

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Tegzes Szabina Kitti**

**Gödöllő  
2025**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet**

**Környezetgazdálkodási agrármérnöki mesterképzési  
szak**

Életciklus elemzés (LCA) adta lehetőségek vizsgálata az  
akvakultúra szektorban.

**Belső konzulens:** Dr. Lefler Kinga Katalin  
tudományos munkatárs

**Belső konzulens  
intézete/tanszéke:** Akvakultúra és  
Környezetbiztonsági Intézet

**Külső konzulens:** Dr. Urbányi Béla  
osztályvezető, az MTA  
levelező tagja, egyetemi tanár

**Készítette:** Tegzes Szabina Kitti  
YAW8UE  
Nappali

**Gödöllő**

**2025**

# Tartalomjegyzék

I.	Bevezetés.....	3
II.	Szakirodalmi áttekintés .....	5
2.1.	Az életciklus-elemzés (LCA) elméleti háttere .....	5
2.1.1.	Az LCA fogalma és célja .....	5
2.1.2.	Az LCA történeti fejlődése és szabványai .....	6
2.1.3.	Az LCA fő lépései és módszertana .....	7
2.2.	Az LCA szerepe a fenntartható élelmiszertermelésben .....	10
2.2.1.	Az élelmiszeripar környezeti lábnyoma és az LCA jelentősége .....	10
2.2.2.	Az LCA alkalmazása a mezőgazdaságban és az állattenyésztésben.....	11
2.3.	Az akvakultúra és fenntarthatóság kapcsolata .....	13
2.3.1.	Az akvakultúra jelentősége a globális élelmiszer-termelésben.....	13
2.3.2.	Az akvakultúra fenntarthatósági kihívásai .....	13
2.3.3.	Fenntartható akvakultúra-rendszerek .....	15
2.4.	Az LCA alkalmazása az akvakultúrában.....	16
2.4.1.	Az LCA szerepe az akvakultúrában .....	16
2.4.2.	Példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában.....	17
2.5.	Alternatív takarmányok LCA szemszögből .....	18
2.5.1.	Az EU termék környezeti lábnyoma (PEF) és az akvakultúra.....	19
2.5.2.	Külföldön alkalmazott LCA gyakorlatok az akvakultúrában .....	21
2.5.3.	Az LCA alkalmazása Európában .....	21
2.5.4.	Észak-Amerikai példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában .....	22
2.5.5.	Ázsiai példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában.....	23
2.5.6.	Főbb tanulságok és alkalmazható megoldások Magyarország számára .....	24
2.6.	A magyar akvakultúra és az LCA kapcsolata .....	25
2.6.1.	A magyar akvakultúra helyzete és jellemzői.....	25

2.6.2.	Fenntarthatósági kihívások a magyar haltermelésben.....	26
2.6.3.	Hogyan segíthet az LCA a magyar halgazdaságok fenntarthatóságában?.....	27
III.	Anyag és módszer .....	28
IV.	Eredmények és értékelésük .....	33
4.1.	Az LCA módszertan ismertsége és megítélése a magyar haltermelésben .....	33
4.1.1.	A vállalkozások fő profilja .....	33
4.1.2.	Hallott már az életciklus-elemzésről (LCA)?.....	34
4.1.3.	Ön szerint a haltermelés során fontos lehet az életciklus-elemzés?.....	35
4.1.4.	Ha ismeri az LCA-t, milyen forrásból hallott róla?.....	37
4.1.5.	Összegzés .....	38
4.2.	Az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazásának gyakorlata.....	39
4.2.1.	Alkalmazott már LCA-t vagy más környezeti hatásvizsgálatot a gazdaságában? 39	
4.2.2.	Ha lenne egy egyszerű, ingyenes LCA útmutató vagy szoftver, amely segítene az elemzésben, használná? .....	40
4.2.3.	Összegzés .....	41
4.3.	Fenntartható takarmányozási gyakorlatok a magyar halgazdaságokban .....	42
4.3.1.	Milyen szempontok alapján választja ki a halak takarmányát? .....	42
4.3.2.	Hallott már alternatív takarmány-alapanyagokról, mint például rovarfehérje vagy melléktermék-alapú takarmány?.....	43
4.3.3.	Összegzés .....	44
4.4.	Melléktermékek kezelése és újrahasznosítása.....	45
4.4.1.	Alkalmaz-e valamilyen fenntartható megoldást a gazdaságban?.....	45
4.5.	Az LCA alkalmazásának és a fenntarthatósági intézkedéseknek az akadályai.....	46
4.5.1.	Ha még nem alkalmazott LCA-t, mi az oka ennek?.....	46
4.5.2.	Ha lehetősége lenne egy egyszerű, gazdaságra szabott LCA-elemzésre, érdekelne?.....	47

4.5.3.	Menyire tartja fontosnak a fenntarthatóságot a saját gazdasága szempontjából? 48
4.5.4.	Mi lenne a legnagyobb akadálya annak, hogy bevezesse az LCA-t a gazdaságában?..... 49
4.5.5.	Összegzés ..... 50
V.	Következtetések és javaslatok..... 51
VI.	Összefoglalás..... 53
VII.	Köszönetnyilvánítás ..... 54
VIII.	Irodalomjegyzék..... 55

# I. Bevezetés

A globális népesség növekedése és a fenntartható élelmiszertermelés iránti igény egyre nagyobb nyomást gyakorol a rendelkezésre álló természeti erőforrásokra. Az akvakultúra, mint az egyik leggyorsabban növekvő élelmiszertermelési szektor, számos lehetőséget kínál az édesvízi és tengeri ökoszisztémák fenntartható hasznosítására, ugyanakkor jelentős környezeti hatásokkal is járhat (Hancz 2024). Az intenzív haltermeléshez szükséges takarmány előállítás, a termelés energiafelhasználása, a vízminőségre gyakorolt hatások és a keletkező melléktermékek kezelése mind olyan tényezők, amelyeket az életciklus-elemzés segítségével részletesen vizsgálhatunk.

Az életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment - LCA) egy olyan módszertan, amely egy termék vagy szolgáltatás teljes életciklusa során fellépő környezeti hatásokat vizsgálja. Az LCA célja, hogy átfogó képet nyújtson az erőforrás-felhasználásról, a kibocsátásokról és a környezetre gyakorolt hatásokról az egyes folyamatok összekapcsolásával, a nyersanyag-kitermeléstől kezdve a gyártáson és felhasználáson át egészen a hulladékkezelésig vagy újrahasznosításig (Guinée et al. 2002, Htp1). Az LCA alkalmazása különösen fontos az olyan ágazatokban, ahol a fenntarthatósági szempontok kiemelt szerepet játszanak, így az élelmiszertermelés és az akvakultúra területén is (Iribarren et al. 2010a).

Az LCA módszertanának alkalmazása az akvakultúrában lehetővé teszi a termelési folyamatok optimalizálását, a fenntarthatóbb takarmányösszetevők kiválasztását, valamint a körforgásos gazdaság elveinek beépítését a szektor működésébe (Hancz 2024). A melléktermékek hatékony újrahasznosítása, például halászati melléktermékek takarmányozási célú felhasználása vagy a tavi üledék mezőgazdasági célú alkalmazása, hozzájárulhat az akvakultúra környezeti lábnyomának csökkentéséhez. Emellett az LCA adatok hozzájárulhatnak a fenntarthatósági tanúsítványok megszerzéséhez és a fogyasztók tájékoztatásához is (Jolliet et al. 2018).

Jelen kutatásom célja, hogy feltárjam az LCA módszertan alkalmazásának lehetőségeit a magyar akvakultúra szektorban. A kérdőíves vizsgálat segítségével információkat gyűjtöttem a hazai haltermelők körében arról, hogy milyen mértékben alkalmazzák az életciklus-elemzést, ismerik-e, milyen fenntarthatósági stratégiákat követnek, és milyen kihívásokkal szembesülnek a környezeti hatások csökkentése során.

## Célkitűzések:

Dolgozatomban az alábbi kérdésekre keresem a választ, mely visszajelzéseket összesítek, feldolgozok és elemzek, ezekből vonom le a következtetéseket és teszek javaslatokat a további vizsgálati irányokra.

1. Az ágazat milyen szinten van tisztában az LCA módszertannal és annak felhasználási lehetőségeivel?
2. Mennyire elterjedt az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazása a magyar haltermelésben?
3. Milyen fenntartható takarmányozási gyakorlatokat alkalmaznak a magyar haltermelők?
4. Milyen módszereket alkalmaznak a haltermelők a melléktermékek kezelésére és újrahasznosítására?
5. Milyen kihívások akadályozzák az LCA alkalmazását és a fenntarthatósági intézkedések elterjedését a magyar akvakultúrában?

A kutatás eredményei hozzájárulhatnak ahhoz, hogy jobban megértsük az LCA módszertan szerepét a magyar akvakultúrában, és javaslatokat fogalmazzunk meg a fenntarthatóbb haltermelés elősegítésére.

## II. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. Az életciklus-elemzés (LCA) elméleti háttere

#### 2.1.1. Az LCA fogalma és célja

Az életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA) egy olyan módszertan, amely egy termék, szolgáltatás vagy rendszer teljes környezeti hatását értékeli annak teljes életciklusa során. Ez magában foglalja a nyersanyagok kitermelésétől kezdve a gyártáson, használaton és karbantartáson át egészen a hulladékkezelésig terjedő szakaszokat („bölcsőtől a sírig” szemlélet) (Http1). Az LCA alapelve a teljes rendszerszemlélet és a kvantitatív értékelés, amely lehetővé teszi a környezeti hatások objektív összehasonlítását (Chaudhary et al. 2015).

Az LCA legfontosabb alapelvei közé tartozik:

- **Teljesség:** az életciklus minden szakaszát figyelembe kell venni.
- **Transzparencia:** a módszertani döntéseknek világosnak és dokumentálnak kell lenniük.
- **Összehasonlíthatóság:** a vizsgálatok szabványosított keretek között zajlanak, hogy lehetővé váljon a különböző termékek és rendszerek összehasonlítása (Http1, Http2).

Az LCA nemcsak a környezeti hatások felmérésére alkalmas, hanem segít azonosítani azokat a szakaszokat a termék életútján, ahol a legnagyobb potenciál rejlik a környezeti terhelés csökkentésére. Ezáltal az LCA fontos eszköz a környezetbarát technológiák, anyagválasztások és működési modellek kialakításában (Heijungs et al. 1992, Goedkoop és Spriensma 2001).

#### **A módszertan célja: fenntarthatóság értékelése és optimalizálása**

Az LCA egyik fő célja a fenntarthatóság elősegítése a különböző termékek és szolgáltatások környezeti teljesítményének összehasonlítása révén. A módszer alkalmazása során feltárhatóak a „forró pontok”, vagyis azok a szakaszok, amelyek a legnagyobb környezeti hatással járnak (Cao et al. 2013). Ezek ismeretében célzott fejlesztésekkel csökkenthető a környezeti lábnyom, illetve növelhető a termékek, folyamatok fenntarthatósága (Roy et al. 2009, Ottinger et al. 2016).

A LCA-t széles körben alkalmazzák többek között terméktervezésben (ökodesign), vállalati fenntarthatósági jelentések készítésében, valamint környezeti címkék (pl. ökocímkék) megalapozásában is. A döntéshozatali folyamatok támogatására is szolgálhat, különösen akkor,

ha több alternatív megoldás közül kell kiválasztani a környezetileg leginkább elfogadhatót (Chen et al. 2014, Aubin et al. 2015).

### 2.1.2. Az LCA történeti fejlődése és szabványai

Az LCA története az 1960-as évek végére vezethető vissza, amikor az első tanulmányok az italcsomagolások energiaigényét és környezeti terhelését vizsgálták. Az 1970-es évek energiaválsága idején nőtt meg az igény az anyag- és energiamérlegek részletes vizsgálatára, amely megalapozta a későbbi LCA-módszertanokat (Ayres és Kneese 1969, Guinée et al. 1979, Huijbregts et al. 2003). Az 1990-es években, a környezettudatosság növekedésével és a fenntartható fejlődés koncepciójának térhódításával az LCA módszertana egyre inkább formalizálódott (Heijungs et al. 1992, Fava et al. 1994, Erkman 1997). Egyre több iparág, különösen az autóipar, vegyipar és csomagolóipar kezdte el alkalmazni a módszert termékfejlesztés és környezetvédelmi auditok céljából (Goedkoop és Spriensma 2001, Contadini et al. 2002, Baruthio et al. 2008, Reap et al. 2008). A mezőgazdasági és élelmiszeripari alkalmazások is fokozatosan előtérbe kerültek, mivel a világ élelmezésének fenntartható biztosítása egyre kritikusabb globális kihívássá vált (Castellini et al. 2012a, Aubin 2013, Djekic et al. 2014, Aubin et al. 2015, Abdou et al. 2017a). A 2000-es évektől kezdődően az agrár-élelmiszer rendszerek teljes környezeti lábnyomának értékelése, beleértve a termelést, feldolgozást, szállítást és fogyasztást szerves részévé vált a fenntarthatósági értékeléseknek (Guinée et al. 2002, Bastianoni et al. 2010, Herrero et al. 2011, Gerber et al. 2013).

#### **Az ISO 14040 és ISO 14044 szabványok szerepe**

A módszertan formalizálását a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) által kidolgozott szabványok segítették elő. Az **ISO 14040** szabvány meghatározza az LCA alapelveit és keretét, míg az **ISO 14044** részletes útmutatást ad az egyes lépések (célmeghatározás, leltárelemzés, hatásértékelés és értelmezés) elvégzésére (Guinee et al. 2002, Goedkoop et al. 2008, Cao et al. 2013, Http1, Http2).

E szabványok célja, hogy biztosítsák az átláthatóságot, egységességet és reprodukálhatóságot az LCA vizsgálatok során, lehetővé téve ezáltal a különböző tanulmányok összevethetőségét (Weidema és Wesnæs 1996, Chevalier és Le Teno 1996, Huijbregts 2001, Sonnemann et al. 2003). A szabványosítás továbbá elengedhetetlen a nemzetközi kommunikáció és a döntéshozatal támogatása szempontjából, különösen akkor, ha az LCA eredmények politikai vagy üzleti döntések alapjául szolgálnak (Pesonen et al. 2000, Ciroth 2001).

### 2.1.3. Az LCA fő lépései és módszertana

#### **Cél és hatókör meghatározása**

A vizsgálat első lépése a cél és hatókör definiálása. A célkitűzés magában foglalja, hogy milyen döntés meghozatalát kívánják támogatni, valamint, hogy ki a célközönség (pl. belső fejlesztőcsapat, szabályozó hatóság, fogyasztók) (Maurice et al. 2000, Jungbluth et al. 2007). A hatókör meghatározása során kerül sor a funkcionális egység kijelölésére, amely az elemzés egységes alapját képezi. Például 1 kg kenyér vagy 1 liter tej lehet ilyen funkcionális egység.

A rendszerhatárok kijelölése szintén kulcsfontosságú, mivel ezek határozzák meg, hogy az elemzés pontosan mely szakaszokat vizsgálja (Pesonen et al. 2000, Guinée et al. 2002, Simon 2012). Lehetőség van részleges („kaputól kapuig”) vagy teljes („bölcsőtől a sírig”) vizsgálatra is. A rendszerhatárok meghatározása során fontos mérlegelni az adatgyűjtés lehetőségeit és a vizsgálat célját (Huijbregts et al. 2001, Szalay 2007).

#### **Leltárelemzés (LCI - Life Cycle Inventory)**

A leltárelemzés során az elemzés tárgyához kapcsolódó összes releváns input és output adatot rögzítenek (Chevalier és Téno 1996). Ez magában foglalja a nyersanyag-felhasználást, energiaigényt, kibocsátásokat (légkörbe, vízbe, talajba), valamint a keletkező hulladékokat (Salomone 2002, Salomone et al. 2010, Henriksson et al. 2015).

Az adatok származhatnak elsődleges (pl. vállalati mérési eredmények) vagy másodlagos forrásokból (pl. szakirodalom, nemzetközi LCA adatbázisok, mint az Ecoinvent vagy Agri-footprint) (Weidema és Wesnæs 1996, Nicoletti et al. 2001, Fukushima és Hirao 2002, Jungbluth et al. 2007, Goedkoop et al. 2013.). A pontos adatgyűjtés és dokumentálás kulcsfontosságú, mivel ez határozza meg az elemzés megbízhatóságát (Björklund 2002, Bahr és Steen 2004).

#### **Hatásértékelés (LCIA - Life Cycle Impact Assessment)**

A hatásértékelés (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) célja, hogy az életciklus-elemzés (LCA) leltárelemzéséből származó környezeti inputokat (Reap et al. 2008, Schmidt 2008), mint például a CO<sub>2</sub> kibocsátás, nitrátkimosódás, illetve egyéb környezeti hatások, kategorizálja és azokat olyan formába öntse, amely lehetővé teszi az összehasonlítást és értékelést (Goedkoop és Spriensma 2001, Heijungs és Suh 2002, Sleeswijk et al. 2008). Ezáltal az LCA folyamat

során a környezeti hatások egyértelmű és érzékelhető módon jelennek meg, így segítve a döntéshozókat a fenntarthatóság és a környezetbarát alternatívák kiválasztásában. A hatásértékelés során a leggyakrabban alkalmazott hatáskategóriák a következők:

1. **Globális felmelegedési potenciál (GWP):** Ez a kategória az üvegházhatású gázok által okozott hatásokra koncentrál, és azt méri, hogy egy adott tevékenység milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez (Weckenmann és Schwan 2001, Roy et al. 2009, Aubin 2013,).
2. **Eutrofizáció:** A vízi ökoszisztémák túlzott tápanyagterhelésének következményeként kialakuló jelenség, amely különösen a vízi élővilágra és a vízminőségre gyakorol káros hatást. Az eutrofizáció mértéke általában összefügg a tápanyagok, például nitrátok és foszfátok koncentrációjával (Aubin és Fontaine 2014, Avadi et al. 2015).
3. **Savasodási potenciál:** A kén- és nitrogénvegyületek által okozott hatásokat méri, amelyek különböző szennyező anyagok révén savas hatást gyakorolnak a talajra és a vízre. Az ilyen hatások hosszú távon károsítják az élővilágot és az ökoszisztémákat (Bohnes és Laurent 2019).
4. **Fosszilis energiahordozók használata:** A fosszilis energiahordozók (például szén, olaj és földgáz) használatával kapcsolatos hatások, melyek a nem megújuló energiaforrások kimerüléséhez és a környezet szennyezéséhez vezetnek.

A hatásértékelés során különböző karakterizációs módszereket alkalmaznak, mint például a CML (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden) vagy a ReCiPe, amely egy nemzetközileg alkalmazott életciklus-hatásértékelési módszer. A ReCiPe elnevezés három holland fejlesztő intézmény nevének kezdőbetűiből származik R = RIVM (National Institute for Public Health and the Environment), C = Radboud University, P = Pré Consultants (a SimaPro LCA-szoftver fejlesztője). E módszerek segítenek az egyes környezeti hatáskategóriák mértékének számszerűsítésében és összehasonlításában (Weidema et al. 1996, Goedkoop és Spriensma 2001, Hassing et al. 2001, Guinée et al. 2002). Ezen módszerek segítségével a különböző hatásokat egy közös mérőegységre alakítják át, így azok könnyebben összehasonlíthatóvá válnak, és lehetővé teszik az integrált fenntarthatósági értékelést.

## **Eredmények értelmezése és felhasználása:**

A végső lépés az eredmények értelmezése, amely során azonosítjuk a legnagyobb hatású életciklus-szakaszokat, és javaslatokat fogalmazunk meg azok optimalizálására. Az eredményeket a vizsgálat céljainak tükrében kell elemezni, különös figyelmet fordítva az esetleges bizonytalanságokra, feltételezésekre és módszertani korlátokra (Maurice et al. 2000, Weckenmann és Schwan 2001, Huijbregts et al. 2003).

Az LCA eredményei többféleképpen hasznosíthatók:

- Környezetbarát termékfejlesztés (ökodesign);
- Fenntarthatósági kommunikáció (pl. termékcímkék);
- Környezeti szabályozás vagy vállalati stratégiák megalapozása (Lindsey 2012, Aubin 2013, Goedkoop et al. 2013).

Az LCA módszertana több egymást követő szakaszból épül fel, amelyek tartalmát és célját a táblázat foglalja össze (**1. táblázat**).

