatok eredményét. *Vergé et al.* [34] vizsgálataiban az életciklus-elemzés módszertanát alkalmazza a kanadai sertéshús-ágazat karbon lábnyomának számítására, ami napjainkban nagyon elterjedt módszer a környezeti teljesítmény értékelésére. Fontos még az alkalmazott súlyozási módszer, ami hatással van a számítási eredményekre és az abból levonható következtetésekre is. Az ökológiai lábnyom számításának része a karbon-lábnym komponens, ami figyelembe veszi az adott terület erdeinek átlagos szén-megkötő képességét. Ennek a részszámításnak a finomítására tesznek javaslatot *Mancini és munkatársai* [20]. Fontos felhívni a figyelmet arra a tényre, hogy az ökolábnyom karbon-komponensének számítása és a termék karbon-lábnymának számítása módszertani szempontból egyaránt eltér.

A karbon-lábnym számítása esetén lehetőség van a megfigyelt folyamatok kiterjesztésére is. Ebben az esetben nem csak a késztermék előállításáig vizsgáljuk a kibocsátásokat, hanem azt is figyelembe vesszük, hogy az milyen úton jut el az a fogyasztóhoz. Az élelmiszerek sokszor igen hosszú szállítási lánc végén kerülnek a vásárlókhoz. Szükséges figyelembe venni a termék életciklusának hulladékká válásra, illetve hulladékkezelésre vonatkozó részét is. Ebben az esetben az életciklus-elemzés „bölcsőtől a bölcsőig”-szemléletét követhetjük. A folyamatok feltérképezése során nagy nehézséget jelent a megfelelő adatok összegyűjtése, valamint ha nem a pultokra kerülő élelmiszerek karbon-lábnymát, hanem az éttermi fogyasztás során elfogyasztott kész élelmiszerek karbon-lábnymát



1. ábra. Az életciklus-analízis (LCA) logikai folyamata [31]
Figure 1. The logical process of life cycle analysis (LCA) [31]

határozzuk meg. Az életciklus-elemzésen alapuló karbon-lábnyom számítási módszert alkalmazva a főtt rizs hűtésének karbon-lábnyomát a folyamat egy részének elhatárolásával Zhou és munkatársai becsülték meg [41]. A karbon-lábnyom legfőbb összetevője a hűtéshez használt elektromos áram-fogyasztás [41]. Xu et al. [39] szerint az életciklusnak számos élelmiszer esetében meghatározó része a főzéshez kapcsolódó energia-felhasználás. A főzési módszer, az energiaforrás és a főzési eszközök környezetbarát megválasztása csökkenti a főtt termék egységre vonatkoztatott karbon-lábnyomát. A főzőeszköz megfelelő használata is csökkenti a kibocsátást, valamint a felhasznált hő egységére vonatkoztatott szennyezést. Ezen túl a megfelelő előkezelés és újrahasznosítás növelheti a főzési hulladék kezelésének környezeti hatásait.

A folyamatok felmérése során fontos, hogy kijelöljük azokat a határokat, amelyekben belül megbízható adatok alapján a teljes hatáslánc egy részének karbon-lábnyoma megbízhatóan számítható. Blanco és munkatársai [4] módszertani javaslatot adnak arra, milyen módszerrel tudják a cégek az ellátási lánc karbon-lábnyomát mérni. Santeramo munkatársaival [24] összefoglalja az élelmiszerláncban érintett szektorok napjainkban tapasztalható növekvő tendenciáit az Európai Unió területére vonatkozóan. Fontos kérdés az élelmiszeripari termékek szállítása, amire Lopez munkacsoportja [19] a karbon-lábnyom számítása során hívja fel a figyelmet az élelmiszer-mérföldek kibocsátásának a figyelembevételével.