**1. táblázat** Az LCA fő lépései és módszertana (saját táblázat)

Lépés	Tartalom	Cél
<b>Cél és hatókör meghatározása</b>	Funkcionális egység kijelölése, rendszerhatárok definiálása	Az elemzés kereteinek pontos rögzítése
<b>Leltárelemzés (LCI)</b>	Input- és outputadatok (energia, nyersanyag, kibocsátás, hulladék) gyűjtése	A termelési folyamat kvantitatív jellemzése
<b>Hatásértékelés (LCIA)</b>	Környezeti hatáskategóriák vizsgálata (pl. GWP, eutrofizáció, savasodás)	Az ökológiai terhelés azonosítása és összehasonlíthatósága
<b>Eredmények értelmezése</b>	Fő környezeti hatások kiemelése, érzékenységi vizsgálatok	Fejlesztési és optimalizálási lehetőségek azonosítása

## 2.2. Az LCA szerepe a fenntartható élelmiszertermelésben

### 2.2.1. Az élelmiszeripar környezeti lábnyoma és az LCA jelentősége

Az élelmiszertermelés és -fogyasztás az egyik legnagyobb környezeti terheléssel járó ágazat világszerte. A mezőgazdasági tevékenységek felelősek a globális üvegházhatású gázkibocsátás mintegy 20–30%-áért, miközben jelentős mértékű föld- és vízhasználattal járnak. Ezenkívül a műtrágyák és növényvédő szerek alkalmazása gyakran eutrofizációhoz és talajdegradációhoz vezet, valamint csökkenti a biodiverzitást (Tilman et al. 2002, De Vries és De Boer 2010, Herrero et al. 2011, Gerber et al. 2013, Djekic et al. 2014). A növekvő népesség, a változó fogyasztási szokások (pl. húsfogyasztás emelkedése), illetve az élelmiszer-pazarlás mértéke tovább növelik a mezőgazdaság ökológiai nyomását. A globális ellátási láncok hosszabbodása, a szezonon kívüli termékek importja, valamint a feldolgozott élelmiszerek előretörése szintén jelentős környezeti hatásokkal jár (Avraamides és Fatta 2008, Reap et al. 2008, Roy et al. 2009, Castellini et al. 2012b, Strazza 2015). Ezek a kihívások sürgetik a fenntartható élelmiszerrendszerek kialakítását, amelyben az életciklus-elemzés kulcsszerepet játszik, mivel lehetővé teszi a teljes értéklánc környezeti hatásainak feltérképezését, valamint az összehasonlítást alternatív technológiák vagy termékek között (Ottinger et al. 2016).

Az LCA különösen hatékony eszköz az élelmiszer-ellátási lánc komplex rendszerének vizsgálatára, amely számos lépésből áll: nyersanyag-termelés, feldolgozás, csomagolás, tárolás, szállítás, fogyasztás és hulladékkezelés (Castellini et al. 2006a, Reap et al. 2008, Aubin et al. 2015, Bohnes és Laurent 2019). Minden egyes szakasz hozzájárul a teljes környezeti lábnyomhoz, és az LCA képes feltárni, mely pontokon lehet hatékonyan beavatkozni a fenntarthatóság érdekében. Például egy LCA-vizsgálat kimutathatja, hogy a paradicsom termesztése során a fűtött üvegházban történő termelés lényegesen magasabb CO<sub>2</sub>-lábnyommal jár, mint a szabadföldi termesztés (Avraamides és Fatta 2008, Roy et al. 2009, Henriksson et al. 2018). Hasonlóan, az importált termékek esetében a szállítás környezeti terhelése kulcsfontosságú tényező lehet. Az LCA nemcsak az egyes termékek vagy technológiák összehasonlítására alkalmas, hanem az élelmiszerrendszerek stratégiai szintű elemzésére is. Segíthet például a helyi élelmiszerellátási rendszerek előnyeinek értékelésében vagy a különböző étrendek (pl. növényi alapú vs. állati eredetű) környezeti hatásainak összevetésében (Bokkers és De Boer 2009, Branciarri et al. 2009, Bastianoni et al. 2010, Smáráson et al. 2017). Az élelmiszer-ellátási lánc minden szakasza sajátos környezeti terhekkel jár, amelyeket a táblázat szemléltet (**2. táblázat**).

## 2. táblázat: Az élelmiszer-ellátási lánc fő környezeti hatásai (saját táblázat)

Ellátási lánc szakasz	Jellemző környezeti hatások
Termelés (növénytermesztés, állattartás, akvakultúra)	GHG-kibocsátás, víz- és földhasználat, műtrágya- és növényvédőszer-terhelés
Feldolgozás	Energiafelhasználás, melléktermékek és hulladék képződése
Csomagolás	Erőforrás-felhasználás, hulladékképződés
Szállítás és logisztika	Fosszilis energiafelhasználás, CO <sub>2</sub> -kibocsátás
Fogyasztás	Energiaigény (pl. hűtés, főzés), élelmiszer-pazarlás
Hulladékkezelés	Lerakás, égetés, újrahasznosítás környezeti terhei

### 2.2.2. Az LCA alkalmazása a mezőgazdaságban és az állattenyésztésben

#### LCA vizsgálatok a szántóföldi növénytermesztésben:

A növénytermesztés során az LCA főként a következő inputokat és hatásokat vizsgálja:

- Műtrágyák és növényvédő szerek használata: ezek előállítása és alkalmazása jelentős ÜHG (ÜvegHázhatású Gáz) -kibocsátással jár, különösen a nitrogén-alapú műtrágyák esetében, amelyek alkalmazása során dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O), egy erőteljes üvegházhatású gáz szabadul fel (Cole et al. 1997, Mosier et al. 1998, Tilman et al. 2002, Herrero et al. 2011, Taelman et al. 2013).
- Energia- és vízfelhasználás: az öntözés és a gépi művelés energiaigénye szintén jelentős (McLaren et al. 2010, Zhang et al. 2012, Aubin et al. 2015).
- Talajhasználat és földhasználat-változás: ezek hatással vannak a szénmegkötésre és a biodiverzításra (Schmidt 2008, Kim et al. 2016, Horváth et al. 2017).

Egy LCA-elemzés során összehasonlíthatók például:

- konvencionális vs. ökológiai gazdálkodás;
- helyi vs. importált alapanyagok;
- intenzív vs. extenzív termesztési/termelési rendszerek.

Egyes tanulmányok szerint a biogazdálkodás fajlagosan alacsonyabb környezeti terheléssel járhat, azonban a termés hozamok alacsonyabbak, így a teljes egységnyi termékre vetített

hatások esetenként magasabbak is lehetnek (Cao et al. 2013). Az LCA segít ezeket az összetett kérdéseket objektíven vizsgálni.

### **LCA az állati termékek (hús, tej, tojás) előállításában:**

Az állattenyésztés különösen kiemelt terület az LCA szempontjából, mivel az állati eredetű élelmiszerek előállítása, különösen a marhahúsé aránytalanul nagy környezeti terheléssel jár (Goodland és Anhang 2009, De Vries és De Boer 2010, Gerber et al. 2013).

Ennek fő okai:

- Metánkibocsátás a kérődző állatok emésztése során (Herrero et al. 2011, Gerber et al. 2013);
- Takarmánytermesztés föld- és vízigénye (Iribarren et al. 2012);
- Trágyakezelésből származó szennyezések (pl. nitrát, ammónia);
- Magas energiaigény az állattartó telepek működtetése során (Kestin et al. 2001, Castellini et al. 2012a).

Az LCA lehetőséget ad arra, hogy összehasonlítsuk például:

- a különböző állattartási rendszereket (intenzív vs. extenzív);
- a különféle takarmányozási rendszereket (pl. szójaimport csökkentése);
- az alternatív fehérjeforrások (pl. rovarfehérje, növényi alapú protein) és a mesterségesen előállított hústermékek (pl. kultivált hús) környezeti hatásainak összevetésére a hagyományos állati eredetű húsfélékkel (Bokkers és De Boer 2009, Castellini et al. 2012a, Aubin 2013).

Például egy liter tehéntej előállítása több száz liter víz felhasználásával és jelentős metánkibocsátással jár, míg egyes növényi alapú tejhelyettesítők, mint a zab- vagy mandulatej, lényegesen kisebb ökológiai lábnyommal bírnak, igaz más típusú környezeti problémák (pl. vízhasználat Kaliforniában a mandulatermesztéshez) is felmerülhetnek.

Az LCA tehát nem csupán a hagyományos mezőgazdaság értékelésében játszik szerepet, hanem elősegíti a fenntartható agrárinnovációk (pl. precíziós gazdálkodás, regeneratív mezőgazdaság, vertikális farmok) fejlesztését és megalapozását is (Roy et al. 2009, Zhang et al. 2012, Aubin et al. 2015).

## 2.3. Az akvakultúra és fenntarthatóság kapcsolata

### 2.3.1. Az akvakultúra jelentősége a globális élelmiszer-termelésben

Az akvakultúra, vagyis a vízi élőlények főként halak, rákfélék, kagylók és algák mesterséges körülmények közötti tenyésztése, az elmúlt évtizedekben dinamikus növekedésen ment keresztül, mára a világ leggyorsabban bővülő állati eredetű fehérjeforrás-termelési ágazatává vált. Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) legfrissebb adatai szerint az akvakultúra termelés már meghaladta a vadonfogott halak (elsősorban halászott halak) mennyiségét, és a teljes vízi eredetű élelmiszertermelés több mint felét biztosítja (Naylor et al. 2000, Ottinger et al. 2016, FAO 2025). E növekedés hátterében több tényező is áll, mint például a tengeri halállományok túlhalászása, a növekvő globális népesség, valamint az egészséges, omega-3 zsírsavakban gazdag táplálék iránti igény emelkedése (Naylor et al. 2005, Castellini et al. 2012a, Aubin és Fontaine 2014). Ezen felül az akvakultúra a vidéki foglalkoztatásban és a nemzetközi kereskedelemben is fontos szerepet tölt be, különösen a fejlődő országokban (Arismendi et al. 2009, Boissy et al. 2011, Abdou et al. 2017a, Bohnes és Laurent 2019).

Az élelmiszerbiztonság szempontjából az akvakultúra megbízható és kiszámítható termelési formát kínál, mivel ellenőrzött környezetben, szabályozott inputok mellett működik. Ezáltal hozzájárul a fenntartható táplálkozási rendszerekhez, amennyiben megfelelő környezeti és társadalmi feltételek teljesülnek (Aubin et al. 2015, Ottinger et al. 2016, Boxman et al. 2016, Abdou et al. 2017a).

### 2.3.2. Az akvakultúra fenntarthatósági kihívásai

#### **A víz- és takarmányfelhasználás optimalizálásának szükségessége**

Az akvakultúra egyik legnagyobb környezeti kihívása a takarmányok előállításához és alkalmazásához köthető (Bastianoni et al. 2010, Cao et al. 2011, Castellini et al. 2012b, Fréon et al. 2017, Seghetta et al. 2017). A halolaj és halfeldolgozási melléktermékek felhasználása az intenzív rendszerekben erőforrás-igényes és sok esetben nem fenntartható, különösen, ha ezek tengeri halak kifogásával járnak. Az alternatív fehérjeforrások, mint a növényi alapanyagok, rovarlisztek vagy fermentációs eljárásokkal előállított takarmányok fejlesztése kulcsfontosságú az ökológiai lábnyom csökkentéséhez (Goodland és Anhang 2009, Aubin 2013).

A vízhasználat szintén lényeges kérdés, különösen a szárazabb régiókban, vagy ott, ahol más mezőgazdasági ágazatokkal versenyez a vízért (Zhang et al. 2012, Aubin és Fontaine 2014,

Aubin et al. 2015). A nem megfelelően kezelt víz emellett eutrofizációt és vízminőség-romlást okozhat a természetes vizekben (Budhathoki et al. 2025).

### Melléktermékek és hulladékkezelés kérdései

A túlzott szervesanyag-terhelés elsősorban a takarmánymaradványok és ürülék révén lokális vízminőség-romláshoz, oxigénhiányos állapotokhoz és az üledékek túlterheléséhez vezethet (Castellini et al. 2012a, Aubin 2013, Badiola et al. 2018). A megfelelő hulladékgazdálkodás, mint például az integrált multitrofikus rendszerek (IMTA) vagy az üledékek komposztálása, hozzájárulhat a környezeti terhelés csökkentéséhez (Aubin és Fontaine 2014, Béné et al. 2016, Abdou et al. 2017b).

### Klímaváltozás és akvakultúra

A globális felmelegedés közvetlenül és közvetetten is hat az akvakultúrára. A vízhőmérséklet-emelkedés befolyásolja a halak növekedési ütemét, a kórokozók terjedését, valamint a víz oldott oxigénszintjét (Forster et al. 2007, Castellini et al. 2012b, Aubin 2013, Gerber et al. 2013, Czimber és Gálos 2016). A szélsőséges időjárási események, például áradások vagy hőhullámok, veszélyeztethetik a termelés stabilitását (Henriksson et al. 2012). Ugyanakkor az akvakultúra maga is hozzájárulhat a klímaváltozáshoz, főként az energiafelhasználás és a takarmány-előállítás révén (Hellweg et al. 2014). Az akvakultúra fejlődését számos környezeti kihívás kíséri, amelyek típusait és következményeit a táblázat szemlélteti (**3. táblázat**).

#### 3. táblázat: Az akvakultúra fenntarthatósági kihívásai (saját táblázat)

Kihívás	Leírás	Környezeti következmények
<b>Takarmányfelhasználás</b>	Halolaj, halliszt, szója alapú takarmány	Magas ökológiai lábnyom, tápanyag-felhasználás
<b>Vízhasználat</b>	Tavi, átfolyóvizes és recirkulációs rendszerek vízigénye	Helyi vízhiány, eutrofizációs kockázat
<b>Hulladék- és melléktermék-kezelés</b>	Takarmánymaradványok, ürülék, iszap	Vízminőség-romlás, oxigénhiány, üledékterhelés
<b>Klímaváltozás hatásai</b>	Hőmérséklet-emelkedés, szélsőséges időjárási események	Termelésbiztonság csökkenése, betegségek terjedése

### 2.3.3. Fenntartható akvakultúra-rendszerek

#### **Recirkulációs akvakultúra rendszerek (RAS)**

A RAS technológiák zárt rendszerben, szinte teljesen újrahasznosított vízben működnek, lehetővé téve az akvakultúra urbanizált, erőforrás-hatékony formáját (Morais és Almeida 2006). Ezekben a rendszerekben a víz biológiai és mechanikai szűrőkön keresztül kerül tisztításra, minimalizálva a kibocsátásokat és a vízfelhasználást. Bár kiépítésük jelentős beruházást igényel, hosszú távon csökkenthetők az ökológiai terhek, és pontosan szabályozható a termelés (Badiola et al. 2012, Zhang et al. 2012, Brown et al. 2024).

#### **Átfolyóvizes és extenzív rendszerek fenntarthatósága**

Az átfolyóvizes rendszerek főként tavakban vagy csatornáknál alacsonyabb technológiai igényűek, de környezetvédelmi szempontból nagyobb kihívásokat jelenthetnek, ha a vízkezelés nem megfelelő. Az extenzív tenyésztés például természetes tavakban, alacsony takarmányozással kisebb környezeti terheléssel jár, viszont fajlagosan alacsonyabb hozamot eredményez (Jerbi et al. 2012, Nhu et al. 2016). A megfelelően kialakított ökoszisztéma-alapú modellek azonban jelentős ökológiai előnnyel járhatnak, például a biológiai sokféleség megőrzésében (Diana 2009).

## 2.4. Az LCA alkalmazása az akvakultúrában

### 2.4.1. Az LCA szerepe az akvakultúrában

Az életciklus-elemzés (LCA) az akvakultúra környezeti fenntarthatóságának értékelésében egyre nagyobb jelentőséggel bír, mivel lehetővé teszi az egyes termelési szakaszok környezetre gyakorolt hatásainak részletes és átfogó feltárását. E módszer alkalmazása lehetőséget ad arra, hogy a termelési folyamatok minden egyes lépése pontosan nyomon követhető legyen, ezáltal az akvakultúra iparágában dolgozó szakemberek számára világos képet ad a környezeti hatásokról (Aubin és Fontaine 2014, Abdou et al. 2017a, Bohnes és Laurent 2019, Castellini et al. 2012a, Ford et al. 2012). Az LCA segítségével a haltermelési rendszerek nemcsak a gazdasági, hanem a környezeti fenntarthatóság szempontjából is optimalizálhatók, így hozzájárulva egy fenntarthatóbb és környezetbarátabb iparág kialakításához (Reap et al. 2008). Az életciklus-elemzés alkalmazásának kiemelt célja, hogy az akvakultúrával kapcsolatos tevékenységek, mint például a vízhasználat, az energiafelhasználás, valamint a takarmány- és egyéb inputanyagok környezeti hatásai részletesen összehasonlíthatók legyenek, különböző tenyésztési rendszerek között (Castellini et al. 2006a, Mungkung et al. 2013, McGrath et al. 2015, Medeiros et al. 2017). Ennek eredményeként lehetőség nyílik arra, hogy az iparági szereplők megalapozott döntéseket hozzanak fenntarthatóbb és környezetbarátabb alternatívák kiválasztásában (Iribarren et al. 2010b).

Az LCA alkalmazása az akvakultúrában elsősorban három kulcsfontosságú célt szolgál (Iribarren et al. 2012b). Először is, segít az ökológiai lábnyom kvantifikálásában, amely a haltermelés környezeti hatásainak pontos mérésére és elemzésére összpontosít (Laurent et al. 2012). Másodsor, az LCA lehetőséget biztosít a különböző tenyésztési rendszerek környezeti hatásainak összehasonlítására, például a vízhasználat, az üvegházhatású gázok kibocsátása, valamint az eutrofizáció mértékének megértésére és csökkentésére (Laurent et al. 2014, Lourguioui et al. 2017). Harmadszor pedig, az LCA egy hatékony eszközként támogatja a döntéshozatalt, segítve a szakembereket a fenntarthatóbb technológiák és takarmány-alapanyagok kiválasztásában, ezáltal csökkentve a környezetre gyakorolt terhelést.

A haltermelés sajátos jellemzői, mint például a vízminőség folyamatos monitorozása, a takarmány összetételének változása, vagy a fajspecifikus növekedési és anyagcsere-folyamatok, különös figyelmet igényelnek az LCA tervezése során (Ayer et al. 2007). A halak különböző fajai eltérő módon reagálnak a környezeti változásokra, így a vizsgálatoknak

figyelembe kell venniük ezeket az egyedi jellemzőket a pontos hatásértékelés érdekében (Pahri et al. 2015).

Az akvakultúra LCA vizsgálatának főbb környezeti hatáskategóriái közé tartozik az energiafelhasználás, amely különösen fontos a zárt rendszerek esetében, mint például a recirkulációs akvakultúra rendszerek (RAS), ahol a magas energiaigényű működtetés jelentős környezeti hatással bírhat (Bohnes et al. 2018, Phari et al. 2016). A takarmánygyártás és szállítás szintén kiemelt figyelmet érdemel, mivel az ilyen inputok gyakran a legnagyobb környezeti terhelést hordozzák, hiszen jelentős mértékben hozzájárulnak a CO<sub>2</sub> kibocsátáshoz és a vízi ökoszisztémák tápanyagterheléséhez (Samuel-Fitwi et al. 2013a). A vízhasználat és vízminőség szintén alapvető tényezők, mivel a haltermelés során kibocsátott szennyezőanyagok, mint például a tápanyagok és szerves anyagok, közvetlen hatással vannak az élővizek ökoszisztémáira, károsítva azokat (Berg 1995, Odum et al. 1977). Végül, az üvegházhatású gázok kibocsátása is meghatározó szerepet kap, mivel ez a kategória alapvetően befolyásolja az akvakultúra rendszerének szénlábnyomát, ami fontos tényező a fenntarthatósági célok elérésében.

Az életciklus-elemzés tehát az akvakultúra fenntarthatóságának kulcsfontosságú eszköze, amely a környezeti hatások mérésére és csökkentésére irányul, segítve a fenntartható haltermelési rendszerek kialakítását és a gazdaságos, de környezetbarát megoldások megtalálását.

#### 2.4.2. Példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában

Norvégiában és Chilében végzett kutatások alapján a lazactenyésztés legnagyobb környezeti terhelése a takarmánytermeléshez köthető, különösen, ha halolaj és halliszt a fő alapanyag (McGrath et al. 2015). A recirkulációs rendszerek energiaigénye ugyan magasabb, viszont vízfelhasználásuk és szennyezőanyag-kibocsátásuk alacsonyabb a hagyományos tengeri ketreces rendszerekhez képest (Aubin és Fontaine 2014, Sandin et al. 2016). A hajózással, hűtéssel és csomagolással kapcsolatos hatások szintén jelentősek az ellátási láncban.

A pontytenyésztés különösen Kelet-Európában és Ázsiában általában extenzív vagy félig intenzív rendszerekben zajlik, alacsony inputigénnyel. Ennek eredményeként a szén-dioxid-kibocsátás és energiafogyasztás viszonylag alacsony, ugyanakkor a takarmányozás optimalizálásával tovább csökkenthető a víztestek eutrofizációs kockázata (Castellini et al. 2012a, Hancz 2007, Mungkung et al. 2013). Az LCA vizsgálatok szerint a természetes vízi ökoszisztémákhoz illeszkedő módszerek kedvezőbb környezeti teljesítményt mutatnak.

## 2.5. Alternatív takarmányok LCA szemszögből

A haltermelés fenntarthatóságának növelésében és környezeti hatásainak csökkentésében egyre nagyobb szerepet kapnak az alternatív takarmány-alapanyagok, amelyek nemcsak gazdaságosabb megoldásokat kínálnak, hanem jelentős mértékben csökkenthetik az iparág ökológiai lábnyomát is (Taelman et al. 2013). Az életciklus-elemzés (LCA) segítségével lehetőség van ezen alternatív takarmányok környezeti hatásainak átfogó értékelésére, figyelembe véve azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a termelési rendszerek fenntarthatóságát, mint például az energiefelhasználás, a vízhasználat és a szénlábnyom (Seghetta et al. 2017).

Egyre nagyobb figyelmet kapnak azok a halászatból és feldolgozóiparból származó melléktermékek, mint például a halfejek, gerincek, bőrök, amelyek értékes fehérjeforrásként hasznosíthatók. A halipari hulladékok újrafeldolgozása nem csupán a hulladék csökkentését célozza, hanem lehetőséget biztosít a halalapú takarmány-készítmények ökológiai lábnyomának mérséklésére is (Bokker és Koene 2003, Goodland és Anhang 2009). Az ilyen típusú takarmányok nemcsak gazdaságosabbak, de a környezeti terhelés csökkentésében is fontos szerepet játszanak, hiszen az alapanyagok előállításának energiaigénye és szállítása lényegesen alacsonyabb lehet, mint a hagyományos takarmányoké, például a szója- vagy halolaj-alapú takarmányoké (Roy et al. 2009, Herrero et al. 2011, Aubin 2013, Gerber et al. 2013). Ezen felül, mivel a halászati melléktermékek helyben keletkeznek, csökkenthetők a szállítással járó károsanyag-kibocsátások is.

Egy másik kiemelkedő alternatív takarmány-alapanyag a rovarliszt, amely az ipari skálán előállított takarmányok között kiemelkedő szerepet játszhat (Goodland és Anhang 2009, Castellini et al. 2012a, Wilfart 2013, Abdou et al. 2017b, Bohnes és Laurent 2019). A fekete katonalégy lárvája például rendkívül ígéretes alternatívát nyújt a hal- és szójaalapú fehérjék helyett. Az LCA vizsgálatok azt mutatják, hogy az ilyen rovarokból készült takarmányok alacsonyabb üvegházhatású gázkibocsátással és földhasználattal járnak, mint a hagyományos takarmányok, amelyek előállítása jelentős mértékben hozzájárul a környezet szennyezéséhez (Http1). A rovarok takarmányozási célú tenyésztése emellett sokkal kevesebb víz- és energiefelhasználással jár, miközben kiváló tápanyag-összetétellel rendelkeznek, így képesek kielégíteni a halak táplálkozási szükségleteit (Aubin 2013, Taelman et al. 2013, Samuel-Fitwi et al. 2013a, Seghetta et al. 2017, Bohnes és Laurent 2019).

A rovarliszt és egyéb hasonló alternatív takarmányok alkalmazása továbbá hozzájárulhat a körforgásos gazdaság erősítéséhez is, mivel a rovarok tenyésztése során az újrahasznosított biohulladékok feldolgozása történik (Castellini et al. 2012a). Az ilyen hulladékok, mint például élelmiszeripari melléktermékek, szerves anyagok vagy mezőgazdasági hulladékok, amelyek más iparágakban gyakran a szemétkukákba kerülnek, új életet nyernek a rovarliszt előállításában, csökkentve a hulladék mennyiségét és javítva a hulladékgazdálkodást (Djekic et al. 2014, Taelman et al. 2015).

Az alternatív takarmányok, mint a halászatból származó melléktermékek és a rovarliszt, tehát nemcsak gazdaságilag fenntarthatóbb megoldásokat kínálnak, hanem kulcsszerepet játszhatnak az akvakultúra környezeti hatásainak mérséklésében (Hofstetter 1998, Pesonen et al. 2000). A jövőben az LCA további alkalmazása segíthet ezeknek az alternatív alapanyagoknak az ipari szintű integrálásában, a fenntarthatóbb takarmányozás kialakításában, és így a haltermelés környezeti terhelésének csökkentésében. Az alternatív takarmány-alapanyagok előnyei és hátrányai környezeti szempontból a táblázat összegzi (**4.táblázat**).

#### 4. táblázat Alternatív takarmányok LCA szemszögből (saját táblázat)

Takarmány-alapanyag	Előnyök	Hátrányok	Környezeti hatások
<b>Halászati melléktermékek</b>	Hulladékhasznosítás, magas fehérjetartalom	Korlátozott mennyiség, feldolgozási igény	Csökkentett CO <sub>2</sub> és hulladék-kibocsátás
<b>Rovarfehérje (pl. fekete katonalégy)</b>	Magas fehérjeérték, kis föld- és vízigény	Nagyobb termelési költség	Alacsony GHG és földhasználat
<b>Növényi alapú fehérjék (szója, borsó, repce)</b>	Széles körben elérhető, stabil ellátás	Földhasználati konfliktusok, GMO kérdések	Magas vízigény, CO <sub>2</sub> -kibocsátás régiótól függően

#### 2.5.1. Az EU termék környezeti lábnyoma (PEF) és az akvakultúra

Az Európai Unió a fenntartható termelés előmozdítását célzó politikai irányvonalának egyik kulcseleme a termékek környezeti lábnyomának (Product Environmental Footprint - PEF) értékelése (Goedkoop és Spriensma 2001, Cicas et al. 2007). A PEF módszertan célja, hogy egy egységes, tudományosan megalapozott keretrendszer biztosítson a termékek környezeti teljesítményének mérésére az életciklus teljes spektrumában (PEF 2025). A rendszer az ipari termelés és fogyasztás környezeti hatásait a termékek előállításától kezdve egészen azok

elhasználódásáig és végső megsemmisítéséig figyelembe veszi, biztosítva ezzel a fenntarthatóság átfogó értékelését.

A PEF egy olyan eszköz, amely különböző szektorsebességű iparágak számára, így az akvakultúra ágazat számára is, lehetőséget kínál a fenntarthatóság növelésére és a versenyképesség fokozására (Ceuterick 1996, Heijungs és Suh 2002, Schmidt 2008). A módszertan használata különösen fontos a piacon való megkülönböztetés szempontjából, hiszen a fenntartható termelés és környezetbarát gyakorlatok iránti kereslet folyamatosan növekszik (Roque d'Orbcastel et al. 2009, Boissy et al. 2011). Az akvakultúra esetében a PEF segíthet a zöld termékek piacra vitelében, mivel az ágazati szereplők a környezeti hatásaikat megbízható módon mérhetik és kommunikálhatják a fogyasztók felé.

Az EU által támogatott pilotprojektek például különböző akvakultúrás termékek, mint a lazac és a ponty esetében már kidolgozták a PEF-kategóriaszabályokat, amelyek a termelők számára irányt mutatnak a környezeti teljesítmény javításában (Youngson és Saroglia 2001, Samuel-Fitwi et al. 2013b, Aubin et al. 2015, Http1, Http2). A szabályok biztosítják, hogy a termelők összehasonlítható módon mérhessék a különböző akvakultúrás termékek környezeti hatásait, és lehetőséget kínálnak arra, hogy a fenntarthatóság terén végzett fejlesztéseiket piaci előnnyé alakítsák át. Ezáltal az akvakultúra ágazat is nagyobb mértékben hozzájárulhat az EU fenntarthatósági céljainak eléréséhez, miközben környezetbarát technológiák és innovatív gyakorlatok alkalmazásával csökkenti saját környezeti lábnyomát (Boyd et al. 2020).

Az EU PEF módszertan alkalmazásában jelentős szerepe van a szabályozásnak és az iparági irányelveknek. Ezen szabályok az Európai Unió környezetvédelmi politikájának szerves részét képezik, és hozzájárulnak a termelők környezettudatos döntéshozatalához. A termelők, akik a PEF keretrendszerben alkalmaznak, nemcsak a környezeti hatásaik csökkentésére összpontosíthatnak, hanem lehetőséget kapnak arra is, hogy a piacon környezeti teljesítményüket transzparensszerűen és tudományosan megalapozott módon kommunikálják.

Jogszabályok és források

- Az Európai Parlament és a Tanács 2013/179/EU rendelete: A termékek környezeti lábnyomának szabályozása és a fenntartható fejlődés elősegítése az ipari termelésben (European Commission 2013).
- PEF irányelvek és kategóriaszabályok: Az akvakultúra szektorra vonatkozó szabályokat a European Commission's PEF Guidelines tartalmazza. Ezek a dokumentumok részletes

információkat biztosítanak a PEF módszertan alkalmazásáról és a környezeti lábnyom számítási szabályairól különböző termékcsoportok esetén, így az akvakultúrára vonatkozóan is.

- EU környezeti lábnyom szabályozás és pilotprojektek: A PEF rendszer kísérleti alkalmazásáról és esettanulmányairól információkat találhatunk az EU Official Journal of the European Union oldalán és az Európai Bizottság Environmental Footprint weboldalán (Http3, Http4).

### 2.5.2. Külföldön alkalmazott LCA gyakorlatok az akvakultúrában

Az LCA módszertan nemzetközi szinten is egyre elterjedtebbé válik az akvakultúra ágazatban, amely lehetőséget kínál a termelési rendszerek környezeti teljesítményének objektív értékelésére. A különböző régiókban végzett LCA tanulmányok nem csupán a technológiai fejlettség és környezeti terhelés közötti összefüggéseket tárják fel, hanem segítenek azonosítani a legjobb gyakorlatokat is, amelyek más országok számára is adaptálhatók (Potting és Hauschild 2005, Bordignon et al. 2022). Az alábbiakban regionális bontásban tekintjük át a legjelentősebb nemzetközi példákat.

### 2.5.3. Az LCA alkalmazása Európában

Európa az LCA módszertan egyik úttörője, különösen a környezetbarát gazdálkodási stratégiák fejlesztése és szabályozási háttere terén. Az akvakultúra területén végzett európai vizsgálatok jellemzően részletes, termékspecifikus életciklus-értékeléseken alapulnak.

#### **Skandináv példa: lazactenyésztés Norvégiában**

Norvégia, a világ egyik legnagyobb atlanti lazac-exportőre, számos LCA tanulmányt készített a tengeri ketreces rendszerek fenntarthatóságának vizsgálatára (Abdou et al. 2017b). Ezekben a vizsgálatokban a legnagyobb környezeti terhelést a takarmány előállítása és szállítása okozza, különösen, ha a halolajat és hallisztet nem fenntartható forrásból nyerik (Baumann 1996, Huijbregts et al. 2003, Winther et al. 2009, Aas et al. 2022). Emellett kiemelt figyelmet kapnak a gyógyszermaradványok, a vízi környezetbe kerülő szerves anyagok és a távoli piacokra történő szállításból eredő kibocsátások. A recirkulációs rendszerek (RAS) terjedése és a növényi alapú takarmányok bevezetése azonban jelentős előrelépést jelentettek a szénlábnyom csökkentése terén (Schmidt 2008, Føre et al. 2022).

## **Közép- és Kelet-Európa: édesvízi halfajok**

Európa középső és keleti régióiban az édesvízi akvakultúra dominál, különösen a ponty és pisztráng tenyésztése. A természetes vagy félig természetes tavakban zajló pontytenyésztés energiafelhasználása és kibocsátása jóval alacsonyabb, mint az intenzív tengeri rendszereké (Ziegler et al. 2016). Ugyanakkor az LCA vizsgálatok rámutattak arra is, hogy a nem megfelelő tápanyag-gazdálkodás esetén jelentős lehet az eutrofizációs potenciál (Yacout 2016). A fenntarthatóság növelésében fontos szerepet játszanak az alternatív fehérjeforrások, a helyben előállított takarmány és a biodiverzitást támogató tőrendszerek (Haes 1997, Haes et al. 1999, Hassing et al. 2001, Afewerki et al. 2023).

## **Uniós szintű kezdeményezések**

Az EU az LCA-t beemelte több stratégiai dokumentumba is, így például a Zöld Megállapodás (Green Deal), a Fenntartható Élelmiszerrendszerek Stratégiája (Farm to Fork), valamint a Termék Környezeti Lábnyom (PEF) kezdeményezés is szorosan kapcsolódik hozzá. Az EU által finanszírozott Horizon 2020 projektek keretében több akvakultúrában történt LCA kutatás is zajlott, például a AquaIMPACT, a TAPAS és a PerformFISH, amelyek segítették az adatbázisok fejlesztését és a módszertan finomítását.

### **2.5.4. Észak-Amerikai példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában**

Az Egyesült Államok és Kanada szintén jelentős szereplők az akvakultúra innovációjában. Az észak-amerikai kutatások különösen erős hangsúlyt fektetnek a technológiai hatékonyság és az ökológiai következmények egyidejű vizsgálatára (Wenzel et al. 1997, Asche és Bjorndal 2011).

## **Lazactenyésztés és recirkulációs rendszerek az USA-ban**

Az Egyesült Államokban az utóbbi években dinamikusan növekszik a zárt rendszerű, ún. recirkulációs akvakultúra rendszerek (RAS) alkalmazása, különösen lazac- és barramundi-termelésben (Pelletier et al. 2009). LCA elemzések igazolták, hogy ezek a rendszerek ugyan magas energiafelhasználással működnek, viszont minimális vízhasználattal és szinte nulla kibocsátással járnak a vízi környezetbe (Young és Steven 2003, Bohnes és Laurent 2019). A tanulmányok kiemelik, hogy az áramforrás típusa döntő hatással van a teljes ökológiai lábnyomra, ugyanis a megújuló energiaforrások használata nagymértékben javíthatja az eredményeket (Santos et al. 2015).

## **Kanadai példák: tavi pisztráng és kagylótenyésztés**

Kanadában a tavi akvakultúra és a kagylótenyésztés LCA vizsgálatai azt mutatják, hogy a kagylók, különösen a kékkagyló (*Mytilus edulis*) és az éti vagy európai lapos osztriga (*Ostrea edulis*), rendkívül alacsony környezeti terheléssel járnak (Osmond et al. 2023). E fajok nem igényelnek külső takarmányt, miközben javítják a vízminőséget szűrő aktivitásuk révén (Baruthio et al. 2008, Ayer és Tyedmers 2009). Az ilyen típusú rendszerek pozitív példát nyújtanak a klímabarát akvakultúra irányába.

### **2.5.5. Ázsiai példák az LCA alkalmazására az akvakultúrában**

Ázsia a világ legnagyobb akvakultúra-termelő régiója, ahol az intenzív termelés gyakran jelentős környezeti nyomással jár. Az LCA módszertan alkalmazása viszonylag új keletű, de egyre több kutatás foglalkozik a termelés fenntarthatóságának értékelésével (Song et al. 2019).

#### **Kína és Délkelet-Ázsiában a tilápia (*Oreochromis niloticus*) és cápaharcsa fajok (*Pangasius spp.*) termelés során fellépő problémák**

Kína és Vietnám a tilápia (*Oreochromis niloticus*) és a cápaharcsa fajok (*Pangasius spp.*) tenyésztés globális központjai. Az ezekre irányuló LCA tanulmányok szerint a termelés intenzitása, beleértve a takarmányozás mértékét, az antibiotikum-használatot és a szennyvízkezelés hiányosságait, jelentős környezeti kockázatot hordoz (Phong et al. 2011). A nem megfelelően kezelt ürülék és tápanyag-felesleg komoly eutrofizációhoz vezet a helyi vizekben (Hunkeler és Huang 1999, Nhu et al. 2016). Ennek ellenére az LCA elemzések rávilágítottak arra, hogy technológiai fejlesztésekkel és jobb tápanyag-gazdálkodással a hatások jelentősen mérsékelhetők.

#### **Garnélarák-termelés során fellépő környezeti problémák és lehetőségek**

Délkelet-Ázsiai térségben különösen Thaiföld és Indonézia jelentős szerepet játszik a világ garnélarák-ellátásában (Pelletier és Tyedmers 2010, Cao, et al. 2011, Jonell és Henriksson 2015). Az intenzív termeléshez gyakran hozzátartozik a mangroveerdők kivágása, hogy több telepet hozzanak létre, ez viszont súlyos biodiverzitás-csökkenéssel és szén-dioxid-kibocsátással jár a gépek és munkálatok által, illetve az erdő terület csökkenése miatt. Az LCA vizsgálatok e tényezők beépítésével komplex képet nyújtanak a termelés hatásairól, és segítik a felelősségteljes tanúsítási rendszerek (pl. ASC - Akvakultúra Tanúsítási Tanács) elterjedését.

## 2.5.6. Főbb tanulságok és alkalmazható megoldások Magyarország számára

A nemzetközi példákból számos, Magyarország számára is hasznosítható tanulság vonható le.

- **Fenntartható takarmánystratégiák:** A növényi eredetű, valamint a rovarfehérjén és melléktermékeken alapuló takarmányok alkalmazása csökkentheti a termelés ökológiai lábnyomát. Ezek hazai fejlesztése és bevezetése hozzájárulhat a versenyképesebb, környezetbarát halgazdaságok kialakításához.
- **Technológiai innovációk:** A recirkulációs rendszerek (RAS) alkalmazása lehetővé teszi a víz- és energiahasználat optimalizálását, valamint a szennyezések minimalizálását. Magyarországon, különösen városi vagy ipari környezetekhez közel, ezek elterjedése elősegítheti a lokalizált, friss haltermékek előállítását (Tóthné 2005).
- **Adatgyűjtés és monitoring:** Az LCA hatékony alkalmazása pontos, fajspecifikus és rendszerhez illeszkedő adatokat igényel. A nemzetközi példák arra utalnak, hogy egy nemzeti szintű LCA adatbázis létrehozása nagyban segítené a hazai szereplők fenntarthatósági törekvéseit (Knowler et al. 2020).
- **Politikai és piaci ösztönzők:** Az EU által támogatott LCA-alapú tanúsítási rendszerek és a környezeti lábnyom feltüntetése a termékcímkéken előmozdíthatja a fenntarthatóbb fogyasztói döntéseket. Magyarországon is fontos lenne a szabályozási környezet fejlesztése ennek érdekében.

## 2.6. A magyar akvakultúra és az LCA kapcsolata

A hazai akvakultúra szektor számos lehetőséget rejt a fenntartható fejlődés előmozdítására, ugyanakkor komoly kihívásokkal is szembe kell néznie különösen a környezeti hatások csökkentésének, a vízkészletek hatékonyabb felhasználásának és a versenyképesség növelésének területén. Az életciklus-elemzés (LCA) ebben a kontextusban jelentős potenciállal bír: alkalmazása révén az ágazat szereplői képesek lehetnek pontosan feltérképezni tevékenységük ökológiai vonatkozásait, és olyan stratégiai döntéseket hozni, amelyek hosszú távon elősegítik a környezetkímélőbb és gazdaságilag is fenntarthatóbb működést (Tamaska és Mérey 2001).

### 2.6.1. A magyar akvakultúra helyzete és jellemzői

#### **Statisztikai áttekintés és ágazati struktúra**

A magyar akvakultúra szektor jelentős fejlődési lehetőségekkel bír, ugyanakkor környezeti és gazdasági kihívásokkal szembesül. A termelés évi 20-25 ezer tonna, amelynek 70%-át a ponty (*Cyprinus carpio*) adja, míg más fajok (busa (*Hypophthalmichthys*), csuka (*Esox lucius*), európai harsca (*Silurus glanis*), süllő (*Sander lucioperca*), szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*)) a diverzifikációt erősítik (European Commission 2020). A termelés alapja az extenzív és fél-intenzív tógazdálkodás, de terjednek a víztakarékosabb, ugyanakkor energiaigényesebb átfolyóvizes és RAS rendszerek is (Szathmári és Tenk et al. 2004, Gálos et al. 2015).

#### **Termelési rendszerek és technológiai sajátosságok**

Hazánkban a domináns termelési forma a tógazdasági akvakultúra, amely kiterjedt, extenzív vagy fél-intenzív technológiával működik (Szathmári és Tenk et al. 2004). Az ilyen rendszerek nagy területigénnyel bírnak, azonban alacsonyabb energiafelhasználás mellett működnek, és szoros kapcsolatban állnak a helyi ökoszisztémákkal (Gálos et al. 2015, Czímber és Gálos 2016).

Emellett egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az átfolyóvizes rendszerek, elsősorban a pisztráng- és süllőtenyésztés területén, valamint az újonnan telepített recirkulációs akvakultúra rendszerek (RAS), amelyek lehetővé teszik a víz zárt körforgásban történő hasznosítását, és csökkentik a kibocsátások mennyiségét. Ez utóbbi technológia jelentős beruházást igényel, ugyanakkor ígéretes lehetőségeket kínál a városi vagy ipari környezetekhez közel eső termelés számára is.