A KARBON-LÁBNYOM SZÁMÍTÁSÁNAK ESETTANULMÁNYUNKBAN ALKALMAZOTT MÓDSZERTANA [22]

A szénlábnyom-számítás egyfajta lánc-analízis, amelynek segítségével kimutatható azon üvegházhatású gázok mennyisége, amelyek egy termék előállítása során keletkeznek. Ez a módszer a nyersanyag megtermelésétől a szállításon át az eladásig nyomon követi a termék által kibocsátott széndioxidot (illetve az arra átszámolt egyéb káros kibocsátott anyag) mennyiségét, de nem számol a termék használata közben már a vevőnél keletkező emisszióval. A szén-lábnyom számítás lehetővé teszi a vállalkozások számára, hogy a szénlábnyomot mint önálló terméket kezeljék. Nagyságának számszerű feltüntetésével a különböző termékeken biztosítaná a vásárlóknak a környezettudatos választás lehetőségét.

A módszertan öt fő lépést foglal magában, ahol minden egyes lépés szorosan ráépül az egyelőre korábbira, és természetesen több részszámításon alapszik.

1. lépés: A termék „belső életének” analízise

A termék, illetve a gyártásifolyamat alapos, minden részletre kiterjedő vizsgálatát jelenti. Magában foglalja a nyersanyag-előállítás, a gyártás, a

tárolás, a szállítás és a hulladékgazdálkodás teljes folyamatának ismeretét.

2. lépés: Nyersanyag-térkép készítése

Az összes nyersanyag (amelyekből az adott termék összeáll) útjának nyomon követését jelenti. Nyersanyag-térképet összeállíthatunk a termékek egészen a boltok polcára történő kihelyezéséig. A késztermék „output” előállítása történhet egy vagy akár több alapanyagból is. Ezen alapanyagok mindegyike egyenként komplex analízisre szorul, a nyersanyag-előállítástól kezdve a tároláson át egész a szállításig.

3. lépés: Kezelhető adatbázis létrehozása

Ahhoz, hogy a módszertan megalapozott, praktikus és könnyen kezelhető legyen, korlátozni kell a bevitt adatok számát. Ha minden egyes termék esetén 100%-os adatbevitellel dolgoznánk, akkor az adatok kezelhetetlenné válnának és a vizsgálat extrém költségeket vonna maga után. A vizsgálat jelenleg a termék nyersanyagainak 90%-os analízisét teszi lehetővé. Mindez a jövőben a módszertan továbbfejlesztésének segítségével felülbíráható.

Létfontosságú továbbá meghúzni azt a határt, ahol a vizsgálat megáll. Ez a határ lehet például az a pont, amikor a nyersanyag késztermékké alakul, vagy amikor a késztermék olyan állapotba kerül, hogy már nem bocsát ki széndioxidot.

4. lépés: Elsődleges és másodlagos adatok összegyűjtése

Azoknak az adatoknak az összegyűjtését jelenti, amelyek az anyag-egyensúly meghatározásához és az üvegházhatású gázkibocsátás mértékének kiszámításához szükségesek. A számítás során célszerű előnyben részesíteni az elsődleges forrásokat, amennyiben azonban az elsődleges források adatai nem elérhetők, úgy másodlagos források is figyelembe vehetők.

5. lépés: Az üvegházhatású gázok mértékének kiszámítása a nyersanyag-térkép alapján

Befejező lépésként az eljárás minden eleme esetében fontos a termék anyagmérlegének a kiszámítása. Ennek a kalkulációnak a segítségével megbecsülhető az üvegházhatású gázkibocsátás mértéke is. Az emisszió mennyiségét – szén-ekvivalenssé konvertált emissziós együtthatót használva – a direkt- és az energiakibocsátás figyelembevételével határozzuk meg.