## 2.6.2. Fenntarthatósági kihívások a magyar haltermelésben

### **Takarmányalapanyagok környezeti vonatkozásai**

A takarmánykérdés kulcsfontosságú a hazai akvakultúrában is, különösen az intenzívebb rendszerekben. A halhús előállítása során felhasznált takarmány jelentős része importból származik, gyakran hosszú szállítási láncokon keresztül. Ennek következtében a takarmány előállításához és szállításához kapcsolódó üvegházhatásúgáz-kibocsátás jelentős tényezőként jelenik meg az LCA értékelésekben (Führer és Mátyás 2005, Siposné et al. 2007, Móricz et al. 2013). További problémát jelenthet a halliszt és halolaj felhasználása, amely túlhalászott állományok kizsákmányolásához is vezethet. Bár a hazai tógazdaságok jellemzően természetes táplálékforrásokra és kiegészítő takarmányozásra építenek, az intenzív rendszerek esetében a takarmány összetételének optimalizálása kulcsfontosságú lehet a fenntarthatósági mutatók javításában (Gálos et al. 2015, Woynárovich et al. 2019).

### **Melléktermékek kezelése és hulladékgazdálkodás**

A haltermelés során keletkező szerves hulladék, mint például az elpusztult halak, iszap, illetve feldolgozásból származó melléktermékek, megfelelő kezelése kiemelt környezetvédelmi kérdés (Czímber és Gálos 2016). Jelenleg ezek nagy része nem kerül újrahasznosításra, vagy csak korlátozott módon. Az LCA módszertan segíthet a hulladékkezelési lehetőségek környezeti és gazdasági értékelésében, valamint azonosíthatja azokat a mellékáramokat, amelyek például biogázként, trágyázási célra vagy takarmány-kiegészítőként hasznosíthatók lennének (Sangwon és Shinichiro 2007, Móricz et al. 2013).

### **Vízgazdálkodás és klímaváltozási kockázatok**

Magyarország vízkészletei bár regionálisan bőségesnek tűnnek, a klímaváltozás hatására növekszik a vízellátási instabilitás. A tógazdaságok fokozottan ki vannak téve az aszályos időszakoknak, csapadékhiánynak, illetve a hőmérsékleti szélsőségeknek, amelyek befolyásolják a halak növekedési ütemét és mortalitását (Polgár 2012, Simon 2012). Az átfolyóvízes és RAS rendszerek vízfelhasználása, ha hatékonyan menedzselt alacsonyabb lehet, viszont nagyobb energiaigénnyel járnak (Van 2013). Az LCA ilyen esetekben képes rámutatni az egyes technológiák közötti kompromisszumokra, és elősegítheti a vízhatékonyságra épülő döntéshozatalt (Phillis et al. 2019).

### 2.6.3. Hogyan segíthet az LCA a magyar halgazdaságok fenntarthatóságában?

#### **Költségcsökkentés és gazdasági versenyképesség**

Az életciklus-elemzés nem csupán környezeti szempontból szolgálhat támpontként, hanem gazdasági előnyöket is kínál. Az LCA segítségével a gazdaságok képesek feltérképezni, hogy a termelési folyamat mely pontjain jelennek meg felesleges energia- vagy nyersanyagfelhasználások, és ezek optimalizálásával csökkenthetők a költségek (Salin et al. 2018). A takarmányhasználat hatékonyságának javítása, a vízveszteségek mérséklése vagy az energiaforrások megújulóra történő cseréje mind hozzájárulhat a profitabilitás növeléséhez és a fenntartható versenyképesség eléréséhez (Polgár et al. 2012, Horváth et al. 2017).

#### **Tanúsítási rendszerek és piacra jutás**

A nemzetközi piacokon egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a fenntarthatósági tanúsítványok, mint például az Aquaculture Stewardship Council (ASC) vagy a GLOBALG.A.P., amelyek elnyerésében az LCA eredmények kulcsszerepet játszanak (Samuel-Fitwi et al. 2012). A hazai gazdaságok számára ezek a tanúsítványok lehetőséget teremtenek a prémium piacok elérésére, az exportbővítésre, valamint a fogyasztói bizalom erősítésére (Huijbregts 2001). Az LCA-alapú transzparens kommunikáció a termékek ökológiai teljesítményéről komoly versenyelőnyt jelenthet a jövőben.

#### **Jövőbeli kutatási irányok és fejlesztési lehetőségek:**

Magyarországon jelenleg kevés átfogó LCA vizsgálat készült a különféle akvakultúra rendszerekre, így komoly lehetőség rejlik egy nemzeti szintű, részletes adatgyűjtésen és egységes módszertanon alapuló kutatási program létrehozásában (McGrath et al. 2015). Kiemelten fontos lenne továbbá a PEF (Product Environmental Footprint) hazai adaptációja az akvakultúrára, amely lehetővé tenné az európai összehasonlítást (Menke et al. 1996). Az innovációs potenciál különösen nagy a recirkulációs rendszerek digitalizációjában, a bioszenzoros monitoringban, valamint az alternatív takarmányforrások környezeti értékelésében.

### III. Anyag és módszer

A kutatás célja az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazásának mértékét és hatékonyságát, de első sorban ismeretét vizsgálni a magyar akvakultúra szektorban. Az LCA módszertan lehetőséget biztosít a halgazdálkodás környezeti hatásainak felmérésére és a fenntarthatóság szempontjából fontos mérőszámok meghatározására. Különösen fontos a szektor számára, mivel jelentős hatással van a vízi ökoszisztémákra és a környezeti erőforrások fenntarthatóságára. A kutatás célja, hogy bemutassa, miként alkalmazzák az LCA módszertant a magyar halgazdálkodásban, és milyen kihívásokkal szembesülnek a gazdálkodók annak bevezetése során (Eranus et al. 2004).

A kutatás adatgyűjtése kérdőíves formában zajlott, amely lehetőséget biztosított arra, hogy közvetlenül a gazdálkodók véleményét és tapasztalatait gyűjtssem össze az LCA alkalmazásáról és ismeretéről. A kérdőíves kutatás megbízható adatokat szolgáltatott, figyelembe véve a halgazdálkodás különböző aspektusait és az iparági sajátosságokat. A kérdőívet az LCA módszertan és annak gyakorlati alkalmazásáról végzett szakirodalmi kutatás alapján dolgoztam ki, és a gazdálkodók napi munkáját, valamint az akvakultúra szektor kihívásait is figyelembe vettem (Malhotra et al. 2017).

A kérdőív kialakításakor figyelmet fordítottam a fenntarthatóság alapelveire és a gazdálkodók szaktudására. A kérdéseket úgy formáltam meg, hogy azok relevánsak és érthetőek legyenek a válaszadók számára. A kérdések különböző típusú válaszlehetőségeket tartalmaztak; egyszerű választások, Likert-skála, és nyitott kérdések, amelyek lehetőséget adtak a gazdálkodóknak véleményük kifejtésére. A kérdőív pontosítása során a szakértők visszajelzései alapján finomítottam a kérdéseket, hogy azok még inkább tükrözzék a gazdálkodók mindennapi problémáit és a módszertan alkalmazásának gyakorlati kihívásait (Héra és Ligeti 2010). Végül egy 14 kérdésből álló kérdéssor került kiadásra.

A kérdőíves adatgyűjtés során a válaszadók részvételét önkéntesség alapján biztosítottam, és az adatvédelmi előírásoknak megfelelően minden válaszadó névtelenül vett részt a kutatásban. A válaszadók kiválasztásakor szándékosan biztosítottam, hogy a minta reprezentálja a magyar akvakultúra szektor különböző típusait és méretű gazdaságait. A kutatás során összesen 36 gazdálkodó töltötte ki a kérdőívet, akik a halgazdálkodás különböző aspektusait képviselték, beleértve a kisebb vállalkozásokat és a nagyobb ipari rendszereket is (Babbie 2013).

A kérdőívet elektronikus úton és papír alapon is eljuttattam a válaszadókhöz, hogy biztosítsam a gyors adatgyűjtést és könnyű hozzáférhetőséget. A kérdőívet előzetesen teszteltem egy kisebb csoporton (pilot csoport), hogy elkerüljem a kérdések félreértését. Az adatgyűjtés során ellenőrző kérdéseket is beépítettem, hogy megbizonyosodjak arról, hogy a válaszadók a kérdéseket helyesen értették és pontosan válaszoltak (Malhotra et al. 2017). Az adatgyűjtés során folyamatosan emlékeztetőket küldtem, hogy biztosítsam a magas válaszadási arányt.

Az adatfeldolgozást Excel szoftver segítségével végeztem, amely lehetővé tette a kvantitatív adatok gyors rendszerezését és elemzését. Az adatokat leíró statisztikai módszerekkel, például gyakorisági elemzéssel, átlagokkal, százalékolással és összesítéssel számoltam. Ezzel részletes képet kaptam az LCA alkalmazásának elterjedtségéről, hatékonyságáról és ismeretéről a magyar akvakultúra szektorban. Az Excel lehetővé tette a leggyakrabban előforduló válaszok azonosítását és segített megérteni a gazdálkodók fenntarthatósággal kapcsolatos attitűdjeit (Babbie, 2013).

A válaszokat tematikus csoportosítás segítségével dolgoztam fel. A kódolás során a válaszokat kategóriákba soroltam, hogy azonosíthassam a legfontosabb témákat, amelyek az LCA alkalmazásával kapcsolatosak. Az elemzés lehetőséget adott arra, hogy feltérképezsem azokat a kihívásokat, amelyeket a gazdálkodók az LCA bevezetésében látnak, és meghatározzam azok gyakorlati hasznát a gazdaságokban (Newing et al. 2011).

A kutatás során figyelmet fordítottam az etikai és jogi megfelelésre, így minden válaszadó számára biztosítottam az adatkezelésről szóló tájékoztatást, és lehetőséget adtam számukra, hogy bármikor visszavonják hozzájárulásukat. Az adatfeldolgozás során ügyeltem arra, hogy az összegyűjtött válaszokat, anonim módon kezeljem (Eranus et al. 2004, Héra és Ligeti 2010, Malhotra et al. 2017).

## **Az Életciklus Elemzés (Life Cycle Assessment) áttekintése az akvakultúra-halgazdálkodási ágazatban**

**Tisztelt Cégvezető Asszony/Úr!**

Tegzes Szabina vagyok, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet hallgatója, és ezen képzés keretében a szakdolgozatom témájául a halgazdálkodási-akvakultúra szektorunk Életciklus Elemzéssel kapcsolatos ismereteit kívánom felmérni és tárgyalni.

Ezen dolgozat egyik alapja a jelen kérdőív ágazati vállalkozások vezetőivel való kitöltetése és értékelése. Szeretném Önnek jelezni, hogy a válaszokat bizalmasan kezelem, azokat előzetes hozzájárulás nélkül nem közlöm, és a levont következtetéseket az Ön rendelkezésére bocsátom.

**A kérdőív kitöltését ezúton is köszönöm!**

**Tisztelettel:**

**Tegzes Szabina sk.**

1. Mi a vállalkozásának fő profilja?

- Tógazdasági haltermelés
- Intenzív akvakultúra
- Halfeldolgozás
- Horgásztatás
- Vegyes profil

2. Hallott már az életciklus-elemzésről (LCA)?

- Igen, jól ismerem
- Igen, hallottam róla, de nem igazán ismerem
- Nem, még nem hallottam róla
- Egyéb, éspedig:

**1a. ábra** Kiküldött kérdőív kérdései (saját kép)

3. Ön szerint a haltermelés során fontos lehet az életciklus-elemzés?
- Igen, biztosan hasznos
  - Talán, de nem tudom, pontosan mire jó
  - Nem gondolom, hogy fontos lenne
  - Egyéb, éspedig:
4. Ha ismeri az LCA-t, milyen forrásból hallott róla?
- Szakmai konferencia vagy képzés
  - Kollégák, ismerősök
  - Online cikkek vagy szakirodalom
  - Egyéb, éspedig:
5. Alkalmazott már LCA-t vagy más környezeti hatásvizsgálatot a gazdaságában?
- Igen, rendszeresen végzünk ilyen vizsgálatokat
  - Igen, egyszer-kétszer már volt ilyen vizsgálat
  - Nem, de érdekelne a lehetőség
  - Nem, és nem is látom szükségét
6. Ha még nem alkalmazott LCA-t, mi az oka ennek?
- Nem ismerem a módszert
  - Túl drága lenne az alkalmazása
  - Nem látom a gyakorlati hasznát
  - Nincs rá időm vagy kapacitásom
  - Egyéb, éspedig:
7. Ha lehetősége lenne egy egyszerű, gazdaságra szabott LCA-elemzésre, érdekelné?
- Igen, mindenképpen
  - Talán, ha nem igényel túl sok erőforrást
  - Nem, mert nincs rá szükségem
  - Egyéb, éspedig:
8. Mennyire tartja fontosnak a fenntarthatóságot a saját gazdasága szempontjából?
- Nagyon fontos, tudatosan törekszem rá
  - Fontos, de nem mindig van rá lehetőség
  - Nem igazán szempont számomra
  - Egyéb, éspedig:

**1b. ábra** Kiküldött kérdőív kérdései (saját kép)

---

9. Alkalmaz-e valamilyen fenntartható megoldást a gazdaságában? (több válasz is megjelölhető)

- Igen, energiatakarékos technológiákat használok
- Igen, próbálok fenntartható takarmányokat alkalmazni
- Igen, figyelek a vízhasználat optimalizálására
- Nem alkalmazok kifejezetten fenntartható megoldásokat
- Egyéb, éspedig:

10. Milyen szempontok alapján választja ki a halak takarmányát? (több válasz is megjelölhető)

- Ár
- Minőség, fehérjetartalom
- Beszerezhetőség
- Fenntarthatóság, környezeti hatás
- Egyéb, éspedig:

11. Hallott már alternatív takarmány-alapanyagokról, mint például rovarfehérje vagy melléktermék-alapú takarmány?

- Igen, és már használok is ilyeneket
- Igen, de még nem próbáltam ki
- Nem, még nem hallottam ezekről
- Egyéb, éspedig:

12. Mi lenne a legnagyobb akadálya annak, hogy bevezesse az LCA-t a gazdaságában? (több válasz is megjelölhető)

- Túl bonyolult a módszer
- Túl drága lenne az elemzés elvégzése
- Nincs rá időm
- Nem látom, hogy mit nyernék vele
- Egyéb, éspedig:

13. Ha lenne egy egyszerű, ingyenes LCA útmutató vagy szoftver, amely segítene az elemzésben, használná?

- Igen, mindenképpen
- Talán, ha nem túl időigényes
- Nem, mert nem érdekel

14. Egyéb észrevétel, megjegyzés, javaslat vagy tanács?

**1c. ábra** Kiküldött kérdőív kérdései (saját kép)

## IV. Eredmények és értékelésük

### 4.1. Az LCA módszertan ismertsége és megítélése a magyar haltermelésben

A kérdőívet 36 fő töltötte ki anonim módon. Az így nyert adatok nem reprezentatív mintát jelentenek a teljes hazai akvakultúra-ágazatra nézve, ugyanakkor szakirodalmi adatokkal összevetve hasznos alapinformációkkal szolgálnak a magyar haltermelés szerkezeti sajátosságairól. Az eredmények segítenek megérteni, hogy a gazdálkodók milyen tevékenységi körben működnek, és milyen lehetőségeik vannak az életciklus-elemzés (LCA) gyakorlati alkalmazására.

#### 4.1.1. A vállalkozások fő profilja

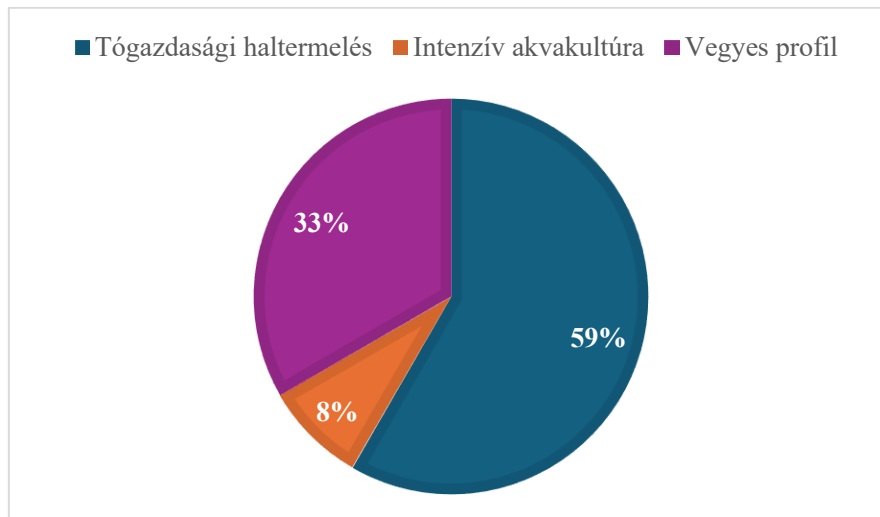
Az 1. ábra alapján a válaszadók közel kétharmada (59%) tógazdasági haltermeléssel foglalkozik. Ez az arány jól tükrözi a hazai halgazdaságok történeti beágyazottságát, hiszen a magyar akvakultúra hagyományosan a tavi pontytenyésztésre épül. A módszer extenzív jellegéből fakadóan környezetileg kedvezőbb, ugyanakkor fajlagos termelékenysége alacsonyabb, mint az intenzív rendszereké.

Az intenzív akvakultúra 8%-os arányban (3 vállalkozás) jelent meg, ami arra utal, hogy Magyarországon e technológia még viszonylag kevéssé elterjedt. Ennek hátterében a magas beruházási költségek, az energiaigény, valamint a piaci korlátok állhatnak. Ugyanakkor a nemzetközi szakirodalom szerint az intenzív rendszerek hosszú távon kulcsszerepet tölthetnek be a fenntartható és hatékony fehérjetermelésben, különösen a recirkulációs technológiák fejlődésével.

A vegyes profilú vállalkozások aránya 33% (12 kitöltő), ami arra enged következtetni, hogy számos gazdálkodó több lábon áll, és a termelést egyéb tevékenységekkel kombinálja. Ez a diverzifikáció hozzájárul a gazdasági stabilitáshoz és a piaci alkalmazkodóképességhez, ami a klímaváltozás és a gazdasági bizonytalanságok korában egyre fontosabb szempont.

Figyelemre méltó, hogy sem a halfeldolgozás, sem a horgásztatás nem jelent meg önálló fő profilként. Ez azt mutatja, hogy a hazai ágazatban a feldolgozási kapacitások még mindig korlátozottak, illetve a rekreációs célú hasznosítás nem tekinthető elsődleges gazdasági tevékenységnek. Holott mindkét területben rejlene potenciál a hozzáadott érték növelésére, illetve a vidéki gazdaságok diverzifikálására.

Elmondható, hogy a magyar akvakultúra szerkezetét jelenleg a hagyományos tógazdasági haltermelés határozza meg, kiegészítve egy jelentős vegyes profillal. Az intenzív rendszerek és a feldolgozás háttérbe szorulása ugyanakkor azt jelzi, hogy az ágazat modernizációja és piaci fejlesztése még további lehetőségeket rejt.



**2. ábra** A válaszadók vállalkozásának fő profilja

#### 4.1.2. Hallott már az életciklus-elemzésről (LCA)?

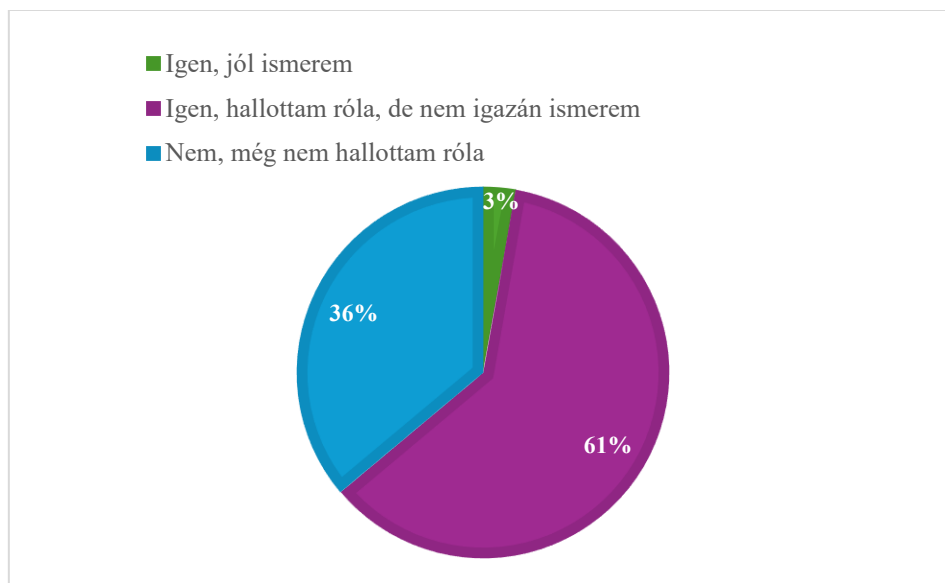
A válaszadók körében az életciklus-elemzés (LCA) ismertsége meglehetősen korlátozott. A kitöltők mindössze 3%-a jelezte, hogy jól ismeri a módszertant, ami arra utal, hogy a hazai akvakultúra-ágazatban az LCA még nem vált a mindennapi gyakorlat részévé. Ez különösen szembetűnő annak fényében, hogy a fenntarthatósági stratégiák és a környezetbarát technológiák bevezetése szorosan kapcsolódik az ilyen típusú elemzések alkalmazásához.

A válaszadók többsége (61%) hallott ugyan az LCA-ról, de nem rendelkezik alapos ismeretekkel. Ez az arány azt mutatja, hogy a módszer fogalma jelen van a szakmai köztudatban, ugyanakkor a gyakorlati alkalmazás és a mélyebb megértés még hiányzik. A szakirodalom alapján az LCA sikeres elterjedésének feltétele a célzott oktatás, a módszertani képzések, valamint az olyan adatbázisok és eszközök elérhetővé tétele, amelyek a gazdálkodók számára megkönnyítik az alkalmazást.

A válaszadók 36%-a még soha nem hallott az LCA-ról. Ez a jelentős arány egyértelműen rávilágít arra, hogy a módszer bevezetéséhez szélesebb körű ismeretterjesztésre van szükség.

Mivel az LCA segítheti a termelési folyamatok környezeti hatásainak csökkentését, az információhiány egyúttal gátja lehet a fenntarthatóbb gazdálkodási gyakorlatok elterjedésének.

Összességében az eredmények azt mutatják, hogy a magyar akvakultúra-ágazatban az LCA módszertan még gyermekcipőben jár; bár a fogalom ismert a többség számára, a gyakorlati alkalmazás hiánya és a szakmai tudás korlátozottsága indokolja, hogy az oktatásban, a szaktanácsadásban és a kutatás-fejlesztési programokban hangsúlyosabb szerepet kapjon. Ez hosszú távon hozzájárulhat ahhoz, hogy a hazai termelők is bekapcsolódjanak a nemzetközi fenntarthatósági trendekbe, és erősítsék versenyképességüket.



**3. ábra** Az LCA módszertan ismertsége a gazdálkodók körében

#### 4.1.3. Ön szerint a haltermelés során fontos lehet az életciklus-elemzés?

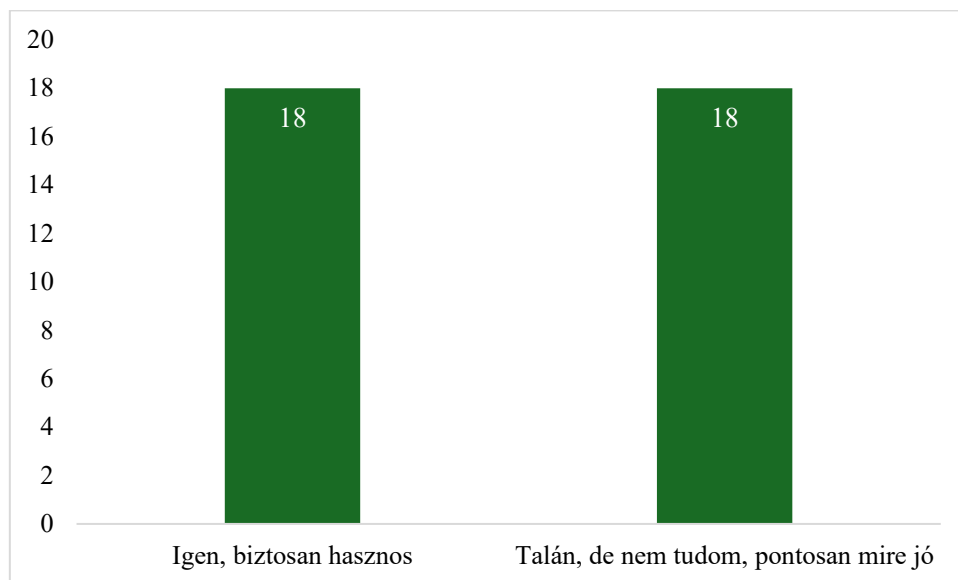
Ebben a kérdésben a válaszadók megosztóak az LCA haltermelésben betöltött szerepével kapcsolatos ismereteiket. A kitöltők fele (18 fő) egyértelműen hasznosnak tartja az életciklus-elemzést, míg a másik fele (szintén 18 fő) bizonytalan, és bár hallott róla, nem tudja pontosan, milyen előnyökkel járhat.

Ez a megosztottság jól illusztrálja, hogy a magyar haltermelő vállalkozások körében az LCA gyakorlati alkalmazhatóságáról nincs egységes kép. Azok, akik felismerik a módszer hasznát, valószínűleg tisztában vannak vele, hogy az LCA képes feltárni a termelési folyamatok környezeti terhelését, és alapot nyújthat a fenntarthatóbb gyakorlatok kialakításához. A

bizonytalan válaszok ugyanakkor azt jelzik, hogy a gazdálkodók jelentős része még nem rendelkezik kellő információval ahhoz, hogy reálisan értékelje a módszer előnyeit.

Érdeemes kiemelni, hogy egyik válaszadó sem utasította el egyértelműen az LCA szükségességét („Nem gondolom, hogy fontos lenne” kategóriába senki nem került). Ez arra utal, hogy a szakmai közeg nyitott az új módszertanok befogadására, még akkor is, ha azok tartalmáról és gyakorlati jelentőségéről nem áll rendelkezésre elegendő tudás.

A válaszok tehát kettős képet adnak: az LCA iránti érdeklődés és a pozitív attitűd jelen van, ugyanakkor az ismerethiány akadályozza a módszertan szélesebb körű elterjedését. Ez az eredmény megerősíti, hogy a további oktatás, szaktanácsadás és gyakorlati példák bemutatása kulcsfontosságú lehet ahhoz, hogy a magyar haltermelők valóban hasznosítani tudják az LCA kínálta előnyöket.



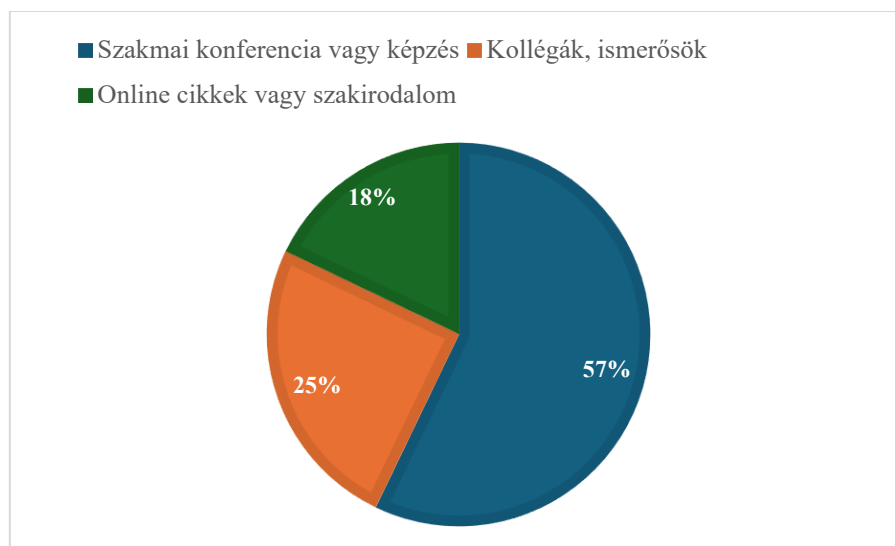
**4. ábra** Az LCA hasznosságának megítélése a haltermelésben

#### 4.1.4. Ha ismeri az LCA-t, milyen forrásból hallott róla?

Az eredmények azt mutatják, hogy a válaszadók többsége (57%) szakmai konferenciákon vagy képzéseken találkozott először az LCA fogalmával. Ez azt jelzi, hogy a módszertan elsősorban a formális oktatás és a szakmai rendezvények keretében jut el a gazdálkodókhoz, vagyis intézményesített csatornákon keresztül terjed. A képzési és konferencia-részvétel kulcsszerepet játszhat abban, hogy a gazdálkodók pontosabb és hitelesebb ismereteket szerezzenek az életciklus-elemzésről.

A második leggyakoribb forrás a kollégák és ismerősök révén történő információszerzés (25%). Ez az arány rávilágít a szakmai közösségek és a személyes kapcsolati hálók jelentőségére, amelyek informális tudásátadási csatornaként működnek. Ugyanakkor az ilyen forrásból származó információ gyakran kevésbé strukturált és hiányos lehet, ezért nem biztosítja a módszer átfogó megértését.

Az online cikkekből és szakirodalomból való tájékozódás a válaszadók 18%-át jellemzi. Ez viszonylag alacsony arány, amely arra utal, hogy a digitális és tudományos forrásokhoz való hozzáférés, illetve azok aktív használata nem minden gazdálkodó számára egyértelmű vagy elérhető. Pedig a nemzetközi gyakorlatok és kutatási eredmények megismerése ezen a csatornán keresztül lenne a leggyorsabban lehetséges. Az „egyéb” kategória aránya elhanyagolható, ami azt mutatja, hogy az LCA ismeretek elsősorban a fent említett három fő csatornán keresztül jutnak el a válaszadókhoz.



5. ábra Az LCA-val kapcsolatos ismeretek forrásai

#### 4.1.5. Összegzés

Összességében a vizsgálat rámutatott arra, hogy a magyar akvakultúra szerkezete még mindig a hagyományos tógazdasági termelésre épül, miközben az ágazat modernizációs lehetőségei kihasználatlanok. Az LCA módszertan ugyan ismert a termelők többsége számára, de mélyebb szakmai tudás és gyakorlati alkalmazás híján jelenleg még nem képezi a mindennapi működés részét. A gazdálkodók pozitív attitűdje és érdeklődése azonban egyértelműen jelzi a módszer iránti nyitottságot. Mivel az ismeretek döntően szakmai képzésekből és szervezeti közvetítéssel jutnak el a termelőkhez, a módszertan hazai elterjedésének kulcsa az oktatási, szaktanácsadási és kommunikációs csatornák megerősítése lehet. E tényezők együttesen alapozhatják meg, hogy a magyar haltermelés szorosabban illeszkedjen a nemzetközi fenntarthatósági trendekhez.

## 4.2. Az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazásának gyakorlata

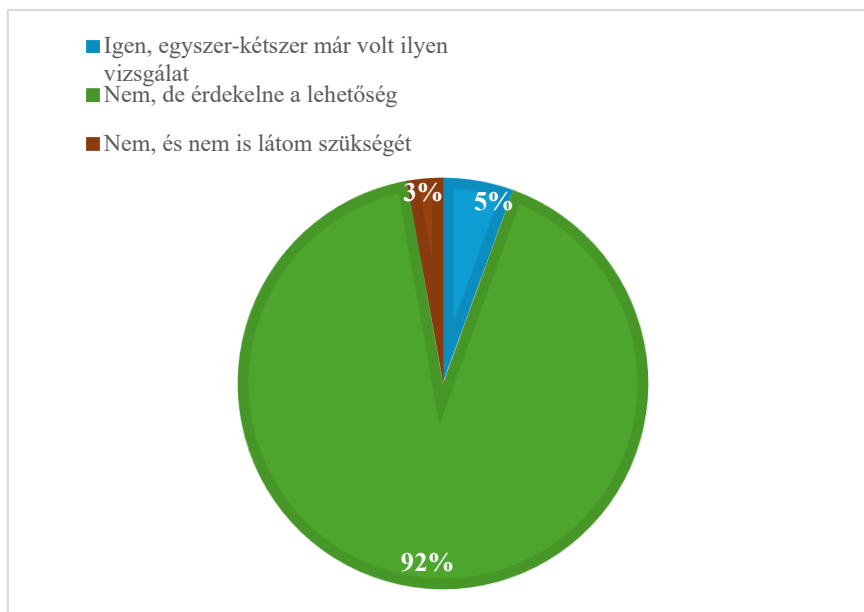
### 4.2.1. Alkalmazott már LCA-t vagy más környezeti hatásvizsgálatot a gazdaságában?

Az eredmények egyértelműen rávilágítanak arra, hogy a válaszadó gazdaságok döntő többsége (92%) nem végez környezeti hatásvizsgálatokat, és nem is látja annak szükségét. Ez az arány azt mutatja, hogy a fenntarthatósági szempontok mérése és számszerűsítése még nem épült be a magyar akvakultúra-ágazat mindennapi gyakorlatába. A szakirodalom alapján ennek hátterében több tényező állhat: a módszertani ismeretek hiánya, a megfelelő adatbázisok és eszközök korlátozott hozzáférhetősége, illetve a gazdálkodók részéről érzékelt idő- és költségráfordítás.

Mindössze 5% jelezte, hogy korábban egyszer-kétszer már volt hasonló vizsgálat a gazdaságában. Ez arra utal, hogy az LCA vagy más környezeti értékelési módszerek alkalmazása elszigetelt jelenség, és inkább eseti projektekhez, támogatásokhoz vagy kutatási együttműködésekhez kötődhet.

Rendszeres hatásvizsgálatot egyetlen válaszadó sem említett, ami arra enged következtetni, hogy a fenntarthatósági teljesítmény nyomon követése jelenleg nem képezi szerves részét a gazdaságirányításnak. Ugyancsak elenyésző (3%) azoknak az aránya, akiket nem érdekel és nem is látják szükségesnek az LCA lehetőség iránt, ami azt mutatja, hogy a gazdák többségét még nem sikerült megszólítani a környezeti értékelés fontosságáról.

Összességében az adatok azt sugallják, hogy a környezeti hatásvizsgálatok alkalmazása Magyarországon még nem elterjedt az akvakultúra területén. Ez ugyanakkor lehetőséget is rejt: a megfelelő szakmai tájékoztatás, a gyakorlati példák bemutatása és a gazdálkodók számára elérhető támogatási formák hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a módszertan hosszabb távon beépüljön a termelési gyakorlatba.



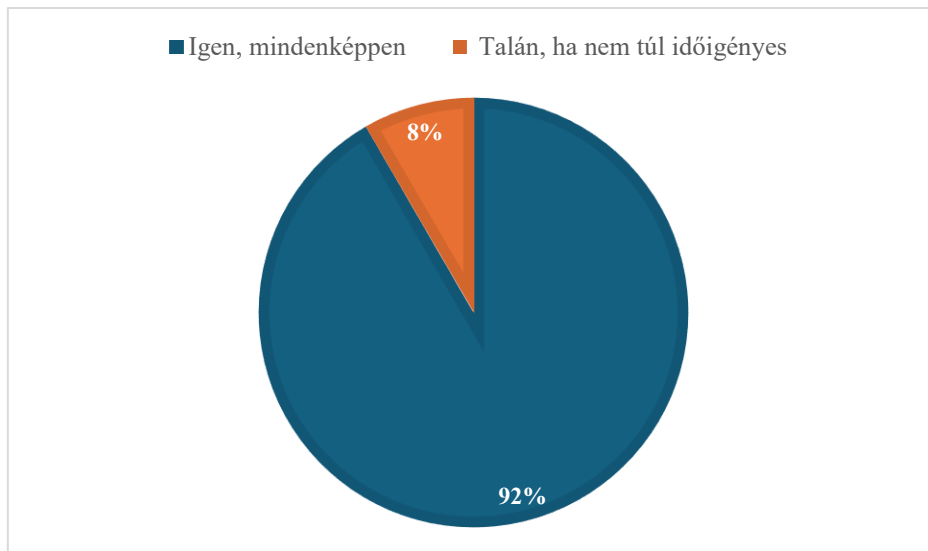
## 6. ábra Környezeti hatásvizsgálatok (LCA) alkalmazása a gazdaságokban

### 4.2.2. Ha lenne egy egyszerű, ingyenes LCA útmutató vagy szoftver, amely segítene az elemzésben, használná?

A válaszadók túlnyomó többsége (92%) kifejezetten nyitott lenne egy ingyenes LCA szoftver vagy gyakorlati útmutató használatára. Ez egyértelmű jelzés arra, hogy a gazdálkodók körében megvan az érdeklődés a módszertan alkalmazása iránt, amennyiben az egyszerű, költségmentes és könnyen hozzáférhető eszközök állnak rendelkezésre. A kitöltők 8%-a feltételes érdeklődést mutatott; számukra az jelentene akadályt, ha a használat túlzottan időigényes lenne. Ez a válasz arra világít rá, hogy a felhasználóbarát kialakítás és az időhatékonyság kulcstényezők a gyakorlati bevezetés során.

Fontos kiemelni, hogy egyetlen válaszadó sem jelezte, hogy egy ilyen lehetőség teljesen érdektelen lenne számára. Ez különösen figyelemreméltó, hiszen a korábbi ábrák azt mutatták, hogy az ismerethiány és a módszer bonyolultsága komoly akadályt jelent. A 7. ábra eredményei tehát rávilágítanak arra, hogy a gazdálkodók nyitottsága és motivációja megvan, a gátakat elsősorban a megfelelő eszközök hiánya okozza.

Az eredmények azt mutatják, hogy a magyar haltermelő gazdaságok számára a legnagyobb segítséget egy gyakorlatorientált, könnyen kezelhető és ingyenesen elérhető LCA-eszköz vagy útmutató jelentené. Ennek biztosítása nemcsak a módszertan elterjedését segítené, hanem hosszú távon a fenntarthatóbb termelési gyakorlatok megerősödését is előmozdíthatná.



7. ábra Érdeklődés ingyenes LCA-szoftver vagy útmutató használata iránt

#### 4.2.3. Összegzés

Az eredmények azt mutatják, hogy Magyarországon az akvakultúra termelésében az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazása jelenleg igen korlátozott. Míg nemzetközi szinten a módszertan egyre inkább a környezeti fenntarthatósági értékelés alapvető eszközévé válik, a hazai haltermelő gazdaságokban annak implementációja még nem jellemző. Ez a hiány ugyan akadályt jelent a környezeti hatások átfogó vizsgálatában, ugyanakkor lehetőséget is hordoz a jövőbeli adaptációra.

## 4.3. Fenntartható takarmányozási gyakorlatok a magyar halgazdaságokban

### 4.3.1. Milyen szempontok alapján választja ki a halak takarmányát?

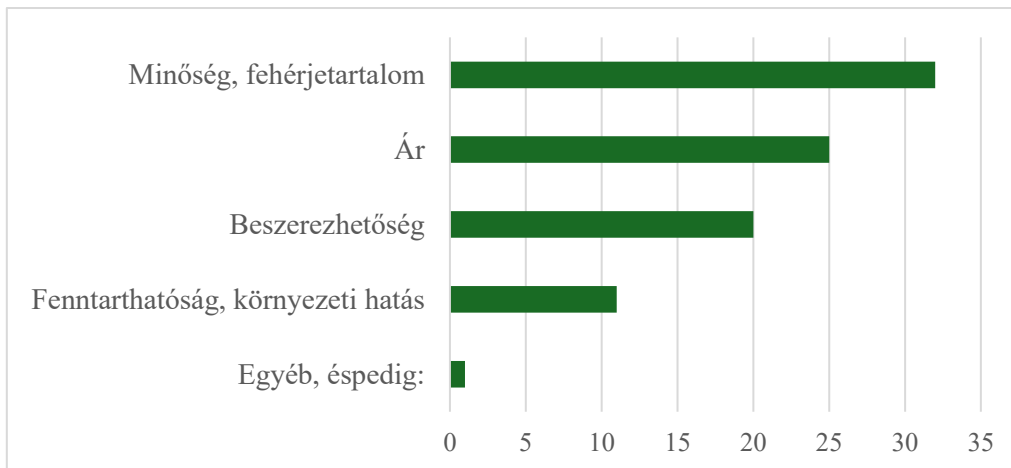
Ebben a kérdésben több válasz megjelölésére is lehetőség volt. Az eredmények alapján a gazdálkodók számára a legfontosabb szempont a takarmány minősége és fehérjetartalma volt, mivel 32 alkalommal jelölték ezt elsődleges kritériumként. Ez jól mutatja, hogy a termelők számára a halak egészséges fejlődése és a jó növekedési mutatók elérése a legfontosabb tényező, amely közvetlenül összefügg a gazdaság jövedelmezőségével.

A második leggyakrabban említett szempont az ár 25 alkalommal jelölték. Ez arra utal, hogy a gazdasági tényezők erősen befolyásolják a döntéshozatalt, hiszen a takarmány az akvakultúra egyik legnagyobb költségeleme. A termelők számára tehát elengedhetetlen, hogy a költségek és a minőség között egyensúlyt találjanak.