A szénlábnyom-számítás kérdéskörét egy bonyolult ok-okozati kapcsolatrendszer, az úgynevezett

hatáslánc szövi át. Figyelembe kell venni az indikátorrendszer egyes elemeit, a másodlagos indikátorokat, valamint azt, hogy mely értékek milyen mértékben befolyásolják a szénlábnym nagyságát. A számítást – az általános alapelveket és lépéseket követve – termék-specifikusan kell elvégezni. Célszerű először termékcsoportokra pontosítani, ezen belül pedig a kalkuláció az egyes termékre specializáltan is elvégezhető.

Annak nyomán követésére, hogy az egyes elemek értékeinek megváltoztatásával milyen mértékben változik meg a mérőszám, érzékenység-vizsgálat is végezhető. Annak megállapítására, hogy a termelési folyamat feltárt lépéseiben mennyire kell, illetve lehet beavatkozni, indokoltá válhat további összehasonlító vizsgálatok elvégzése. Fel kell mérni a folyamat során előtérbe kerülő társadalmi-gazdasági szempontokat is. Vizsgálhatók a mutatók időbeli változásai, a termesztési technológia és a gyártási folyamatok fejlesztése, a csomagolási mód megváltoztatása, valamint a hatékonyabb hulladékgazdálkodás következményei is. Nem elhanyagolható az sem, hogy a folyamatok elemzésénél megállapítsuk, mely mutatók mérhetők és melyek nem (utóbbiak például azért, mert részét képezik a „titkos” gyártási technológiának, szabadalomnak).

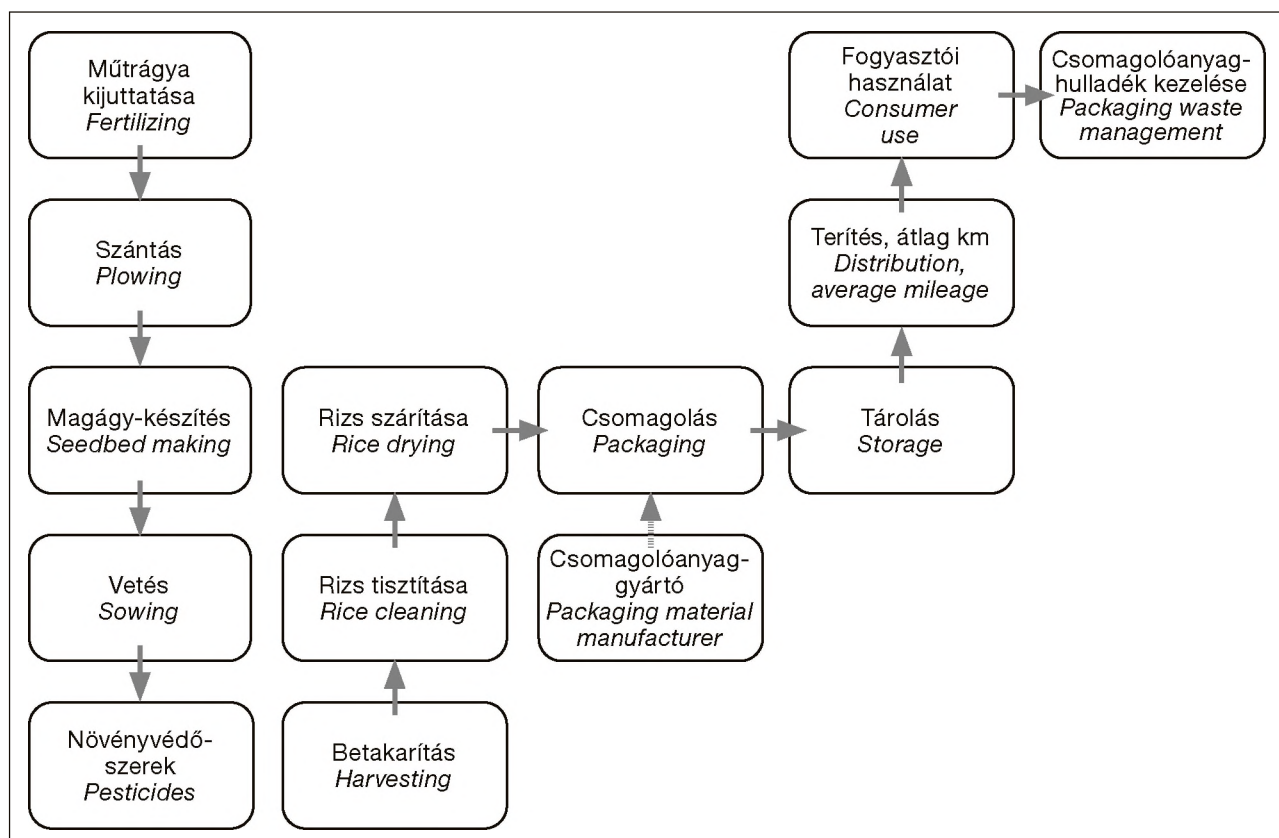
ESETANULMÁNY EGY MINTATERMÉKRE (RIZS)

A rizsről készült esettanulmányunk adatait szolgáltató fehér, hosszűszemű rizs termesztése

és feldolgozása területre koncentráltan történik. A természetéstechnológia részleteire vonatkozó információk alapja a szarvasi technológiai gyakorlat. A természetéstechnológia esetében összehasonlítottuk a szántóföldi rizstermesztés és a vízben termesztés karbon-lábnymát, amit a szakértői becslések alapján számítottunk. A szénlábnym-számítás főbb lépései: az összetevők meghatározása, a technológia lépéseinek részletes elemzése, a „terméktáblázat” elkészítése, a nyersanyag-térkép felépítése (figyelembe véve az előkészítési, technológiai, szállítási lépéseket, a kereskedelem szerepét, és az ún. életciklus végét) [9]. A rizstermesztés nyersanyag-térképét a **2. ábra** mutatja be.

A rizs szénlábnymának alakulását és megoszlását az egyes fázisok között szántóföldön termesztés esetén a **3. ábrán**, vízben termesztés esetén a **4. ábrán** mutatjuk be.

Vízben termesztés esetén a következő eredményeket kaptuk: Az 1 tonna rizsre jutó szénlábnym mennyisége 537,3 kg volt, ami a szántóföldi termesztéshez képest jelentősen alacsonyabb [9]. 170,8 kg-mal kevesebb a rizs szénlábnyma vízben termesztés esetén a szántóföldi termesztési technológiához képest. Ha a technológia csupán termesztésre eső részét vizsgáljuk, akkor vízben termesztés esetén a szénlábnym nagysága 100,5 kg volt, ami 172,5 kg-mal kevesebb, mint szántóföldi termesztés esetén. Ha a százalékos arányokat



2. ábra. A rizs nyersanyag-térképe a szántóföldi és vízben termesztés esetén [22, 9]
Figure 2. Raw material map of rice for arable land and aquatic cultivation [22, 9]

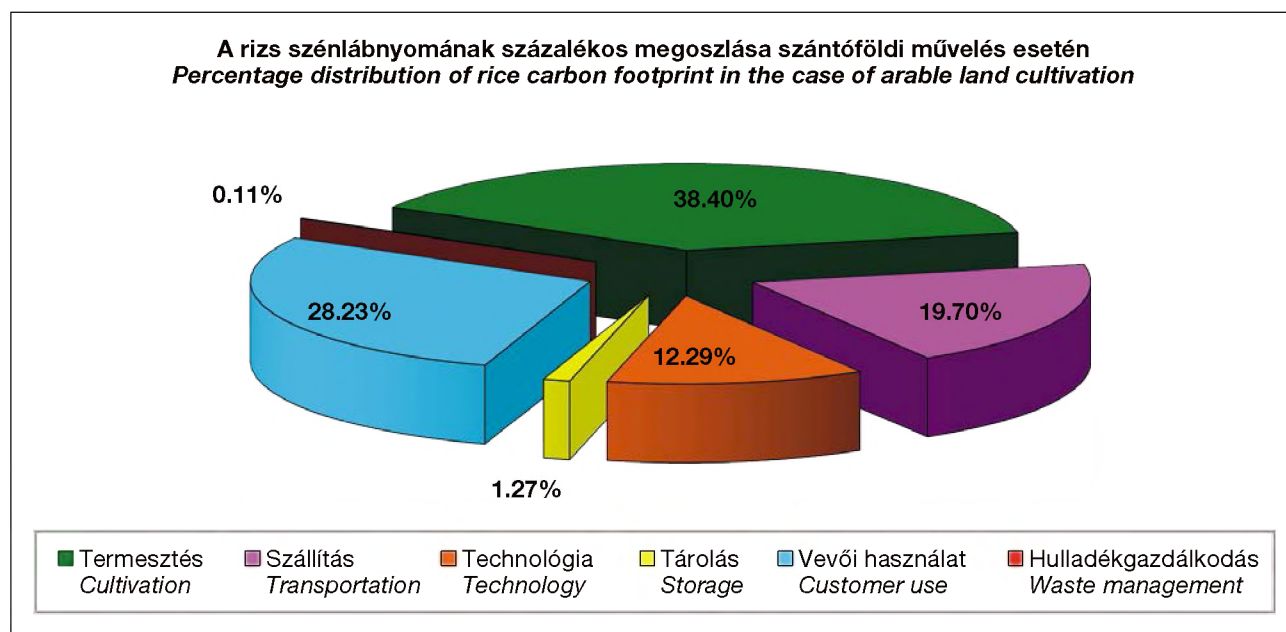
nézzük vízben termesztés esetén, akkor a termesztés környezetterhelése 18,89 %-ot mutat, szemben a szárazföldi termesztéskor előforduló 38,40 %-kal.

A különböző termesztési technológiákból származó kiskereskedelmi termék karbon-lábnyomának megoszlását a különböző folyamatok között az **5. ábrán** hasonlítjuk össze.

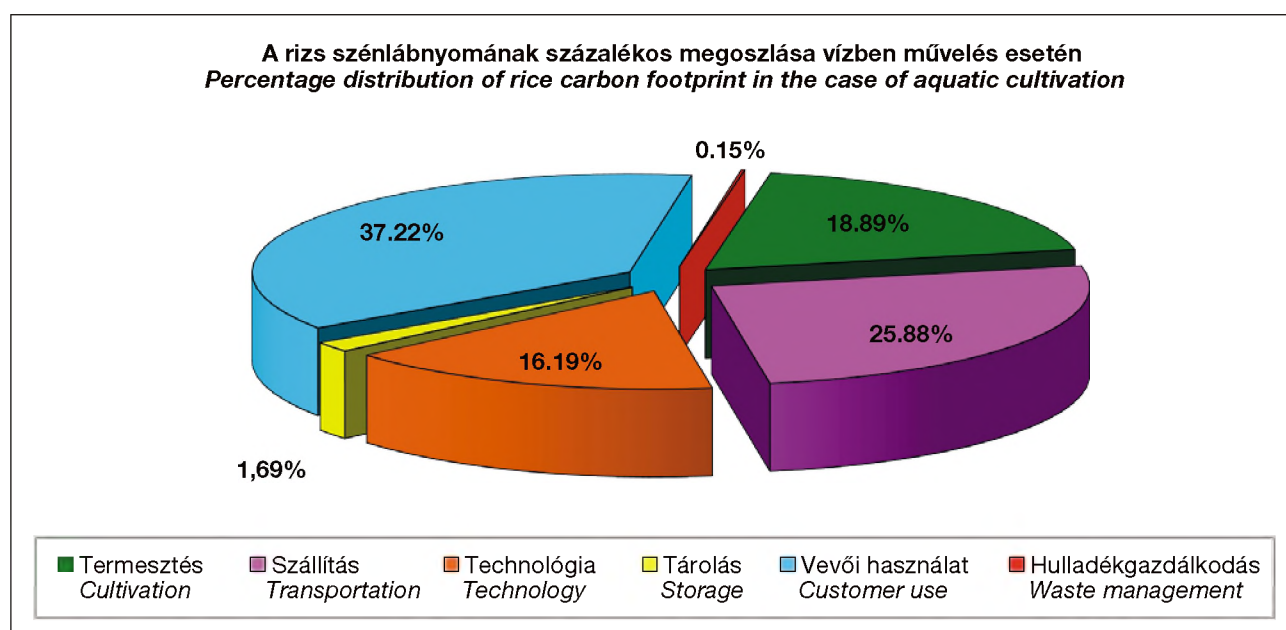
Felhasználás tekintetében mintatermékként szintén a rizst választottuk, és az otthoni elkészítés, főzés karbon-lábnyomát vizsgáltuk különböző feltételek mellett. A mintatermékként alkalmazott rizs egy hazai gyártó barnarizs terméke volt. A gyártók termékeiken

gyakran feltűntetik az elkészítési javaslatot. Az egyes termékek elkészítésére vonatkozó receptek sokszor jelentősen eltérhetnek egymástól. Azzal, hogy a gyártó egyfajta termék-innovációt végrehajtva termékén a lehető legkisebb szén-dioxid kibocsátással járó receptet tünteti fel, csökkentheti termékének szénlábnyomát. Egy négytagú család egyszeri étkezéséhez elegendő 25 dkg barna rizs elkészítésekor felszabaduló széndioxid mennyiségét négy esetben határoztuk meg. Az eredményeket a **6. ábrán** mutatjuk be.

A barna rizst általában néhány órás áztatás után elektromos tűzhelyen, más esetben gáztűzhelyen



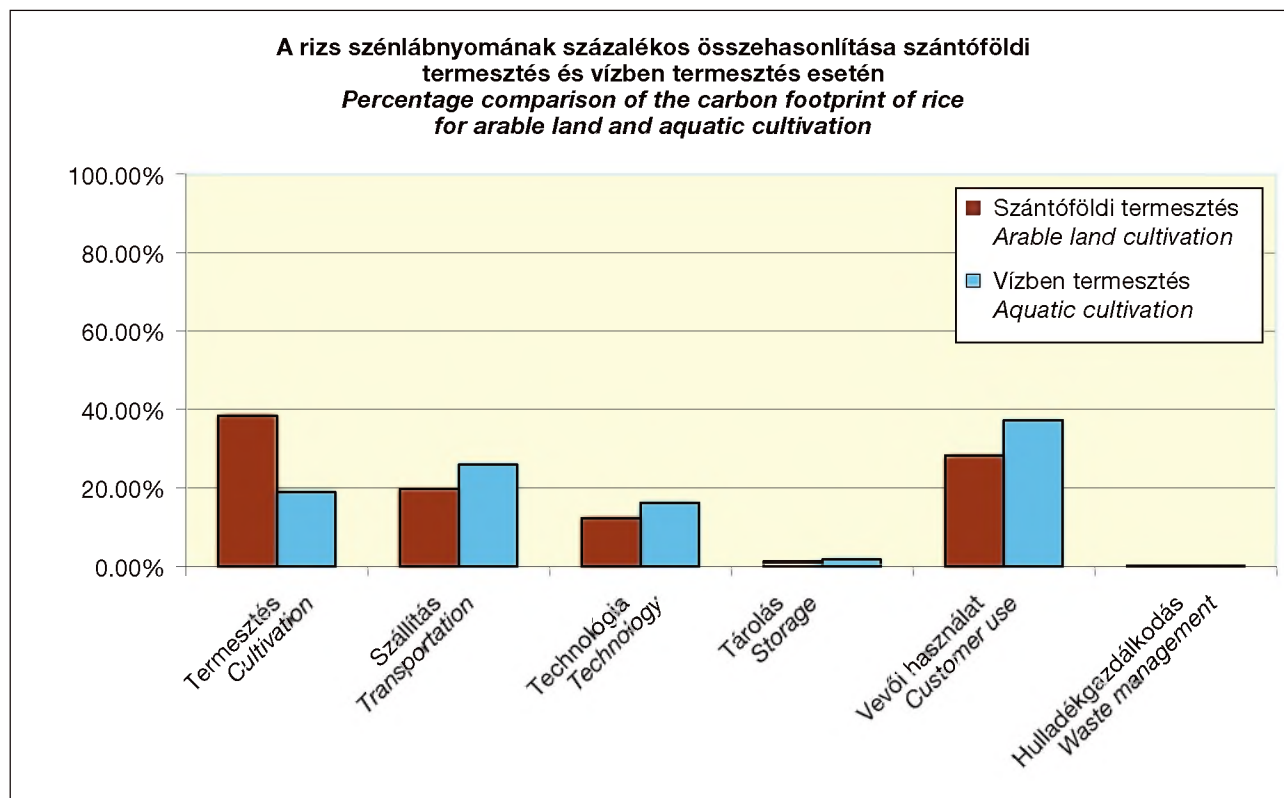
3. ábra. A rizs szénlábnyomának százalékos megoszlása szántóföldi művelés esetén [22]
Figure 3. Percentage distribution of rice carbon footprint in the case of arable land cultivation [22]



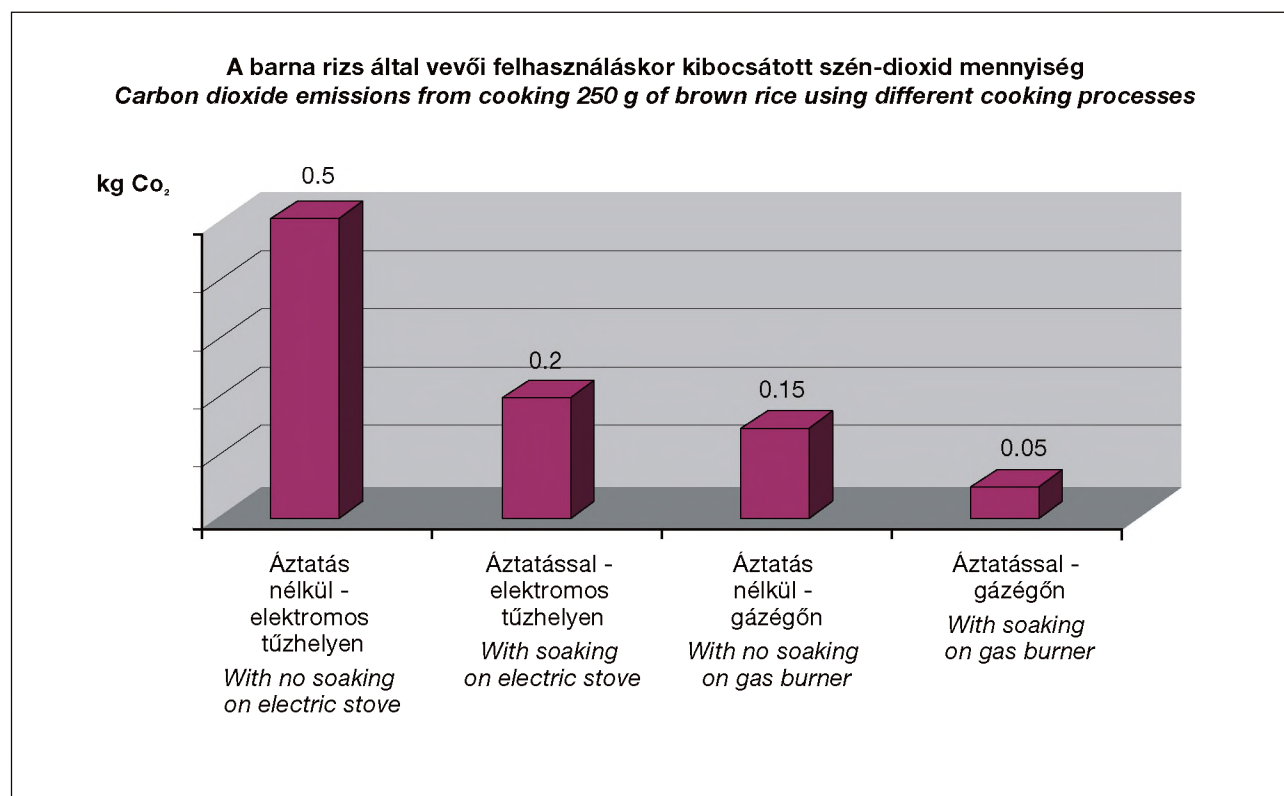
4. ábra. A rizs szénlábnyomának százalékos megoszlása vízben művelés esetén [22]
Figure 4. Percentage distribution of rice carbon footprint in the case of aquatic cultivation [22]

kezdik főzni. (Főzés előtt az áztatás akár el is hagyható.) Vizsgálatunk során a rizst gáztűzhelyen és elektromos tűzhelyen, áztatva, illetve áztatás nélkül főztük. Az áztatás időtartama 1 óra volt, aminek a

végén az áztatáshoz használt vizet eltávolítottuk, így az hulladékká vált. Az áztatás hatására a főzési idő lerövidült, így a főzés során felhasznált energiamennyiség csökkent.



5. ábra. A rizs szénlábnomának százalékos összehasonlítása szántóföldi termesztés és vízben termesztés esetén [22]
 Figure 5. Percentage comparison of the carbon footprint of rice for arable land and aquatic cultivation [22]



6. ábra. 25 dkg barna rizs főzése során keletkező szén-dioxid-kibocsátás eltérő főzési eljárások mellett [22]
 Figure 6. Carbon dioxide emissions from cooking 250 g of brown rice using different cooking processes [22]

Az alábbi konkrét eredmények alapján 1 kg késztermékre meg tudjuk adni az adott típusú barna rizs karbon-lábnyomát:

- I. Gáztűzhelyen – A gázégő átlagos teljesítménye 1 kW – gyártó adatai alapján
 - a) Áztatás nélkül az elkészítéshez átlagosan 45 perc szükséges – receptek alapján, a kibocsátás: 0,6 kg CO₂e / kg főtt barna rizs
 - b) Áztatással az elkészítéshez átlagosan 15 perc szükséges – receptek alapján, a kibocsátás: 0,2 kg CO₂e / kg főtt barna rizs
- II. Elektromos tűzhelyen – Az elektromos főzőlap átlagos teljesítménye 1,2 kW – a gyártó adatai alapján
 - a) Áztatás nélkül az elkészítéshez átlagosan 50 perc szükséges – receptek alapján, a kibocsátás: 2 kg CO₂e / kg főtt barna rizs
 - b) Áztatással az elkészítéshez átlagosan 20 perc szükséges – receptek alapján, a kibocsátás: 0,8 kg CO₂e / kg főtt barna rizs

Egy kg barna rizsre átszámítva és a rizs szénlábnyom-összetevőinek arányait vizsgálva az tapasztalható, hogy áztatás nélkül, elektromos tűzhelyen készítve a vevői felhasználás messze nagyobb arányban járul hozzá a rizs szénlábnyomának nagyságához, mint az áztatással gázégőn történő elkészítés.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Budapesti Gazdasági Egyetem Kereskedelmi-, Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar Fenntartható Vendéglátás Kiválósági Központjának támogatásával valósult meg.