A beszerezhetőség 20 alkalommal jelölték ezért szintén fontos szerepet játszik, különösen kisebb gazdaságok esetében, ahol a takarmányhoz való hozzáférés korlátozottabb lehet. Ez a tényező arra világít rá, hogy a logisztikai és ellátási lánc kérdései ugyanolyan jelentősek, mint a gazdasági szempontok.

A fenntarthatóság és a környezeti hatás viszonylag kisebb súllyal szerepelt a válaszokban 11 jelöléssel. Bár ez még nem domináns tényező, mindenképpen biztató jel, hogy a gazdálkodók egy része már most is figyelembe veszi a környezeti szempontokat a takarmányválasztás során. Ez a jövőben, a fenntartható akvakultúra fejlődésével várhatóan tovább erősödik.

A **8. ábra** azt mutatja, hogy a gazdálkodók döntéseit jelenleg elsősorban a termelési hatékonyságot és a költségeket közvetlenül befolyásoló tényezők irányítják. A környezeti szempontok háttérben maradnak, de megjelenésük arra utal, hogy a fenntarthatósági szemlélet fokozatosan teret nyer a gyakorlatban.



**8. ábra** A halak takarmányválasztását befolyásoló szempontok

#### 4.3.2. Hallott már alternatív takarmány-alapanyagokról, mint például rovarfehérje vagy melléktermék-alapú takarmány?

Az eredmények szerint a válaszadók 78%-a hallott már alternatív takarmány-alapanyagokról, de még nem próbálta ki azokat. Ez azt mutatja, hogy a téma ismertsége széles körben jelen van a gazdálkodók körében, ugyanakkor a gyakorlati alkalmazásban még nem történt áttörés. Ennek hátterében a költségek, a hozzáférhetőség korlátai vagy az ismerethiány állhat.

A kitöltők 22%-a jelezte, hogy már használ alternatív takarmányt. Bár ez kisebbség, mégis fontos előrelépést jelent, hiszen a fenntarthatóbb takarmányozás az akvakultúra egyik kulcsterülete a környezeti lábnyom csökkentésében. Az alternatív fehérjeforrások (pl. rovarliszt, algák, melléktermékek) alkalmazása nemcsak ökológiai, hanem hosszabb távon gazdasági előnyöket is hozhat.

Érdeemes kiemelni, hogy a válaszadók között nem akadt olyan, aki még soha nem hallott volna az alternatív takarmányokról. Ez arra utal, hogy a fogalom és a lehetőség ismert a szakmai közegben, a kihívást inkább az alkalmazás gyakorlati megvalósítása jelenti.

Összességében a **9. ábra** eredményei azt hangsúlyozzák, hogy az alternatív takarmányozási lehetőségek bevezetéséhez további szemléletformálásra, kísérleti projektekre és gazdasági ösztönzőkre lenne szükség. A gazdálkodók nyitottsága adott, de a széles körű elterjedéshez gyakorlati támogatás elengedhetetlen.



**9. ábra** Alternatív takarmány-alapanyagok ismertsége és alkalmazása

#### 4.3.3. Összegzés

Összegzésként megállapítható, hogy a környezeti hatásvizsgálatok, köztük az LCA, alkalmazása a magyar akvakultúrában jelenleg még rendkívül korlátozott, ugyanakkor jelentős fejlődési potenciált hordoz. A kérdések ezen része rámutatott, hogy a gazdálkodók döntéseit elsősorban a termelési hatékonyságot és a költségeket közvetlenül befolyásoló tényezők irányítják, miközben a környezeti szempontok csak másodlagos szerepet kapnak. Ennek ellenére a válaszokból kirajzolódik a fenntarthatósági szemlélet fokozatos térnyerése.

## 4.4. Melléktermékek kezelése és újrahasznosítása

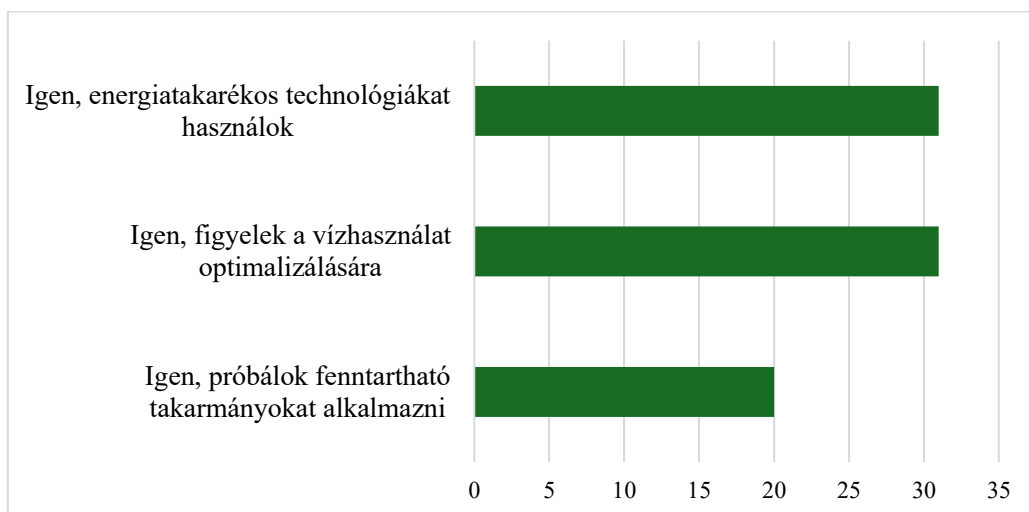
### 4.4.1. Alkalmaz-e valamilyen fenntartható megoldást a gazdaságban?

Az eredmények alapján a válaszadók jelentős része már most is alkalmaz valamilyen fenntartható megoldást a gazdaságában. A leggyakoribb intézkedések közé tartozik az energiatakarékos technológiák bevezetése és a vízhasználat optimalizálása, amelyeket a gazdálkodók közel azonos arányban említettek. Ez a két szempont kulcsfontosságú, mivel az energia- és vízfelhasználás az akvakultúra egyik legnagyobb környezeti terhelési tényezője.

További 20 válaszadó jelezte, hogy törekszik fenntartható takarmányok alkalmazására. Ez az eredmény kiemelendő, hiszen a takarmányozás a haltermelés egyik legnagyobb környezeti lábnyommal bíró eleme. Bár a fenntartható alternatívák még gyakran drágábbak vagy kevésbé elérhetők, a gazdák részéről mutatkozó nyitottság jelzi, hogy a jövőben e terület további fejlődést mutathat.

Érdeemes kiemelni, hogy alig akadt olyan válaszadó, aki ne alkalmazna semmilyen fenntartható megoldást. Ez azt mutatja, hogy a gazdaságok döntő többsége akár kisebb lépésekben is igyekszik csökkenteni a működésük környezeti terhelését.

Összességében a **10. ábra** adatai biztató képet festenek;/ hiszen/ugyanis/jól látható (bármi csak ne kettőspont!) a fenntarthatósági szemlélet nemcsak deklaratív szinten van jelen, hanem konkrét gyakorlati intézkedésekben is megnyilvánul. A legnagyobb potenciál a továbbiakban a takarmányozás és a technológiai fejlesztések terén rejlik, amelyek hosszabb távon jelentősen mérsékelhetik az ágazat környezeti hatásait.



**10. ábra** Fenntartható megoldások alkalmazása a gazdaságokban

## 4.5. Az LCA alkalmazásának és a fenntarthatósági intézkedéseknek az akadályai

### 4.5.1. Ha még nem alkalmazott LCA-t, mi az oka ennek?

Az eredmények alapján egyértelmű, hogy az LCA alkalmazásának legfőbb gátja a módszertan ismeretének hiánya. A válaszadók döntő többsége (91%) úgy nyilatkozott, hogy nem ismeri a módszert, ami összhangban van a korábbi diagramokkal, amelyek szintén az ismerethiányt azonosították a legnagyobb problémaként. Ez arra utal, hogy a tudásbővítés és a gyakorlati képzések hiánypótló szerepet tölthetnek be az ágazatban.

A gazdálkodók kis része (9%) a magas költségeket jelölte meg akadályként. Ez a válasz tükrözi azt az általános vélekedést, hogy az LCA végrehajtása jelentős anyagi ráfordítást igényel, különösen kis- és közepes vállalkozások számára. Ugyanakkor a nemzetközi példák alapján a költségek hosszú távon megtérülhetnek a környezeti hatások csökkentése és a hatékonyabb erőforrás-felhasználás révén.

Egy válaszadó említette, hogy nem látja a módszer gyakorlati hasznát. Ez az attitűd a tudáshiányból is fakadhat, hiszen a gazdálkodók többsége csak akkor tudná felismerni az LCA értékét, ha kézzelfogható példákon keresztül tapasztalná annak előnyeit.

Érdekes módon senki sem jelezte, hogy az idő- vagy kapacitáshiány lenne a fő akadály, holott a szakirodalomban gyakran ez a tényező is előkerül. Ez azt sugallja, hogy a magyar haltermelők számára jelenleg nem az időráfordítás, hanem sokkal inkább az információhiány jelenti a fő kihívást.

Összességében a **11. ábra** világosan rávilágít arra, hogy az LCA elterjedésének kulcsa az oktatás, a szemléletformálás és a gyakorlati példák bemutatása. A gazdálkodók elsősorban tudást és támogatást igényelnek ahhoz, hogy a módszert saját termelési környezetükben alkalmazni tudják.



**11. ábra** Az LCA alkalmazásának akadályai a válaszadók szerint

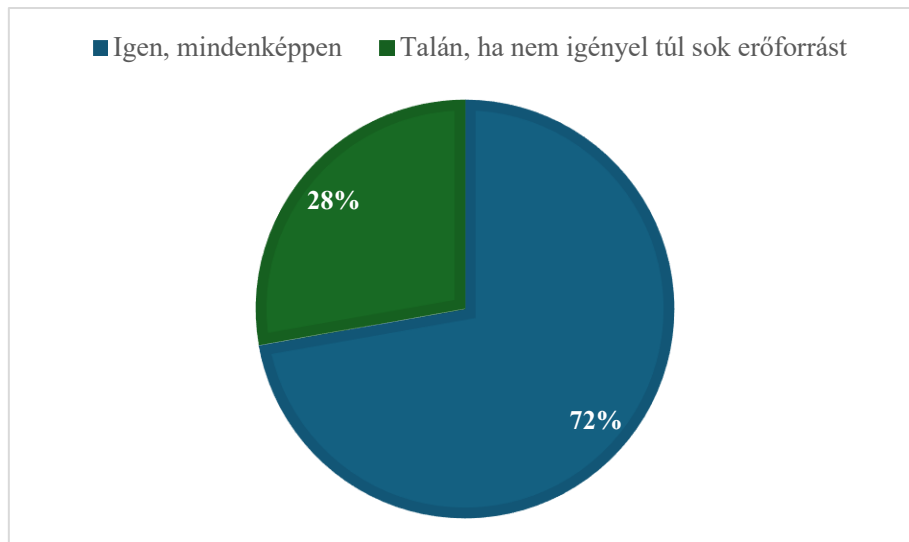
#### 4.5.2. Ha lehetősége lenne egy egyszerű, gazdaságra szabott LCA-elemzésre, érdekelné?

A válaszadók túlnyomó többsége (72%) kifejezetten érdeklődik egy olyan LCA-elemzés iránt, amely egyszerűen alkalmazható és kifejezetten a gazdaságuk sajátosságaihoz illeszkedik. Ez az eredmény biztató, hiszen azt mutatja, hogy a gazdálkodók nyitottak a fenntarthatósági módszerekre, amennyiben azok használata nem túl bonyolult és kézzelfogható előnyökkel jár.

További 10 válaszadó (28%) feltételes érdeklődést mutatott, ők abban az esetben alkalmaznák az LCA-t, ha annak bevezetése nem igényel túl sok időt, költséget vagy szakmai erőforrást. Ez a hozzáállás jól szemlélteti, hogy a gyakorlati alkalmazhatóság és a költséghatékonyság kulcsfontosságú tényezők a gazdák döntéseiben.

Fontos megjegyezni, hogy egyetlen válaszadó sem jelezte, hogy teljes mértékben elutasítaná az LCA-elemzés lehetőségét („nincs rá szükségem” kategória üresen maradt). Ez azt jelzi, hogy a fenntarthatósági szemlélet bevezetése alapvetően nem ütközik ellenállásba, sokkal inkább a megvalósítás módja, egyszerűsége és költségigénye határozza meg a befogadást.

Összességében a **12. ábra** eredményei azt hangsúlyozzák, hogy a magyar haltermelő gazdaságok nyitottsága az LCA iránt valós, de ennek gyakorlati elterjedése nagymértékben függ attól, hogy sikerül-e olyan egyszerűsített és felhasználóbarát eszközöket kialakítani, amelyek a gazdák mindennapi munkájába is beilleszthetők.



**12. ábra** Érdeklődés egyszerűsített, gazdaságra szabott LCA-megoldás iránt

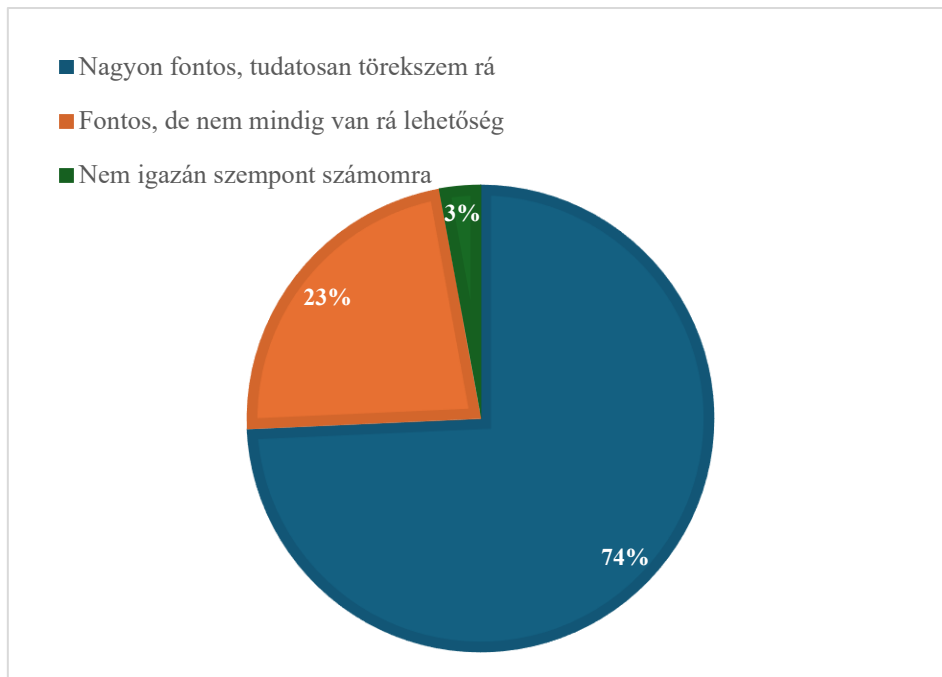
#### 4.5.3. Menyire tartja fontosnak a fenntarthatóságot a saját gazdasága szempontjából?

A válaszadók túlnyomó többsége, 74%-a úgy nyilatkozott, hogy a fenntarthatóság kiemelten fontos, és tudatosan törekszik annak érvényesítésére a gazdaság működtetése során. Ez az eredmény pozitív képet ad a hazai haltermelők hozzáállásáról, és arra utal, hogy a fenntartható szemlélet már jelen van a mindennapi döntéshozatalban.

A kitöltők közel egynegyede (23%) szintén fontosnak tartja a fenntarthatóságot, de úgy érzi, hogy gyakorlati megvalósítása nem mindig lehetséges. Ez a válasz jól mutatja a strukturális akadályokat: az erőforráshiányt, a piaci korlátokat vagy azokat a helyzeteket, amikor a gazdasági érdekek felülírják a környezeti szempontokat.

Mindössze 3% jelezte, hogy a fenntarthatóság nem jelent számára meghatározó szempontot. Bár ez alacsony arány, arra utal, hogy a szemléletformálás és az ismeretterjesztés továbbra is szükséges, hogy a fenntarthatósági törekvések valóban minden gazdálkodó számára alapvető értéké váljanak.

Összességében a **13. ábra** eredményei azt mutatják, hogy a fenntarthatóság elve a magyar haltermelők körében széles körben elfogadott. A gyakorlati megvalósítás nehézségei azonban továbbra is kihívást jelentenek, amelyeket megfelelő szakpolitikai intézkedésekkel, támogatásokkal és innovatív megoldásokkal lehetne enyhíteni.



**13. ábra** A fenntarthatóság fontossága a gazdaság működtetésében

#### 4.5.4. Mi lenne a legnagyobb akadálya annak, hogy bevezesse az LCA-t a gazdaságában?

A válaszadók szerint az LCA bevezetésének legnagyobb akadálya a módszer túlzott bonyolultsága, 25 alkalommal jelölték meg ezt a tényezőt. Ez egybecseng a korábbi eredményekkel, amelyek az ismerethiányt és a módszer gyakorlati nehézségeit hangsúlyozták. A gazdálkodók számára az LCA jelenleg túlságosan összetettnek és nehezen alkalmazhatónak tűnik a mindennapi gyakorlatban.

A második leggyakrabban említett akadály az időhiány (17 alkalommal). Ez azt mutatja, hogy a termelők napi feladatai mellett nem tudnak kellő kapacitást fordítani a módszerre, még akkor sem, ha annak előnyeit elismernék. Az időráfordítás csökkentése érdekében egyszerűsített, gazdaságra szabott LCA-megoldások jelenthetnek megoldást.

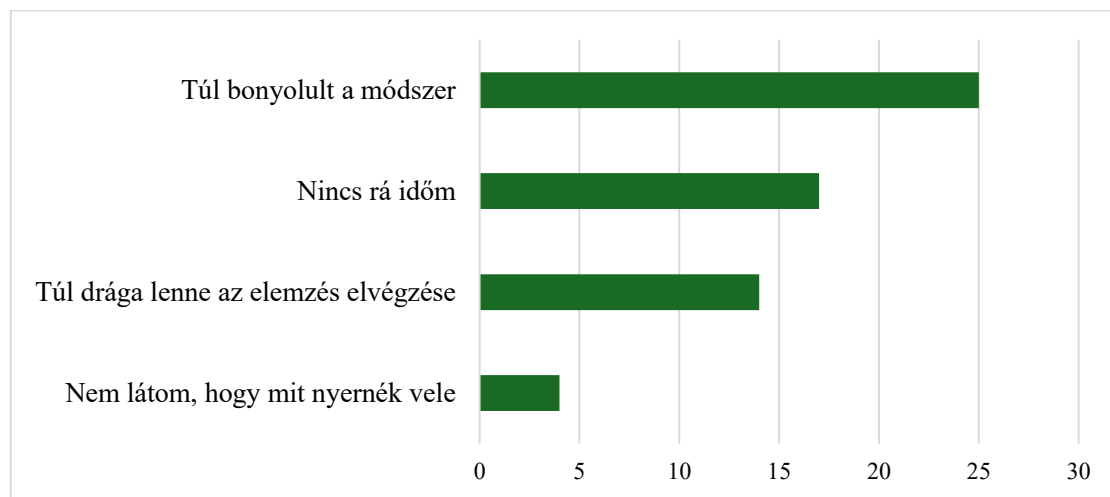
Hasonló súllyal jelent meg a magas költségigény (14 alkalommal). A válaszadók egy része úgy véli, hogy az elemzés elvégzése túl drága lenne a gazdaságuk méretéhez képest. Ez a percepció összhangban van más országok tapasztalataival is, ahol az LCA szélesebb körű alkalmazását sokszor pénzügyi akadályok hátráltatják.

Kevesebb, de mégis jelentős válaszadó (4 alkalommal) azt jelezte, hogy nem látja, mit nyerne az LCA-val. Ez a vélekedés szintén az ismerethiányból fakad, és azt mutatja, hogy a módszer

gyakorlati előnyeinek bemutatása például költségcsökkentés, hatékonyságjavítás, piaci előnyök - kulcsfontosságú a gazdálkodók meggyőzésében.

Mivel több válasz is adható volt, a diagram azt tükrözi, hogy a gazdálkodók egyszerre több tényezőt is akadállynak érzékelnek. A legnagyobb kihívást tehát nem egyetlen tényező, hanem a komplexitás, az idő- és költségigény együttesen jelenti.

Összességében a **14. ábra** arra világít rá, hogy az LCA elterjedésének kulcsa a módszer egyszerűsítése, a költségek mérséklése és a gyakorlati haszon szemléletes bemutatása. Ezek nélkül a gazdák nagy része továbbra is fenntartásokkal kezeli az alkalmazást.



**14. ábra** Az LCA bevezetésének fő akadályai (többválaszos kérdés)

#### 4.5.5. Összegzés

Összegzésként megállapítható, hogy a magyar haltermelők körében az LCA módszertan iránti nyitottság és elfogadottság jelen van, ugyanakkor gyakorlati alkalmazását számos tényező hátráltatja. A gazdálkodók elsősorban tudást, gyakorlati példákat és támogató eszközöket igényelnek ahhoz, hogy a módszert a mindennapi működésükbe beépíthessék. Bár a fenntarthatóság elve széles körben elfogadott, a megvalósítás nehézségei továbbra is komoly kihívást jelentenek. Az eredmények egyértelműen rámutatnak arra, hogy az LCA elterjedésének kulcsa a módszer egyszerűsítése, a költségek mérséklése, valamint a gyakorlati haszon világos bemutatása, amelyhez megfelelő szakpolitikai intézkedések és célzott támogatási formák nyújthatnak háttérrel.

## V. Következtetések és javaslatok

A vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy az életciklus-elemzés (LCA) módszertana fontos szerepet tölthet be a magyar akvakultúra fenntarthatósági kihívásainak kezelésében. A kérdőíves felmérés és a szakirodalom összevetése egyaránt rávilágított arra, hogy bár a módszer elméleti keretei ismertek a nemzetközi gyakorlatban, hazai szinten még kevésbé elterjedt, noha alkalmazása jelentős környezeti és gazdasági előnyökkel járhatna. Az alábbiakban az egyes kutatási kérdésekhez kapcsolódó főbb következtetéseket és javaslatokat ismertetem.

Az első kutatási kérdés azt vizsgálta, hogy a hazai haltermelők mennyire ismerik az LCA módszertanát, és milyen mértékben tájékozottak annak felhasználási lehetőségeiről. A válaszok alapján megállapítható, hogy a termelők nagy része csak részben van tisztában az LCA tartalmával és gyakorlati hasznával. Ez összhangban áll Iribarren és mtsai (2010b) megállapításaival, akik szerint a módszertan bevezetésének egyik fő akadálya az ismerethiány és a megfelelő adatbázisokhoz való hozzáférés korlátozottsága. Javasolt tehát, hogy a hazai szaktanácsadási rendszer és az egyetemi képzések nagyobb hangsúlyt fektessenek az LCA módszertani alapjainak és gyakorlati alkalmazásának oktatására, valamint pilotprojektek indítására, amelyek demonstrálják az életciklus-szemléletben rejlő lehetőségeket.

A második kérdés az LCA gyakorlati alkalmazásának elterjedtségére vonatkozott a magyar akvakultúrában. Az eredmények alapján az életciklus-elemzés még nem tekinthető bevett gyakorlatnak, inkább elszigetelt próbálkozások figyelhetők meg. Ez részben összefügg a költségek és az adatgyűjtési nehézségek problémájával, amire már Aubin (2013) és Abdou et al. (2017a) is rámutattak nemzetközi összehasonlításban. A magyar halgazdaságok számára javasolt az LCA módszer fokozatos bevezetése, kezdve egyszerűsített, „kaputól kapuig” típusú elemzésekkel, majd később a teljes „bölcstől a sírig” vizsgálatokkal. Ez lehetővé tenné a környezeti terhelés legkritikusabb pontjainak azonosítását és célzott beavatkozások kidolgozását.

A fenntartható takarmányozási gyakorlatok vizsgálata során megállapítható volt, hogy bár a gazdálkodók többsége hagyományos alapanyagokat alkalmaz, megjelent az érdeklődés az alternatív fehérjeforrások iránt. A szakirodalom egyértelműen alátámasztja, hogy a takarmány a legnagyobb környezeti hatással bíró input az akvakultúrában (McGrath et al. 2015, Sandin et al. 2016). A nemzetközi kutatások szerint a halászati melléktermékek, valamint a rovarliszt felhasználása jelentősen csökkentheti a szénlábnyomot és az eutrofizációs kockázatot (Taelman

et al. 2013, Seghetta et al. 2017). Magyarországon célszerű lenne kísérleti programokat indítani ezeknek az alternatív takarmányoknak a bevonásával, különös tekintettel a helyben keletkező melléktermékek hasznosítására, amely a körforgásos gazdaság elveit is támogatja.

A melléktermékek kezelése és újrahasznosítása szintén kulcsterületként jelent meg. A kutatás rámutatott, hogy a hazai halgazdaságok többsége még nem használja ki kellő mértékben az üledékek és egyéb melléktermékek mezőgazdasági vagy energetikai hasznosításának lehetőségeit. Hasonló eredményekről számolt be Aubin (2013) is, aki az integrált multitrofikus rendszerek (IMTA) előnyeit hangsúlyozta. A hazai gyakorlatban indokolt lenne támogatni az ilyen típusú innovatív megoldások elterjedését, amelyek egyaránt csökkentik a környezeti terhelést és növelik a gazdasági hatékonyságot.

A fenntarthatósági tanúsítványok elterjedtsége a magyar haltermelő vállalkozások körében továbbra is alacsony. Ez összhangban áll Hancz (2024) megállapításával, miszerint a hazai termelők egy része elsősorban a piaci értékesítés biztosítására koncentrálnak, és kevésbé törekszik a nemzetközi szinten is elismert tanúsítványok megszerzésére. Ugyanakkor Jolliet et al. (2018) szerint az LCA-alapú adatok közvetlenül hozzájárulhatnak az ökológiai címkék megszerzéséhez, amely a piaci versenyképesség szempontjából jelentős előnyt jelent. Javasolt tehát, hogy a magyar halgazdaságok nagyobb figyelmet fordítsanak a fenntarthatósági tanúsítványok megszerzésére, amelyhez szükséges a termelők adminisztratív és szakmai támogatása.

A kutatás egyik fontos tanulsága, hogy a hazai akvakultúra szektorban az LCA alkalmazásának legfőbb akadályát a szemléletmód és az erőforrások hiánya jelenti. Ez egybeesik Castellini és mtsai (2012a) eredményeivel, akik szerint a kis- és közepes vállalkozások esetében különösen kritikus a szakmai kapacitás hiánya. Magyarországon ennek kezelésére szükség lenne olyan közös adatbázisok és módszertani útmutatók kialakítására, amelyek csökkentik az egyes gazdaságokra háruló terheket, és elősegítik a standardizált vizsgálatok elvégzését.

Összességében megállapítható, hogy az LCA módszertan szélesebb körű hazai alkalmazása hozzájárulhatna a magyar akvakultúra környezeti terheinek csökkentéséhez, valamint a szektor hosszú távú versenyképességének növeléséhez. A fenti következtetések és javaslatok alapján kijelenthető, hogy a módszer bevezetése nem csupán környezetgazdálkodási szempontból, hanem gazdasági és piaci értelemben is előnyös lehet. A részletesebb, átfogó összegzés azonban a dolgozat következő fejezetében kerül bemutatásra.

## VI. Összefoglalás

A dolgozat célja annak feltárása volt, hogy az életciklus-elemzés (LCA) módszertana miként járulhat hozzá a magyar akvakultúra fenntarthatósági kihívásainak kezeléséhez. Az LCA a teljes életút-szemléletre épít, amely lehetővé teszi a termelési folyamatok környezeti hatásainak átfogó értékelését, különös tekintettel a takarmányozásra, a vízhasználatra, az energiafelhasználásra és a melléktermékek kezelésére. A szakirodalmi áttekintés alapján egyértelművé vált, hogy az akvakultúra világszerte az egyik leggyorsabban növekvő élelmiszertermelési ágazat, amely azonban jelentős környezeti terheléssel jár, így az LCA módszertana kulcsfontosságú eszközt kínál a fenntarthatóbb működéshez.

A kérdőíves vizsgálat eredményei szerint a magyar haltermelők körében az LCA ismerete korlátozott, és a módszer gyakorlati alkalmazása még nem tekinthető elterjedtnek. Ugyanakkor a válaszok azt mutatták, hogy a fenntartható takarmányozási alternatívák iránt növekvő érdeklődés mutatkozik, különösen a halászati melléktermékek és a rovarfehérje felhasználása terén, amelyek nemzetközi kutatások szerint is jelentősen mérséklik az ökológiai lábnyomot. A melléktermékek újrahasonosítása és az integrált rendszerek bevezetése további lehetőséget kínál a környezeti terhelés csökkentésére, miközben gazdasági előnyökkel is járhat. A fenntarthatósági tanúsítványok ugyanakkor hazánkban még kevésbé elterjedtek, noha hozzájárulhatnának a piaci versenyképesség javításához és a fogyasztói bizalom erősítéséhez.

A vizsgálat összességében rámutatott, hogy az LCA módszertan szélesebb körű alkalmazása jelentős előnyökkel járna a magyar akvakultúra számára. A módszer bevezetése segíthet a környezeti terhelések pontosabb feltárásában, a kritikus pontok azonosításában és a környezetbarát technológiák kiválasztásában. A dolgozat eredményei tehát tudományos és gyakorlati szempontból egyaránt hozzájárulnak ahhoz, hogy a hazai halgazdaságok fenntarthatóbbá váljanak, és hosszú távon versenyképesen tudjanak bekapcsolódni a globális élelmiszertermelési rendszerbe.

## VII. Köszönetnyilvánítás

Nagy hálával tartozom a kitöltőknek a válaszkért. Külön elismeréssel tartozom Dr. Urbányi Bélának és Dr. Lefler Kinga Katalinnak, akik az elejétől fogva irányították és támogatták a dolgozatom elkészítését. Minden tanácsáért és segítségéért hálás vagyok. Az Agrárközgazdasági Intézetnek köszönöm a használatra bocsájtott adatokért. Külön köszönettel szeretném megemlíteni barátaimat, akik önzetlenül és nagy odaadással segítettek a dolgozat elkészítése alatt. Nélkülük ez a kutatás nem valósulhatott volna meg. Összességében hálás vagyok mindenki számára, aki részt vett ebben a projektben, és hozzájárult ahhoz, hogy ez a kutatás és dolgozat létrejöhessen.

## VIII. Irodalomjegyzék

- Aas T. S., Åsgård T., Ytrestøyl, T. (2022): Chemical composition of whole body and fillet of slaughter sized Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in Norway in 2020. *Aquaculture Reports*, 25, 101252.
- Abdou K, Aubin J, Romdhane MS, le Loc'h F, Lasram FBR (2017a) Environmental assessment of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*) farming from a life cycle perspective: a case study of a Tunisian aquaculture farm. *Aquaculture* 471:204–2012
- Abdou K, Ben Rais Lasram F, Romdhane MS, le Loc'h F, Aubin J (2017b): Rearing performances and environmental assessment of sea cage farming in Tunisia using life cycle assessment (LCA) combined with PCA and HCPC. *Int J Life Cycle Assess* 23:1049–1062. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1339-2>
- Afewerki S., Asche F., Misund B., Thorvaldsen T., Tveteras R. (2023): Innovation in the Norwegian aquaculture industry. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 759–771.
- Arismendi I, Soto D, Penaluna B et al (2009): Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in northern Patagonian lakes. *Freshw Biol* 54:1135–1147
- Asche F., Bjørndal, T. (2011): *The economics of salmon aquaculture*. John Wiley & Sons.
- Aubin J (2013): Life cycle assessment as applied to environmental choices regarding farmed or wild-caught fish. *CAB Rev Perspect Agric Vet Sci Nutr Nat Resour* 8:1–10
- Aubin J, Baruthio A, Mungkung R, Lazard J (2015): Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: a Filipino case study. *Aquaculture* 435:217–227
- Aubin J, Fontaine C (2014): Impacts of producing bouchot mussels in Mont-Saint-Michel Bay (France) using LCA with emphasis on potential climate change and eutrophication. In: Proceedings of the 9th international conference on life cycle assessment in the agri-food sector environmental, pp 64–69
- Avadí A, Pelletier N, Aubin J, Ralite S, Núñez J, Fréon P (2015): Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. *Aquaculture* 435: 52–66
- Avraamides, M., Fatta, D., (2008): Resource consumption and emissions from olive oil production: a life cycle inventory case study in Cyprus. *J. Clean. Prod.* 16, 809e821. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro>.
- Ayer NW, Tyedmers PH (2009): Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *J Clean Prod* 17:362–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro>.

- Ayer NW, Tyedmers PH, Pelletier NL, Sonesson U, Scholz A (2007): Coproduct allocation in life cycle assessments of seafood production systems: review of problems and strategies. *Int J Life Cycle Assess* 12:480–487
- Ayres R.U. Kneese A.V. (1969): Production, consumption and externalities. *The American Economic Review* 59(3): 282–297.
- Babbie, E. R. (2013): *The Practice of Social Research* (13th ed.). Wadsworth Cengage Learning.
- Badiola M., Basurko O. C., Piedrahita R., Hundley P., Mendiola, D. (2018): Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 81, 57–70.
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J. (2012): Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Bahr, B. von, B. Steen. (2004): Reducing epistemo logical uncertainty in life cycle inventory. *Journal of Cleaner Production* 12, 369-388.
- Baruthio A, Aubin J, Mungkung R., (2008): Environmental assessment of Filipino fish/prawn polyculture using life cycle assessment. In: Proceedings of the 6th international conference on LCA in the agri-food sector. Zurich, Switzerland, pp 242–247
- Bastianoni, S., Boggia, A., Castellini, C., Di Stefano, C., Niccolucci, V., Novelli, E., Paolotti, L., Pizzigallo, A., (2010): Measuring environmental sustainability of intensive poultry-rearing system. In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P. (Eds.), *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 4. Springer, pp. 277-309. [http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_10). ISBN: 978-90-481-8740-9.
- Baumann H (1996): "LCA use in Swedish industry". *International Journal of LCA* 3(1) pp 122-126
- Béné C., Arthur R., Norbury H., Allison E. H., Beveridge M., Bush S., Williams M. (2016): Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction: assessing the current evidence. *World development*, 79, 177-196.
- Berg S. (1995): The Environmental Loads of Fossil Fuels in Swedesh Forestry – an Inventory for a LCA. In: Frühwald A. & Solberg B. (eds): *Life-Cycle Analysis – a Challenge for Forestry and Forest Industry*, EFI Proceedings 8, European Forest Institute, 57–68.
- Björklund A.E. (2002): Survey of Approaches to Improve Reliability in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 7: 2, 64-72.
- Bohnes F. A., Laurent A. (2019): LCA of aquaculture systems: methodological issues and potential improvements. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 324-337.

- Bohnes FA, Hauschild MZ, Schlundt J, Laurent A (2018): Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12280>
- Boissy J, Aubin J, Drissi A, van der Werf HMG, Bell GJ, Kaushik SJ (2011): Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture* 321:61–70
- Boissy J., Aubin J., Drissi, A., Van der Werf, H. M., Bell, G. J., Kaushik, S. J. (2011): Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture*, 321(1–2), 61–70.
- Bokkers, E.A.M., De Boer, I.J.M., (2009): Economic, ecological, and social performance of conventional and organic broiler production in the Netherlands. *Brit. Poult. Sci.* 50, 546-557.
- Bokkers, E.A.M., Koene, P., (2003): Behaviour of fast and slow-growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 81, 59-72.
- Bordignon F., Sturaro E., Trocino A., Birolo M., Xiccato G., Berton M. (2022): Comparative life cycle assessment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming at two stocking densities in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture*, 556, 738264.
- Boxman SE, Zhang Q, Bailey D, Trotz MA (2016): Life cycle assessment a commercial-scale freshwater aquaponic system. *Environ Eng Sci* 34:299–311
- Boyd C. E., D'Abramo L. R., Glencross B. D., Huyben D. C., Juarez L. M., Lockwood G. S., Valenti W. C. (2020): Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the world aquaculture society*, 51(3), 578-633.
- Branciarri, R., Mugnai, C., Mammoli, R., Miraglia, D., Ranucci, D., Dal Bosco, A., Castellini, C., (2009): Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics. *J. Anim. Sci.* 87, 4109-4117.
- Brown A. R., Wilson R. W., Tyler, C. R. (2024): Assessing the benefits and challenges of recirculating aquaculture systems (RAS) for Atlantic salmon production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 33(3), 380–401.
- Budhathoki M., Pounds A., Younes J. A., Baltadakis A., Little, D. C. (2025): Mariculture in natural environments: Tourists' attitudes towards aquaculture during marine tours in Oban, Scotland. *Sustainability*, 17(2), 710. <https://doi.org/10.3390/su17020710>
- Cao L, Diana JS, Keoleian GA (2013): Role of life cycle assessment in sustainable aquaculture. *Rev Aquac* 5:61–71
- Cao L, Diana JS, Keoleian GA, Lai Q (2011): Life cycle assessment of Chinese shrimp farming systems targeted for export and domestic sales. *Environ Sci Technol* 45:6531–6538

- Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M., (2006a): Sustain ability of poultry production using the emergy approach: comparison of con ventional and organic rearing systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 343-350.
- Castellini, C., Boggia, A., Cortina, C., Dal Bosco, A., Paolotti, L., Novelli, E., Mugnai, C., (2012a): A multicriteria approach for measuring the sustainability of different poultry production systems. *J. Clean. Prod.* 37, 192-201.
- Castellini, C., Boggia, A., Paolotti, L., Thoma, G., Kim, D., (2012b): Environment and life cycle analysis of organic meat production and processing. In: Ricke, S.C., Van Loo, J.E., Johnson, M.G., O'Bryan, C.A. (Eds.), *Organic Meat Production and Pro cessing*. WileyBlackwell, pp. 113-134.
- Castellini, C., Dal Bosco, A., Mugnai, C., Pedrazzoli, M., (2006b): Comparison of two chicken genotypes organically reared: oxidative stability and other qualitative traits. *Int. J. Anim. Sci.* 5, 29-42.
- Chaudhary A, Verones F, De Baan L, Hellweg S (2015): Quantifying land use impacts on biodiversity: combining species-area models and vulnerability indicators. *Environ Sci Technol* 49:9987–9995
- Chen, H., Yang, Y., Yang, Y., Jiang, W., Zhou, J (2014): A bibliometric investigation of life cycle assessment research in the web of science databases. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19 (10), 1674–1685.
- Chevalier, J.-L. and J.-F. Le Téo (1996): Life Cycle Analysis with Ill-Defined Data and its Appli cation to Building Products. *International Journal of Life Cycle Assessment* 1:2, 90-96.
- Cicas G, Hendrickson CT, Horvath A, Matthews HS (2007): A Regional Version of a US Economic Input-Output Life Cycle Assessment Model. *Int J LCA* 12 (6) 367–374
- Cole, C.V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D., Zhao, Q., (1997): Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emission by agriculture. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 49, 221-228.
- Contadini, J.F., R.M. Moore and P.L. Mok htarian (2002): Life Cycle Assessment of Fuel Cell Vehicles: A Methodology Example of Input Data Treatment for Future Technologies. *International. Journal of Life Cycle Assessment* 7:2, 73-84.
- Czimer K., Gálos B. (2016): A new decision support system to analyse the impacts of climate change on the Hungarian forestry and agricultural sectors. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34(7): 664–673. DOI: 10.1080/02827581.2016.1212088
- De Vries, M., De Boer, I.J.M. (2010): Comparing environmental impacts for livestock products: a review of Life Cycle Assessments. *Livest. Sci.* 128(1–3), 1–11.

- Diana JS (2009): Aquaculture production and biodiversity conservation. *Bioscience* 59:27–38 Wilfart A, Prudhomme J, Blancheton JP, Aubin J (2013) LCA and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. *J Environ Manag* 121:96–109
- Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, N., Smigic, N., Tomic, I. (2014): Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *J. Clean. Prod.* 68, 64–72
- Eranus, E., Láng, S., Máth, A., Rácz, A. (2004): A kérdőíves adatfelvétel újabb módszerei: telefonos, számítógéppel támogatott (CAPI, CATI) és internetes adatgyűjtés. In L. Letenyei (Ed.), *Településkutatás, Szöveggyűjtemény* (pp. 545-590). L' Harmattan Kiadó.
- Erkman S. (1997): Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner production* 5(1-2): 1–10. DOI: 10.1016/s0959-6526(97)00003-6 244
- European Commission. (2013): Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations (2013/179/EU). Official Journal of the European Union, L 124, 1–210. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2013/179/oj>
- Fava, J.A., A.A. Jensen, L. Lindfors, S. Pomper, B, de Smet, J. Warren, B. Vigon (1994): Life cycle assessment data quality. A conceptual framework. SETAC, Pensacola, 1994.
- Ford JS, Pelletier NL, Ziegler F, Scholz AJ, Tyedmers PH, Sonesson U, Kruse SA, Silverman H (2012): Proposed local ecological impact categories and indicators for life cycle assessment of aquaculture: a Salmon aquaculture case study. *J Ind Ecol* 16:254–265
- Føre H. M., Thorvaldsen T., Osmundsen T. C., Asche F., Tveterås R., Fagertun, J. T., Bjelland, H. V. (2022): Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture Reports*, 24, 101115.
- Forster, P., (2007): IPCC climate change. In: Solomon, S., et al. (Eds.), *The Physical Science Basis*. Cambridge Univ. Press, pp. 130-234.
- Fréon P, Durand H, Avadí A, Huaranca S, Orozco Moreyra R (2017): Life cycle assessment of three Peruvian fishmeal plants: toward a cleaner production.
- Fukushima, Y., M. Hirao (2002): A Structured Framework and Language for Scenario-Based Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 7:6, 317-329.
- Führer E., Mátyás Cs. (2005): Erdőgazdálkodás és klímabizonytalanság. *AGRO-21 füzetek* 41: 124–128.
- Gálos B., Führer E., Czímber K., Gulyás K., Bidló A., Hänsler A. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás* 119(4): 425–441.

- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., (2013): Tackling Climate Change through Livestock e a Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Goedkoop M., Spiensma R., (2001): The Eco-indicator 99 e a Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report, third ed. Product Ecology Consultants, Plotterweg, Netherlands.
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E., (2008): Introduction to LCA with SimaPro. PRe Consultants, Plotterweg, Netherlands.
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E., (2013): Introduction to LCA with SimaPro. PRe Consultants, Plotterweg, Netherlands.
- Goodland R., Anhang J., (2009): Livestock and Climate Change. What if the Key Actors in Climate Change Were Pigs, Chickens and Cows? Worldwatch November/December 2009. Worldwatch Institute, Washington, DC, USA, pp. 10-19.
- Guinée et al. (2002): Handbook on Life Cycle Assessment Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ISBN 1-4020-0228-9, May 2002 , 704 pp
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A., (2002): Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operati onal annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Haes H. A.U. (1997): European Network for Strategies Life cycle Assessment
- Haes H.A. U., Jolliet O., Finnveden G., Hauschild M., Krewitt W., Müller-Wenk R. (eds.), (1999): Best available practice regarding impact categories and category indicators in Life Cycle Impact Assessment, Background document for the second working group on Life Cycle Impact Assessment of SETACEurope (WIA-2), Int.J.LCA 4 (2) 66-74 (1999)/4 (3) 167-174
- Hancz Cs. (2007): Haltenyésztés. Egyetemi Jegyzet, Kaposvár.
- Hancz Cs. (2024): A takarmányozás szerepe a fenntartható akvakultúrában. Halászat-Tudomány Vol. 10/2. (2024) pp. 11-20.
- Hassing H., Søren Varming (2001): Life cycle assessment for wind Turbines 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition EWEA Bella Center, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001
- Heijungs R, Suh S (2002): The computational structure of lifecycle assessment. ISBN 1-4020-0672-1. Kluwer Academic Publishers.

- Heijungs, R. (1996): On the identification of key issues for further investigation in life-cycle screening. The use of mathematical tools and statistics for sensitivity analyses. *Journal of Cleaner Production* 4:3/4, 159-166.
- Heijungs, R., J.B. Guinée, G. Huppes, R.M. Lank reijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin, H.P. de Goede (1992): Environmental life cycle assessment of products. I: Guide – October 1992. II: Backgrounds – October 1992. CML, Leiden.
- Heijungs, R., R. Kleijn. (2001): Numerical approaches towards life cycle interpretation. Five exam ples. *International Journal of Life Cycle Assessment* 6:3 (2001), 141-148.
- Hellweg S, Mila i Canals L (2014): Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science* 344 (6188):1109– 1113
- Henriksson P, Rico A, Zhang W (2015): Comparison of Asian aquaculture products by use of statistically supported life cycle assessment- supporting information. *Sci Technol* 49:14176–14183
- Henriksson PJG, Dickson M, Allah AN, al-Kenawy D, Phillips M (2017a): Benchmarking the environmental performance of best management practice and genetic improvements in Egyptian aquaculture using life cycle assessment. *Aquaculture* 468:53–59
- Henriksson PJG, Guinée JB, Kleijn R, De Snoo GR (2012): Life cycle assessment of aquaculture systems—a review of methodologies. *Int J Life Cycle Assess* 17:304–313
- Héra, G., Ligeti, Gy. (2010): *Módszertan – Bevezetés a társadalmi jelenségek kutatásába*. Osiris Kiadó.
- Herrero, M., Gerber, P., Vellinga, T., Garnett, T., Leip, A., Opio, C., Westhoe, H.J., Thornton, P.K., Olesen, J., Hutchings, N., Montgomery, H., Soussana, J.-F., Steinfeld, H., McAllister, T.A., (2011): Livestock and greenhouse gas emissions: the importance of getting the numbers right. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167, 779-782.
- Hofstetter, P. (1998): Perspectives in life cycle impact assessment. A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Horváth A., Bene Zs. & Bidló A. (2017): Talaj szerves szénkészletének felmérése néhány cser-, kocsánytalan tölgyes és bükkös állományban. In: Bidló A. & Facskó F. (eds): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar V. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 16–20.
- Huijbregts M.A.J., G. Norris, R. Bretz, A. Citroth, B. Maurice, B. von Bahr, B. Weidema, A.S.H. de Beaufort. (2001): Framework for modelling data uncertainty in life cycle inventories. *International Journal of Life Cycle Assessment* 6:3, 127-132.
- Huijbregts M.A.J., W. Gilijamse, A.M.J Ragas, L. Reijnders (2003): Evaluating uncertainty in environmental Life-Cycle Assessment, *Environmental Science and Technology*, 37, 2600-2608.

- Hunkeler, D., E. Huang (1999): LCA in Japan: An Overview of Current Practices and Trends ... Tokyo, Japan from June 8 - 10, 1999 [www.gdrc.org/uem/lca/lca-japan.html](http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-japan.html)
- Iribarren D, Dagá P, Moreira MT, Feijoo G (2012a): Potential environmental effects of probiotics used in aquaculture. *Aquac Int* 20:779– 789
- Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G (2010a): Revisiting the life cycle assessment of mussels from a sectorial perspective. *J Clean Prod* 18: 101–111
- Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G (2010b): Life cycle assessment of fresh and canned mussel processing and consumption in Galicia (NW Spain). *Resour Conserv Recycl* 55:106–117
- Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G (2012b): Life cycle assessment of aquaculture feed and application to the turbot sector. *Int J Environ Res* 6:837–848
- ISO (2006a): ISO 14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework (ISO 14040:2006), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO (2006b): ISO 14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines (ISO 14044:2006), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jerbi MA, Aubin J, Garnaoui K, Achour L, Kacem A (2012): Life cycle assessment (LCA) of two rearing techniques of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquac Eng* 46:1–9
- Jolliet O, Antón A, Boulay A-M, Cherubini F, Fantke P, Levasseur A, McKone TE, Michelsen O, Milà i Canals L, Motoshita M, Pfister S, Verones F, Vigon B, Frischknecht R (2018): Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: impacts of climate change, fine particulate matter formation, water consumption and land use. *Int J Life Cycle Assess*. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1443-y>
- Jonell M, Henriksson PJG (2015): Mangrove-shrimp farms in Vietnam comparing organic and conventional systems using life cycle assessment. *Aquaculture* 447:66–75
- Jungbluth, N., Chudacoff, M., Dauriat, A., Dinkel, F., Doka, G., Faist Emmenegger, M., Gnansounou, E., Kljun, N., Schleiss, K., Spielmann, M., Stettler, C., Sutter, J., (2007): Life Cycle Inventories of Bioenergy. *Ecoinvent Report No. 17*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Kestin, S.C., Gordon, S.H., Su, G., Sørensen, P., (2001): Relationships in broiler chickens between lameness, liveweight, growth rate and age. *Vet. Rec.* 148, 195-197.
- Kim S., Han S.H., Lee J., Kim C., Lee S-T, Son Y. (2016): Impact of thinning on carbon storage of dead organic matter across larch and oak stands in South Korea. *iForest Biogeosciences and Forestry* 9: 593–598. DOI: 10.3832/for1776-008

- Knowler D., Chopin T., Martínez-Espiñeira R., Neori A., Nobre A. M., Noce A., Reid G. K. (2020). The economics of integrated multi-trophic aquaculture: Where are we now and where do we need to go? *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1579–1594. <https://doi.org/10.1111/raq.12399>
- Laurent A, Bakas I, Clavreul J et al (2014): Review of LCA studies of solid waste management systems. Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Manag* 34:573–588
- Laurent A, Olsen SI, Hauschild MZ (2012): Limitations of Carbon Footprint as Indicator of Environmental Sustainability. *Environmental Science & Technology* 46(7):4100–4108
- Lindsey, C.T., (2012): Sustainable principles: common values for achieving sustain ability. *J. Clean. Prod.* 19, 561-565.
- Lourguioui H, Brigolin D, Boulahdid M, Pastres R (2017): A perspective for reducing environmental impacts of mussel culture in Algeria. *Int J Life Cycle Assess* 22:1266–1277
- Malhotra, N. K., Nunan, D., Birks, D. F. (2017): *Marketing Research: An Applied Approach* (5th ed.). Pearson Education.
- Maurice, B., R. Frischknecht, V. Coelho-Schwartz, K. Hungerbühler. (2000): Uncertainty analysis in life cycle inventory. Application to the production of electricity with French coal power plants. *Journal of Cleaner Production* 8, 95-108.
- McGrath K. P., Pelletier N. L., Tyedmers P. H. (2015): Life cycle assessment of a novel closed-containment salmon aquaculture technology. *Environmental Science & Technology*, 49(9), 5628–5636.
- McGrath KP, Pelletier NL, Tyedmers PH (2015): Life cycle assessment of a novel closed-containment salmon aquaculture technology. *Environ Sci Technol* 49:5628–5636
- McLaren, S.J., Hume, A., Mitraratne, N., (2010): Carbon management for the primary agricultural sector in New Zealand: case studies for pipfruit and kiwifruit in dustries. In: VII International Conference on Life Cycle Assessment in the Agrifood Sector. Conference Proceedings. Bari, 22-24 September 2010, vol. 1, pp. 293-298.
- Medeiros MV, Aubin J, Camargo AFM (2017): Life cycle assessment of fish and prawn production: comparison of monoculture and polyculture freshwater systems in Brazil. *J Clean Prod* 156:528–537
- Menke, D., G. A. Davis, B. W. Vignon (1996): *Evaluation of Life-Cycle Assessment Tools*. University of Tennessee, Knoxville, TN. August 30.
- Morais, D.C., Almeida, A.T., (2006): Water supply system decision making using multicriteria analysis. *Water SA* 32, 229-235.

- Móricz N., Rasztoivits E., Gálos B., Berki I., Eredics A., Loibl W. (2013): Modeling the Potential Distribution of Three Climate Zonal Tree Species for Present and Future Climate in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 9: 85–96. DOI: 10.2478/aslh-2013-0007
- Mosier, A.R., Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K., Jonhson, D.E., (1998): Mitigating agricultural emissions of methane. *Clim. Change* 40, 39-80.
- Mungkung R, Aubin J, Prihadi TH, Slembrouck J, van der Werf HMG, Legendre M (2013): Life cycle assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *J Clean Prod* 57:249–256
- Naylor R, Hindar K, Fleming IA et al (2005): Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *Bioscience* 55: 427–437
- Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MCM, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H, Troell M (2000): Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405:1017–1024
- Newing, H., Eagle, C. M., Puri, R. K., Watson, C. W. (2011): *Conducting Research in Conservation: Social Science Methods and Practice*. Routledge.
- Nhu TT, Schaubroeck T, Henriksson PJG, Bosma R, Sorgeloos P, Dewulf J (2016): Environmental impact of non-certified versus certified (ASC) intensive *Pangasius* aquaculture in Vietnam, a comparison based on a statistically supported LCA. *Environ Pollut* 219:156–165
- Nicoletti, G.M., Notarnicola, B., Tassielli, G., (2001): Comparative LCA of virgin olive oil vs. seed oils. In: The International Conference LCA in Foods, Goteborg 25-27 April 2001.
- Odum H.T., Kemp W., Sell M., Boynton W. & Lehman M. (1977): Energy analysis and the coupling of man and estuaries. *Environmental Management* 1(4): 297–315.
- Osmond A. T., Charlebois S., Colombo S. M. (2023): Exploratory analysis on Canadian consumer perceptions, habits, and opinions on salmon consumption and production in Canada. *Aquaculture International*, 31(1), 179–193.
- Ottinger M, Clauss K, Kuenzer C (2016): Aquaculture: relevance, distribution, impacts and spatial assessments - a review. *Ocean Coast Manag* 119:244–266
- Pesonen H.-L., T. Ekvall G. Fleischer G. Hup pes C. Jahn Z. Klos G. Rebitzer G. Sonne mann, A. Tintinelli, B.P. Weidema, H. Wenzel, Henrik. (2000): Framework for Scenario De velopment in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 5:1, 21-30.
- Pesonen, H.-L., T. Ekvall, G. Fleischer, G. Hup pes, C. Jahn, Z. Klos, G. Rebitzer, G. Sonne mann, A. Tintinelli, B.P. Weidema, H. Wenzel, Henrik. (2000): Framework for Scenario De velopment in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 5:1, 21-30.

- Philis G., Ziegler F., Gansel L. C., Jansen M. D., Gracey E. O., Stene A. (2019): Comparing life cycle assessment (LCA) of salmonid aquaculture production systems: Status and perspectives. *Sustainability*, 11(9), 2517.
- Polgár A. (2012): Környezeti hatásértékelés a környezetirányítási rendszerekben. Doktori disszertáció, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Potting J., Hauschild M. (2005): Background for spatial differentiation in LCA impact assessment - The EDIP2003 Methodology, Danish Ministry of Environment pages 293
- Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B. (2008): A survey of unresolved problems in life cycle assessment Part 2: impact assessment and interpretation. *Int. J. Life Cycle Assess.* 13, 374-388.
- Roy P., Nei D., Orikasa T., Xu Q., Okadome H., Nakamura N., Shiina T. (2009): A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *J. Food Eng.* 90, 1-10.
- Salin K. R., Arun V., Mohanakumaran Nair C., Tidwell J. H. (2018): Sustainable aquafeed. In *Sustainable aquaculture* (pp. 123–151). Springer International Publishing.
- Salomone R., (2002): Application of LCA methodology to olive oil production: some preliminary results (Original title: “Applicazione della metodologia LCA alla produzione di olio di oliva: alcuni risultati preliminari”). In: Proc. Euro conference on University and Enterprise. University La Sapienza, Rome, 26-28.
- Salomone, R., Cappelletti, G.M., Ioppolo, G., Mistretta, M., Nicoletti, G., Notarnicola, B., Olivieri, G., Pattara, C., Russo, C., Scimia, E., (2010): Italian experiences in Life Cycle Assessment of olive oil: a survey and critical review. In: VII International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector. Conference Proc. Bari, 22-24 September 2010, vol. 2, pp. 265-270.
- Samuel-Fitwi B., Wuertz S., Schroeder J. P., Schulz C. (2012): Sustainability assessment tools to support aquaculture development. *Journal of Cleaner Production*, 32, 183–192.
- Sandin G., Peters G.M. & Svanström M. (2016): Life Cycle Assessment of Forest Products: Challenges and Solutions. Life Cycle Assessment of Forest Products. In: Life Cycle Assessment of Forest Products. SpringerBriefs in Molecular Science. Springer, Cham, 25–67. DOI: 10.1007/978-3-319-44027-9\_4
- Sangwon S., Shinichiro N. (2007): Five Years in the Area of Input-Output and Hybrid LCA *Int J LCA* 12 (6) 351 – 352
- Schmidt, J.H., (2008): Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity. *J. Clean. Prod.* 16, 1929-1942.
- Simon B. (2012): A rendszerhatárok és a hatásvizsgálati módszer megválasztásának szerepe az LCA eredményében – az elektromos-energia előállítás példáján keresztül. *Eco-matrix* 2012(1-2): 11–24.

- Siposné Molnár T., István Zsolt Tóthné Szita K. (2007): Hazai on-line LCA adatrendszer kialakítása a vállalkozások környezetbarát fejlesztésének támogatására GVOP-3.1.1-2004-05-0248/3.0, Záró beszámoló
- Sleeswijk, Anneke Wegener, Laurant F.C.M. van Oers, Jeroen B. Guinée, Jaap Struijs and Mark A.J. Huijbregts (2008): Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000 *Science of The Total Environment*, Volume 390, Issue 1, 1 February 2008, Pages 227-240
- Song X., Liu Y., Pettersen J. B., Brandão M., Ma, X., Røberg S., Frostell B. (2019): Life cycle assessment of recirculating aquaculture systems: A case of Atlantic salmon farming in China. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5), 1077-1086.
- Szalay Zs. (2007): Life cycle environmental impacts of residential buildings, PhD dissertation Budapest University of Technology and Economics, Bp.
- Szathmári L., Tenk A. (2004). A tógazdasági haltermelés szerkezetének elemzése. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 48(1), 41-46.
- Tamaska László, Mérey. (2001): Az életciklus-elemzés módszertana? Tisztább Termelés Kis Könyvtár TTMK, Budapest
- Tilman D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671-677.
- Tóthné Szita K. (2005): Az életciklus-elemzés fejlesztésének trendjei I. LCA Konferencia, Szeged
- Van Rijn J. (2013): Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49–56.
- Weckenmann A., A. Schwan. (2001): Environmental Life Cycle Assessment with Support of Fuzzy-Sets. *International Journal of Life Cycle Assessment* 6:1, 13-18.
- Weidema B.P., M.S. Wesnæs. (1996): Data quality management for life cycle inventories. An example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production* 4:3/4, 167-174.
- Wenzel H., Hauschild M., Alting L. (1997): Environmental assessment of products. Volume 1. Methodology, tools and case studies in product development. Chapman and Hall, London
- Wilfart A., Prudhomme J., Blancheton JP., Aubin J. (2013): LCA and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. *J Environ Manag* 121:96–109
- Winther U., Ziegler F., Hognes ES. (2009): Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products. SINTEF Fisheries and Aquaculture Yacout DMM, Soliman NF,

- Woynárovich A., Kovács É., Péteri A. (2019): A takarmányozás gyakorlati szempontjai a tógazdasági haltermelésben.
- Yacout M.M. (2016): Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semiintensive and intensive. *Int J Life Cycle Assess* 21:806–819
- Young, Steven B. (2003): Life Cycle Assessment in Canada *Int J LCA* 8 (6) 321 – 322
- Youngson D., Saroglia J. (2001): Genetic interactions between marine finfish species European aquaculture and wild conspecifics. *J Appl Ichthyol* 17:153–162
- Zhang, L.X., Song, B., Chen, B., (2012): Energy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *J. Clean. Prod.* 28, 33-44
- Ziegler F, Hornborg S, Green BG, Eigaard OR, Farmery AK, Hammar L, Hartmann K, Molander S, Parker RWR, Hognes ES, VázquezRowe I, Smith ADM (2016): Expanding the concept of sustainable seafood using Life Cycle Assessment. *Fish and Fisheries* 17(4): 1073–1093

### **Internetes források:**

- FAO 2025: <https://www.fao.org/home/search/en/?q=aquaculture+lca> (Elérve 2025.07.15)
- Http1 2025: ISO 14040:2006 <https://www.iso.org/standard/37456.html> (Elérve 2025.07. 15)
- Http2 2025: ISO 14044: 2006 <https://www.iso.org/standard/38498.html> (Elérve: 2025. 07. 15)
- Http3 2025: <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html> (Elérve 2025.10.20)
- Http4 2025: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html> (Elérve 2025. 10. 20)
- PEF 2025: [https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods\\_en](https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods_en) (Elérve: 2025.07.15)

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseről és eredetiségéről

A hallgató neve: Tegzes Szabina Kitti

A Hallgató Neptun kódja: YAW8UE

A dolgozat címe: Életciklus elemzés (LCA) adta lehetőségek vizsgálata az akvakultúra szektorban

A megjelenés éve: 2025

A konzulens intézetének neve: Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Halgazdálkodási Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Gödöllő év 2025 hó 11 nap 03

*Tegzes Szabina Kitti*

Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

**Tegzes Szabina Kitti** (név) (hallgató Neptun azonosítója: **yaw8ue**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*

Kelt: 2025. 11. 03.

  
belső konzulens

# Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

## 1. Általános adatok

Hallgató neve:	Tegzes Szabina Kitti
Neptun-kódja:	YAW8UE
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: TDK
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomadolgozat
A munka címe:	Életciklus elemzés (LCA) adta lehetőségek vizsgálata az akvakultúra szektorban.

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

## 2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

## 3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

**I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)**

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

**II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)**

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet

	verziója, elérhetősége		bejegyzésének sorszáma

### 3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.*

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

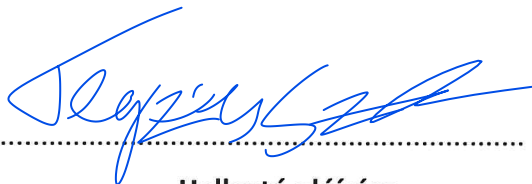
.....

.....

### 4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

**Kelt:** .Gödöllő, 2025. november 03.



Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása