

SZAKDOLGOZAT

Horváth Botond

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

élelmiszermérnöki alapképzési szak

Egy termék környezeti hatásainak elemzése életciklus értékeléssel

Belső konzulens:

Bogóné Dr. Tóth Zsuzsanna

egyetemi docens

Belső konzulens intézete/tanszéke: Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet

Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Vállalati

Gazdaságtan Tanszék

Külső konzulens:

Dr. Kovács Viktória Barbara

egyetemi docens (BME - Energetikai Gépek és

Rendszerek Tanszék)

Készítette:

HorváthBotond

Budapest
2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	1
1.1 Cél	2
2. Irodalmi áttekintés	3
2.1. Tojás	4
2.2. Tojás feldolgozása	4
2.3. Tojásfeldolgozás általános technológiája	5
2.3.1. Tárolás és előkészítés	5
2.3.2. Törés	6
2.3.3. Pasztőrözés	7
2.3.4. Hűtés	8
2.3.5. Tojáslé csomagolás	8
2.3.6. Porlasztva szárítás	9
3. Az életciklus-értékelés	9
3.1. Az életciklus-értékelés fogalma	9
3.2. Az életciklus-értékelés története	10
3.3. Az életciklus-értékelés az EU-ban	13
3.4. Az életciklus-értékelése Magyarországon	13
3.5. Felhasználási területei	14
3.6. Az ISO 14040	14
3.6.1. ISO 14040:2006 szabvány az életciklus-értékelés	15
3.6.2. A cél és a hatásterület meghatározása	16
3.6.3. Funkció, funkcionális egység, és a referencia áram	17
3.6.4. Rendszerhatárok	17
3.6.5. Adatok minősége	17
3.6.6. Leltárelemzés és leltárkészítés	18
3.6.7. Életciklus hatásértékelés	18
3.6.8. Elemzési módszerek és Hatáskategóriák	18
3.6.8.1. Hatáselemzés módszerei	19
3.6.8.2. Hatáselemző módszerek	19
3.6.8.3. Hatáskategóriák	19
3.6.9. Az életciklus értelmezése	24
3.6.10. Jelentés készítése	24
3.6.11. Kritikai felülvizsgálat	24
4. Anyag és módszer	25

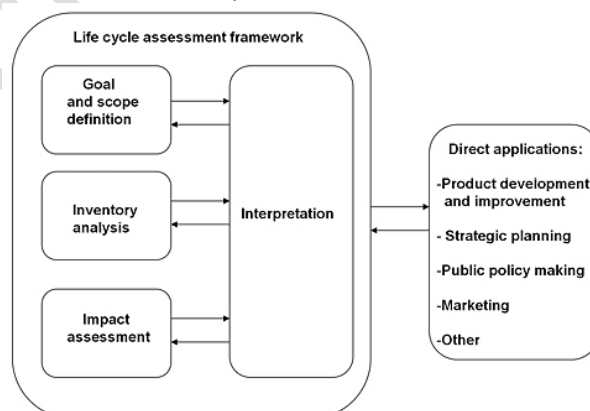
4.1. Adatgyűjtés	25
4.2. Rendszerhatárok	25
4.3. Leltáradatok.....	26
4.4. Open LCA bemutatása.....	30
4.4.1. A vizsgálatokhoz használt adatbázisok.....	30
4.4.2. Agribalyse-ból származó adatok.....	31
4.4.3 EF hatáskategóriák	31
4.4.4. Egyszerűsítések, elhagyások (cut-off criteria)	31
4.4.5. Normalizáció, súlyozás	31
4.5. Vizsgálati módszerek	32
5. Eredmények	33
5.1. Kiértékelés.....	33
5.2. Az életciklus-értékelés bemutatása egy scenario példáján.....	46
6. Következtetések és javaslatok	49
7. Összefoglalás.....	50
8. Köszönetnyilvánítás.....	51
9. Irodalomjegyzék	52
10. Ábrajegyzék.....	57
11. Táblázatjegyzék.....	58
12. Mellékletek	59
13. Nyilatkozatok	61

1. Bevezetés és célkitűzések

A hatásértékelés ritka technológiák esetében különösen fontos, mert lehetővé teszi a technológiai innovációk kockázatainak és előnyeinek átfogó vizsgálatát, ami hosszú távon versenyelőnyt jelenthet. Ritka technológiák gyakran olyan új és ismeretlen területeket érintenek, ahol a potenciális kockázatok nem mindig láthatók előre. Egy alapos hatásértékelés segít azonosítani ezeket a kockázatokat, legyenek azok környezeti, társadalmi vagy gazdasági természetűek, és lehetőséget ad azok megfelelő kezelésére, mielőtt komoly problémák jelentkeznenek.

A hatásértékelések továbbá elősegítik az átláthatóságot és a felelős innovációt. A ritka technológiák esetében, ahol a nyilvánosság és a szabályozó hatóságok egyre inkább aggódnak a lehetséges hatások miatt, a hatásértékelés segíthetnek a bizalom növekedéséhez. Az átfogó értékelések (1. ábra) azt mutatják, hogy a fejlesztők és a vállalatok gondosan mérlegelik a lehetséges hatásokat, és proaktív intézkedéseket tesznek azok minimalizálása érdekében.

Ezen túlmenően, a hatásértékelés gazdasági előnyökkel is járhat, mivel segítenek optimalizálni a technológia bevezetését, minimalizálni az esetleges későbbi költségeket és elkerülni a negatív hatások miatti büntetéseket vagy jogi eljárásokat. Ezáltal a technológiai fejlesztők, befektetők és partnerek jobban felkészülhetnek a piaci igényekre és szabályozói követelményekre. Összességében tehát a hatásértékelés hozzájárul a ritka technológiák felelős és sikeres integrációjához, miközben csökkenti a kockázatokat és növeli a fenntarthatóságot. (Tóthné-Szita, 2008)



1. ábra: Az életciklus-elemzés lépései (Forrás: MSZ EN ISO 14040:2006)

1.1 Cél

A teljes tojáspor és a tojáslé életciklus-elemzése (LCA) az OpenLCA szoftver segítségével átfogó képet ad egy termék környezeti és gazdasági hatásáról annak teljes életciklusa során, a nyersanyagbeszerzéstől kezdve a gyártáson, a szállításon és a végfelhasználáson át. A Capriovus Kft. segítségével megvizsgáltam a tojáspor és a tojáslé gyártási folyamatát, hogy az LCA-eredmények alapján azonosítsam a legfontosabb fenntarthatósági pontokat.

A témát gazdasági, energetikai és környezetvédelmi okokból választottam. Gazdasági szempontból a tojáspor és a tojáslé előállítása és felhasználása jelentős költségmegtakarítást eredményezhet mind a termelők, mind a végfelhasználók számára. Ennek oka, hogy ezek a termékek hosszabb eltarthatósági idővel rendelkeznek, csökkentve a romlás miatti veszteségeket, a hűtés szükségességét és a tárolás során felmerülő energiaigényt. Az energiafelhasználás elemzése lehetővé teszi a különböző folyamatoknak az üvegházhatású gázok kibocsátásához való hozzájárulásának értékelését, ami fontos információ a termelés energiahatékonysági lehetőségeinek meghatározásához. Környezetvédelmi szempontból az életciklus-elemzés feltárja, hogy a tojáspor és a tojáslé előállításának mely szakaszai járulnak hozzá leginkább a környezeti terheléshez, mint például a víz- és energiafelhasználás, a nyersanyagszállítás és a hulladékkezelés.

A teljes életciklus-elemzés tehát nemcsak a gyártási folyamat fenntarthatóságának optimalizálásában segít, hanem a környezetbarátabb megoldások kifejlesztésének alapját is képezi.

2. Irodalmi áttekintés

A tyúktojás alapvető élelmiszer, amelyet magas tápértékének köszönhetően világszerte széles körben fogyasztanak. Ezen túlmenően, mint az egyik legsokoldalúbban felhasználható termék, és többfunkciós tulajdonságai, azaz emulgeáló, zselésítő és ízesítő tulajdonságai miatt az élelmiszeriparban is széles körben alkalmazzák. A tojásiipar az elmúlt évtizedekben világszerte bővült, és jelenleg évente több mint 70 millió tonna tojást állítanak elő.

Az agrár-élelmiszeripar számos erőforrást fogyaszt és nagy mennyiségű hulladékot termel. Az ágazatban az állattenyésztés lehetséges környezeti hatásai jól ismertek, és ez alól a tojástermelő gazdaságok sem kivételek. A tojástelepekkel kapcsolatos környezeti hatások három fő forrásnak tulajdoníthatók: takarmánytermelés, energiafelhasználás, valamint az istálló- és trágyagazdálkodásból származó kibocsátások. Egyéb tényezők, mint például a termelékenység, a baromfi genetikája, az elhullás és a melléktermék-termelés szintén fontos szempontok. Az életciklus-értékelési módszereket, amelyek lehetővé teszik egy termék vagy szolgáltatás teljes „életciklusának” környezetvédelmi megközelítéssel történő elemzését, széles körben alkalmazzák az agrár-élelmiszeripari ágazatban, hogy átfogó képet adjanak az élelmiszertermeléssel kapcsolatos főbb környezeti hatásokról.

Globális szinten az élelmiszer-rendszerek nagyban hozzájárulnak számos környezeti hatások, beleértve az emberi eredetű üvegházhatásúgáz-kibocsátás egyharmada és az egyéb környezeti hatások hasonló vagy nagyobb aránya, amelynek aránytalan része az állattenyésztési rendszereknek tulajdonítható. Bár viszonylag figyelembe véve alacsony hatású, a tojástermelés a leggyorsabban növekvő ipari állatállomány különösen azokon a területeken, amelyek jelentős az egyéni vásárlóerő növekedése. A tojás az egyik leggyakrabban fogyasztott állati termék forrása a magas minőségű fehérje, valamint mikrotápanyagoknak az emberi táplálkozásban. Az Európai Unió (EU), tojás termelés tekintetében négy különböző tartási rendszert különböztet meg: ketreces, istállós, szabadon tartás, bió. A tojásiipar az elmúlt évtizedekben világszerte bővült, és ma már évente több mint 70 millió tonna tojást termelnek.

A baromfitartó gazdaságokhoz kapcsolódó környezeti hatások három fő forrásnak tulajdoníthatók: takarmánytermelés, energiafelhasználás, valamint az elhelyezésből és a trágyakezelésből származó kibocsátások. Emellett más tényezők, például a termelékenység, a

baromfigenetika, a halálozási arány és a társtermékek előállítása is fontos kérdések, amelyeket figyelembe kell venni. (Baldwin T et al., 2021)

A tojástermelés világszerte növekedett az elmúlt évtizedekben. A FAO adatai szerint 2020-ban a világ tojástermelése elérte a 93 millió tonnát (FAO, 2024). Az Európai Unió évente mintegy 7 millió tonna felhasználható tojást termel. Konkrétan Franciaország és Spanyolország a legnagyobb tojástermelők (az európai termelés mintegy negyedét adják) (MAPAMA, 2017). Az élelmiszertermelés nagy mennyiségű energiát igényel, ami számos negatív környezeti hatással jár, mint például az üvegházhatású gázok kibocsátása. Ráadásul, mivel a fejlett országok fogyasztói elkezdtek követelni a környezetbarátabb körülmények között előállított, jó minőségű élelmiszereket a termelők azzal az ellentmondásos igénnyel szembesülnek, hogy növelni kell az élelmiszertermelést, ugyanakkor csökkenteni kell az intenzív termelési módszerek ökológiai hatásait. (Darnhofer et al., 2016)

2.1. Tojás

A tojás az egyik legszélesebb körben fogyasztott állati termék, és az emberi étrendben a minőségi fehérje és a mikrotápanyagok fontos forrása. Népszerűek, mert egészségesek, táplálók és olcsók. Egy átlagos tojás (62 g) körülbelül 7,5 g kiváló minőségű fehérjét tartalmaz, ami hasonló a tejben lévő fehérjéhez. A tojás emellett kiváló vitaminforrás is. Az egyetlen tojásban található A-, D-, B2-, B12-, biotin- és pantoténsav-vitaminok fedezik az átlagos napi szükségletet. Megjegyzendő továbbá, hogy a vas, a jód és a cink mikrotápanyagok is fedezik a napi szükségletet. A tojásban található számos jótékony összetevő mellett a koleszterintartalmat (kb. 200 mg/tojás) is figyelembe kell venni. A táplálkoástudományi szakemberek szerint azonban a tojásból származó koleszterinbevitel nincs jelentős negatív hatással az emberi szervezet koleszterinszintjére; napi egy tojás nem növeli a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát. (Legehuhnzucht et al., 2008)

2.2. Tojás feldolgozása

Ebben a fejezetben tojástermékek általában a következő termékek előállításához használják a következő szakaszokban.

A pasztörözést a tojás állati jellege, a bélrendszer és a bélkörnyezet állati jellege, valamint az a tény indokolja, hogy a tojás külső felülete erősen szennyezett. A tojás külső felülete a környezet által erősen szennyezett. A héjhoz tapadó mikroorganizmusok átvándorolhatnak a felszakadt

héjra, és gyorsan elszaporodhatnak. Ennek oka, hogy a tojáslé kiváló táplálékforrás a baktériumok számára. A tojásfeldolgozó üzemekben jelenleg különböző pasztőrözési technikákat alkalmaznak. Mindegyik esetben két fontos probléma merül fel: A tojás értékes anyagainak, különösen a fehérjének megőrzése, és a szennyező mikroorganizmusok lehető legnagyobb mértékű elpusztítása. A tojás, különösen a tojásfehérje nem sérülhet. A hőkezelés esetében az alkalmazott hőmérsékleteket és technikákat optimalizálni kell (Németh, 2012)

Pasztőrözött teljes tojáslé: 1 kg termék 22 tojásnak a tartalmát tartalmazza (egész tojás, sárgája és fehérje). Egész tojást, tojássárgáját, tojássárgáját és fehérjét tartalmaz természetes arányban. A termék tartósítószeret tartalmazhat. A termék tartósított és nem tartósított változatban kapható. Általában polietilén fóliával bélelt műanyag dobozokba csomagolják. és kisméretű Vario csomagolásban. Termékeket lehet 0-4 °C-on tárolni. (Németh, 2012)

Teljes tojáspor: 1 kg egész tojáspor 88-90 tojás teljes tartalmát. Vízzel hígítható és egyenletesen összekeverhető, hogy elkerülhető legyen a csomósodás Polietilén fóliával bélelt papírzacskókban kerül forgalomba. (Németh, 2012)

2.3. Tojásfeldolgozás általános technológiája

2.3.1. Tárolás és előkészítés

Csak olyan baromfigazdaságokból származó tojás dolgozható fel, amelyek átmentek a hatósági állatorvosi vizsgálaton. Az átvételi elismervényeknek súlyalapúnak (ebben az esetben fontos a súly feltüntetése). A friss tojásokat a raktáron osztályozzák és tárolják. (Németh, 2012)

Mivel a tojáshéj szennyezett, tisztítani kell (2. és 3. ábra), és erre különböző módszerek léteznek. A módszerek közé tartozik a fertőtlenítőszer aeroszolos permetezése, a mosás, az UV-sugárzás és az ózonos fertőtlenítés. (Németh, 2012)



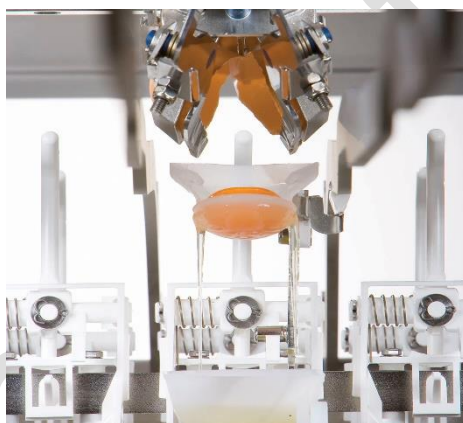
2. ábra: Tojások tálcára való pakolása (Forrás: www.savonoeng.com)



3. ábra: Tojások tisztítása (Forrás: www.savonoeng.com)

2.3.2 Törés

A feldolgozott tojások tartalma közvetlenül érintkezik a környezettel. Ezért be kell tartani az általános higiéniai előírásokat. A rövid feldolgozási idő miatt hűtés nem szükséges.



4. ábra: Tojástörőgép (Forrás: www.savonoeng.com)

A tojáshéj és a tojás összetevői is szétválaszthatók (4. ábra). Ez attól függ, hogy az egész tojásokat vagy a tojásfehérjét és a tojássárgáját külön dolgozzák-e fel. A mikrobiális szennyeződés lehetőségének csökkentése érdekében a törött tojáshéj szállítószalagra helyezhető. A tojások feltörése után egy szűrési folyamat zajlik. Ennek célja a héjba behatolt darabkák eltávolítása. Ez a folyamat kombinálható homogenizálással, és a további feldolgozáshoz 4°C-on tartott puffer tartályokban történik. A friss tojáslikórt ezen a hőmérsékleten tárolják. A friss tojáslé ezen a hőmérsékleten körülbelül 24 órán keresztül tárolható. (Németh, 2012)

2.3.3. Pasztőrözés

A friss tojás belseje általában steril a héjat borító keratinhártya és a tojásfehérjében lévő tartósítószer (con albumin, lizozim, avidin, pH $\approx$ 9) miatt. A feltört tojásból nyert tojáslé azonban nagy mennyiségű sárgáját tartalmazza. Ez a védőfunkció elvész, ha nagy mennyiségű biológiai anyag szabadul fel. A tojásfeldolgozás egyik legfontosabb lépése ezért a hőkezelés. A tojásban lévő fehérjék hőérzékenyek és magas hőmérsékleten összeomlanak, ami a mikroorganizmusok elszaporodásához vezet. (Németh, 2012)

Fontos ismerni az elpusztítandó mikroorganizmusok hőtűrését. Általában 60 °C-on körülbelül 3-4 percig tartó hőkezelés szükséges az ajánlott öt- és hatlépcsős Salmonella spp. csökkentés eléréséhez a fehérjében és a sárgájában a teljes tojásfolyadékban. Általában egy lemezes vagy csöves hőcserélőben az egész tojás vizét 4-5 percig 66 °C-on, a tojásfehérje vizét pedig 4-5 percig alacsonyabb, 57 °C-on melegítik (5.ábra).



5. ábra: Cső a csőben pasztőrözőgép (Forrás: www.savonoeng.com)

A nyersanyagok (tojásfehérje, tojássárgája és egész tojás) összetétele változó. A minimálisan ajánlott hőkezelési paraméterek és a tojásfehérje antimikrobiális védekező mechanizmusai mellett a mikroorganizmusok hőérzékenységet a lipid- és nedvességtartalom különbségei is erősen befolyásolják. Bizonyos élelmiszerek lipid- és nedvességtartalma összefüggést mutat a mikrobiális hőtűréssel. (Németh, 2012)

2.3.4. Hűtés

Pasztőrözés utána a tojáslé rögtön hűtött puffertartályba (6.ábra) kerül, hogy megakadályozzuk a további mikrobiológiai romlást és fertőzést. (Németh, 2012)



6. ábra: Hűtőtartály (Forrás: www.savonoeng.com)

2.3.5. Tojáslé csomagolás

Egyes tojáslevek nagyobb kannákban kerülnek forgalomba (7. ábra). Ezt a csomagolást elsősorban azoknak szánják, akik gyorsan használják a terméket. A visszazárható kannának (7. ábra) köszönhetően a tojáslé 72 órán át tárolható, ami különösen hasznos azok számára, akik gyorsan használják a terméket. Hosszú eltarthatóságú Variopack (8. ábra) pasztőrözött tojáslé kartondobozban kerül a piacra. Tartósítószerrel a tojáslé 4°C-on 7-10 napig tárolható. (Németh, 2012)



7. ábra: Tojáslé műanyag kannákban (Forrás: saját kép)



8. ábra: Variopack csomagológép (Forrás: www.savonoeng.com)

2.3.6. Porlasztva szárítás

A porított tojáspor silóban, 200-230 °C bemeneti hőmérsékleten és kb. 90 °C kimeneti hőmérsékleten (9. ábra). Az egész tojáslé, a tojásfehérje és a tojássárgája levének légszárítása, amelyet általában mechanikusan őrölnek. A termikus ciklonban történő hűtés után a termék egy zsákológépen keresztül polietilénnel bélelt papírsákokba kerül. A terméket polietilénnel bélelt papírsákba helyezik (10. ábra). A tojáspor kiváló minőségű élelmiszer-összetevő. Biológiailag értékes anyag, mivel nem haladja meg a nedves hőmérsékletet. Az anyag viszonylag kevésbé károsodik. A késztermék maximális nedvességtartalma 5% (Németh, 2012)



9. ábra: Porítógép (Forrás: saját kép)



10. ábra: Porítógép (Forrás: www.savonoeng.com)

3. Az életciklus-értékelés

3.1. Az életciklus-értékelés fogalma

Az életciklus-értékelések során a termék környezeti hatása a folyamat során felhasznált anyagok, a folyamat során felhasznált energia és az értékelési időszak alatt keletkező hulladék összegyűjtésével mérhető. Az energiát és a hulladékot összegyűjtik és felhasználják a termék környezeti hatásának mérésére. Az életciklus-értékelés a termék tényleges vagy potenciális környezeti hatását méri. Használható a különböző műszaki folyamatok, termékek, termelés és szolgáltatásnyújtás környezeti hatásainak összehasonlítására. Az életciklus-értékelés használható a termelés és a szolgáltatásnyújtás környezeti hatásának és gazdasági szempontjainak összehasonlítására. Például a termék csomagolásának potenciális hatása. A termékcsomagolás alternatívái. (Tóthné-Szita, 2020)

3.2. Az életciklus-értékelés története

Az életciklus fogalmát először Eugene L. Grant említette egy 1930-as cikkében, Schumpeter pedig 1934-es könyvében. Schumpeter szintén 1934-es könyvében említette ezt a fogalmat. A ma már életciklus-értékelésként ismert fogalmat először 1933-ban az Egyesült Államok kormányának egy traktorbeszerzésről szóló kiadványában említették. A fogalmat egy traktorbeszerzésről szóló amerikai kormányzati kiadványban említették.

Az első energiaelemzést, energiaelemzést, energiaigény- és hulladékszámításokat az Egyesült Államokban végezték el az 1960-as évek végén. Korlátozott és csökkenő nyersanyag- és energiaforrások. A nyersanyag- és energiaforrások korlátozott kínálata és elérhetősége; az energiatakarékossági lehetőségeket Harold Smith mutatta be 1963-ban a Vegyipari Gyártás és Termékek Világkonferenciáján. Smith kiszámította a vegyi anyagok és termékek előállításához szükséges összes energiát.

Az 1970-es években az energiaárak emelkedése ösztönözte a kevesebb energiával történő termelésre és az alternatív energiaforrások felhasználására irányuló technológiai megoldások kutatását, különösen a vegyiparban. Vegyipar és alternatív energiaforrások (pl. napenergia, alkohol).

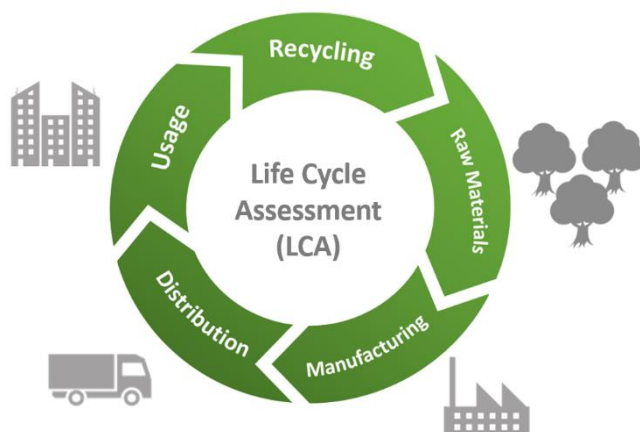
Az első teljes életciklus-értékelés a csomagolásról készült tanulmány volt. Ezt az elemzést 1969-ben az USA közép-nyugati részén működő Midwest Research Institute végezte el a Coca-Cola Company of America számára. Ez mérföldkő volt az életciklus-elemzés és a csomagolási kutatások történetében. Fordulópontot jelentett az anyagvizsgálat fejlődésében. A Coca-Cola számos italos tárolóedény életciklus-értékelését végezte el, és a REPA koncepcionális erőforrás- és környezeti profilelemzésekben más italos tárolóedények életciklus-értékelését is szponzorálta. Az ebben az időszakban végzett kutatások szerint a palackok tucatnyi oda-vissza utat tettek meg a fogyasztók és a palackozók között. A palackok oda-vissza utaztak a vállalat és a palackozó között. A vállalat különböző típusú egyutas csomagolásokat használt. A csomagolást összehasonlították a betétes üvegpalackokkal az energiafogyasztás, a hulladéktermelés, a vízszennyezés és a légszennyezés szempontjából. Ebben az összefüggésben magánfinanszírozása hatalmas volt ennek a kutatásnak. (McManus et al., 2015)

Eközben Európában is kidolgoztak egy hasonló leltározási megközelítést, amelyet később „ökológiai mérlegnek” neveztek el: A BOUSTEAD 1979-ben kiszámította az Egyesült Királyságban található palackok, műanyag-, acél- és alumíniumtartályok számát. Ezt a módszert részleges LCA-ként fogadták el, és 1970-ben kiterjesztették a csomagolóanyagok környezeti hatásainak elemzésére. Ennek háttérében a korábban említett energiaár-robbanás állt. (FAVA et al., 1991)

A módszer széles-körű elterjedését az 1980-as évek közepén a csomagolási hulladék ártalmatlanításáról szóló vita is ösztönözte. Ez is felgyorsította a csomagolási hulladék ártalmatlanításáról szóló vitát. Fontos áttörést jelentett 1979-ben a SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) megalapítása, amely egy nonprofit szakmai szervezet, amely a környezeti kérdések tanulmányozásának multidiszciplináris megközelítését támogatja.

1979-ben BOUSTED és HANCOCK kézikönyvet adott ki az ipari energiaelemzésről, és az 1980-as évek végére az életciklus-elemzés a környezeti kockázatok jobb megértésének fontos eszközévé vált.

1989-ben jelent meg a ma már legszélesebb körben használt GaBi szoftver, amely jelentősfejlődéshez vezetett az életciklus-értékelésben. Ma már piacvezető az életciklus-értékelési eszközök és adatbázisok fejlesztésében. A GaBi piacvezető az életciklus-értékelési eszközök és adatbázisok fejlesztésében. (internet 1)



11. ábra: Egy termék életciklusa az ISO14040 szabvány szerint (Forrás: ISO14040)

Az 1960-as években az életciklus-értékeléseket különböző módszerekkel végezték, és nem voltak egységesen címkézve. Németországban, Svájcban, Ausztriában és Japánban „ökológiai mérleg”, az USA-ban „erőforrás- és környezeti profilelemzés” volt a neve. Az USA-ban „környezeti profil” volt a neve. A SETAC által az 1990-es évek végén kiadott ISO 14040 szabvány ezért fontos előrelépést jelentett: A SETAC „Életciklus- és hatásvizsgálat”, egy átfogó európai LCA-irányelv az életciklus-értékelés és az életciklus-hatásvizsgálat és -értékelés keretrendszeréről. Ez az új szabvány nagyban megkönnyítette a módszertan bevezetését és terjesztését (11. ábra).

Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) megkezdte az LCA-szabvány kidolgozását. Az LCA-kutatás koordinálására szabványt dolgozott ki és ebben a szabványban az UDO-hess. (Klöpffer, 1997)

Már a 90-es években és az 2000-es évek elején egyre csak nőtt a módszer iránti érdeklődés. Az Európai Bizottság Környezetvédelmi és Fenntarthatósági Közös Kutatóközpontja 2012-ben hozta létre az Európai Környezetvédelmi és Fenntarthatósági Központ Környezetvédelmi és Fenntarthatósági Intézetét.

Az Európai Környezetvédelmi és Fenntarthatósági Központ Környezetvédelmi és Fenntarthatósági Intézete 2012-ben kiadta a Nemzetközi életciklus-adatrendszer kézikönyvét. Megjelent az Életciklus-adatrendszerek nemzetközi útmutatója, amely meghatározta az ISO 14040 és 14044 szabványokat. Meghatározta az 14044 és 14040 szabványok átfogó kiegészítő rendelkezéseit. (Tóthné-Szita, 2008)

3.3. Az életciklus-értékelés az EU-ban

Az első környezetvédelmi megállapodás az 1967-ben elfogadott európai közös jog volt. Az Európai Uniót létrehozó 1992-es Maastrichti Szerződés egy másik mérföldkő volt a fenntartható fejlődés szempontjából. A Maastrichti Szerződés, amelyet nem sokkal a fenntartható fejlődésről szóló Riói világcsúcs után írtak alá, módosította a Római Szerződést, és közösségi célkitűzésként a „környezetvédelemmel” egészítette ki. (Bándi, 2004)

A különböző kutatócsoportok munkáját és az OECD ajánlásait figyelembe véve az EU integrált termékpolitikája az Európai Unió integrált termékpolitikájának kidolgozására vonatkozó ajánlásokból áll.

Az EU integrált termékpolitikája (EU IPP) a következőkről rendelkezik:

- a termékek és szolgáltatások környezeti teljesítményének értékelésére szolgáló életciklus-értékeléseket

Az uniós integrált termékpolitika az életciklus-értékelésnek a termékek és szolgáltatások környezeti teljesítményének és ökotervezésének támogatására szolgáló eszközként való alkalmazását szorgalmazza. Az IPP az első olyan dokumentum, amely hivatalosan is beépíti az életciklus-gondolkodást az európai politikába.

Az életciklus-elemzés célja az áruk és szolgáltatások minőségének javítása, valamint az áruk és szolgáltatások fejlesztési potenciáljának növelése. Célja az áruk és szolgáltatások minőségének javítása. Ezt a környezeti hatások és az erőforrás-felhasználás csökkentésével lehet elérni. A termék vagy szolgáltatás életciklusának valamennyi szakasza (nyersanyagok/ellátási lánc) ártalmatlanítási hatások, a termékek újra felhasználása vagy újrahasznosítási vagy újrafeldolgozási lehetőségek. (internet 2)

3.4. Az életciklus-értékelése Magyarországon

Magyarországon 1990-es évek óta jelenek meg a tanulmányok ezen a területen. Az első tanulmányokat a Veszprémi Egyetemen Tamaska László és társai végezték. A téma fontosságát felismerve különböző elemzések készültek. Különböző elemzéseket végeztek, mint például a csomagolóanyagok összehasonlítása és az energiatermelés környezetre gyakorolt hatása. Tóthné Szita Klára 2008-ban publikált egy cikket „A csomagolóanyagok életciklus-elemzése. Az

elméleti alapoktól a gyakorlatig” címmel 2008-ban. Egyre több egyetem kínál fakultatív kurzust az életciklus-elemzésről. (internet 3)

3.5. Felhasználási területei

Az életciklus-értékelés fontossága ma már nem vitatott; az LCA a nemzetgazdaság fontos eleme és ennek eredményeként az életciklus-értékelés a különböző ágazatokban tanulmányokat végeztek (1. táblázat).

1. Táblázat: Az életciklus-értékelés néhány felhasználási példája (Forrás: saját szerkesztés)

Publikáció	Szerző
Hulladékgazdálkodás, hulladék-kezelés	HONG et al., 2010
Energiaszektor, energetika	SZITA-TÓTH et al., 2004
Fenntartható agrár-élelmiszeripari ágazat	MEIER et al., 2015
Különböző üzemanyagok	ASDRUBALI et al., 2015
Tisztább termelés	KORONEOS et al., 2005
Költséghatékony életcikluselemzés	KORPI, 2008
Ökológiai terméktervezés	BREZET et al, 1999
Csomagolások	DAY 1981

Az LCA segíthet:

- A környezeti hatások lehetőségeinek azonosítása a termék életciklusának különböző pontjain.
- Az ipari, kormányzati és nem kormányzati szervezetek döntéshozóinak tájékoztatása.
- Környezeti teljesítményre vonatkozó releváns mutatók és mérési technikák kiválasztása.
- Marketing (pl. ökocímke programok, környezetvédelmi gyakorlatok, környezetvédelmi terméknyilatkozatok). (internet4)

3.6. Az ISO 14040

Az ISO 14040 szabványcsalád az életciklus-értékelés (LCA) szabványosítását szolgálja, és a környezeti menedzsment nemzetközi szabványainak része. Ez a szabványcsalád az LCA végrehajtásának alapelveit, keretét és követelményeit határozza meg, és iránymutatást nyújt a termékek, folyamatok és szolgáltatások környezeti hatásainak értékeléséhez. (internet 4)

A következő táblázatban felsoroltam pár ISO szabványcsalád érvényben lévő tagjait (2. táblázat).

2. Táblázat: ISO szabványcsalád pár példája (Forrás: ISO 14044, nyomán)

ISO szabványok	Tartalmuk rövid leírása
MSZ EN ISO 14044:2021	Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Alapelvek és keretek.
MSZ EN ISO 14045:2023	Környezetközpontú irányítás. Termékrendszerek ökológiai hatékonyságának értékelése. Alapelvek, követelmények és útmutató.
ISO/TR 14044:2023	Környezetgazdálkodás - Életciklus-értékelés - Szemléltető példák az ISO 14044 alkalmazására a cél- és hatókör-meghatározáshoz és a leltár-elemzéshez.
MSZ EN ISO 14046:2023	Környezetközpontú irányítás. Vízlábnyom. Alapelvek, követelmények és irányelvek

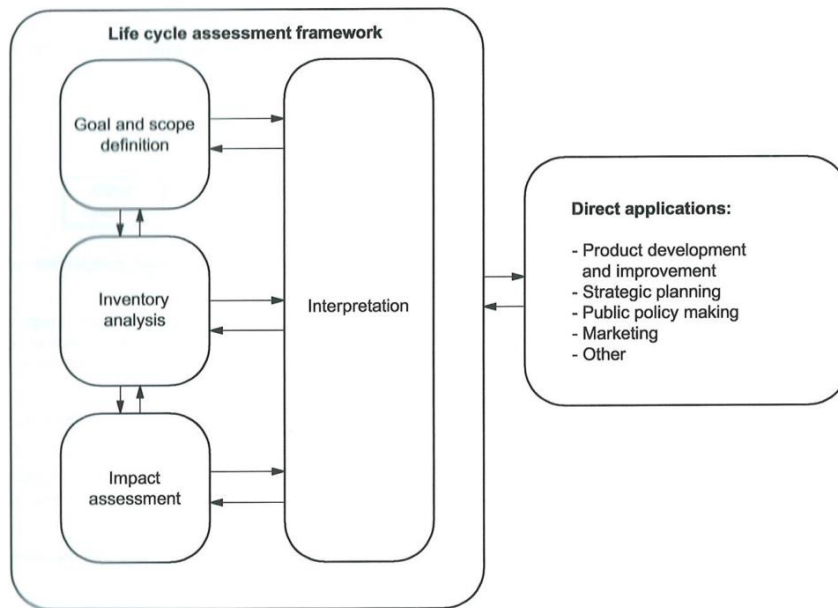
3.6.1. ISO 14040:2006 szabvány az életciklus-értékelés

Az ISO 14040:2006 csak az elemzés kereteit és alapelveit adja meg, és nem határozza meg konkrétan az egyes szakaszokban alkalmazandó konkrét módszereket és technikákat.

A szabvány az 1. pontban határozza meg az elemzés keretrendszerét, amely a következő szakaszból áll:

- a) Az LCA meghatározása, célja és hatálya,
- b) az életciklus-leltár elemzési szakasza
- c) életciklus-hatásvizsgálati szakasz
- d) d. életciklus-értelmezési szakasz
- e) az életciklus-tanulmányok elkészítése és kritikai értékelése
- f) életciklus-korlátozások
- g) Az életciklus szakaszai közötti kapcsolatok
- h) Az értékek kiválasztásának és a választható elemek használatának feltételei.

A nemzetközi szabvány előírja az életciklus-értékelés (LCA) és az életciklus-leltár (LCI) egy típusát elemzést (12. ábra). (ISO: 14040)



12. ábra: Az LCA lépése (Forrás: ISO 14040:2006)

Az LCA-folyamat négy szakasza

1. -A vizsgálat céljának és hatályának meghatározása
2. -Leltárelemzés
3. -Hatásvizsgálat
4. -Értelmezés

3.6.2. A cél és a hatásterület meghatározása

Az életciklus-értékelés egyik legfontosabb lépése az elemzés céljának és a rendszer határainak meghatározása. Ez a rendszer határainak meghatározása. A cél és a hatókör meghatározása segít tisztázni az életciklus-értékelés elvégzésének motivációját és okait. Az életciklus-elemzés elvégzésének motivációjának és okainak tisztázása. Ez a kitűzött céloktól függ. Például az elemzés mélységétől és módszerétől. A célok pontos és szigorú meghatározása alapvető fontosságú. Ez magában foglalja azt is, hogy kinek és milyen célból készül, és hogy az elemzés nyilvánosan hozzáférhetővé válik-e. Néhány példa a célkitűzésekre a következőkre: csomagolási alternatívák összehasonlítása és a potenciális energiamegtakarítás azonosítása. (Tóthné-Szita, 2008)

3.6.3. Funkció, funkcionális egység, és a referencia áram

A funkciók meghatározása:

Egy rendszernek különböző funkciói lehetnek. Például a különböző italcsomagolások összehasonlításakor a csomagolások formájukban, megjelenésükben és csomagolóanyagukban különbözhetnek egymástól, de a funkciójuk azonos. A csomagolás elsődleges célja a termék védelme. Az életciklus-értékelés során az italos kartondobozok, az alumíniumdobozok és a műanyag palackok hasonló funkcióval rendelkeznek. (Klöffler-Grahl, 2014)

Funkcionális egység:

A termékrendszerben referenciaegységként meghatározott mennyiség. Referenciaegységként használatos. A funkcionális egységeket a következőképpen kell meghatározni világosan megfogalmazott, mérhető és a termék funkciójával összeegyeztethető (Tóthné-Szita, 2008)

A referenciaáram az adott termékrendszer folyamatából származó kimeneti mennyiséget jelenti, egy adott termékrendszer folyamatából származó kimeneti mennyiséget jelent, amely a funkcionális egységek által meghatározott funkció teljesítéséhez szükséges (internet 4).

3.6.4. Rendszerhatárok

A rendszerhatár meghatározása az LCA egyik legfontosabb lépése. Meghatározza a termékrendszer elemzése során figyelembe veendő vagy kizárando egységeket vagy folyamatokat. Ezt alapvetően az összegyűjtött adatok határozzák meg. Ezt a begyűjtött adatok határozzák meg. Hasznos egy folyamatábrát készíteni, amely a rendszerhatárokat és a bemeneti és kimeneti áramlatokat mutatja. A termék életciklusához hozzájáruló valamennyi folyamat a rendszerhatáron belül. A rendszerhatárok meghatározásakor a következő pontokat kell figyelembe venni. A célkitűzések és a keretrendszer meghatározása az előző szakaszban leírtak szerint történik. (Klöffler-Grahl, 2014)

3.6.5. Adatok minősége

Az életciklus-értékelésnek ebben a részében világosan meg kell határozni, hogy mely adatokat veszik figyelembe, és melyeket lehet figyelmen kívül hagyni, becsülni vagy feltételezni. Egyértelművé kell tenni, hogy mely adatokat lehet figyelmen kívül hagyni, becsülni vagy feltételezni. Ha lehetséges, az elemzésben mérésekből vagy kísérleti adatokból származó adatokat kell felhasználni. Az adatokat az elemzés célja szerint kell összegyűjteni és

csoportosítani. Amennyiben megbízható adatok nem állnak rendelkezésre, az adatok megkonstruálásához statisztikai adatok használhatók. Az LCI-adatok elérhetősége azonban továbbra is jelentős probléma. Az adatok minősége növeli az elemzés bizonytalanságát és a hibás eredményeket téves értelmezésekhez vezetnek. (Weidema, 1996)

3.6.6. Leltárelemzés és leltárkészítés

Az életciklus-leltárelemzés egy termékrendszer életciklusát méri. A készletelemzés az anyag- és energiabemenetek és -kimenetek áramlását méri egy termékrendszer, termék vagy termék életciklusának meghatározott szakaszaiban. A leltározást leginkább az adatgyűjtésre fordított idő befolyásolja. Ebben segíthetnek a szoftveres adatbázisok. Az adatoknak tartalmazniuk kell az összes inputot és outputot. A bemenetek a nyersanyagok, a víz és az energia, a kimenetek pedig az inputok és az outputok. (internet 4)

3.6.7. Életciklus hatásértékelés

Az életciklus-hatásvizsgálatok célja a környezeti hatások megértése és elemzése, a leltárelemzésből nyert adatokból kiszámítva. A leltár eredményei a következők.

- Hatáskategóriák és hatáskategória-mutatók kiválasztása.
- A leltáradatok hatáskategóriák szerinti osztályozása.
- A hatáskategória-mutatók eredményeinek kiszámítása.
- Opcionálisan normalizálás is alkalmazható.

Ez az eredményeknek egy referenciaértékhez viszonyított normalizálása. Súlyozás, az eredmények összehasonlítása és minőségi értékelése. (Tóthné-Szita, 2008)

3.6.8. Elemzési módszerek és Hatáskategóriák

A környezeti hatások elsősorban az emberi tevékenységekből eredő kibocsátásokhoz és kibocsátásokhoz kapcsolódnak. A hatásosztályozás az osztályozás által lefedett környezeti problémák egy osztályát jelenti. A hatásosztályozások közös jellemzője, hogy kisebb léptékűek, mint a másik két hatásosztályozás. Az egyes hatáskategóriákhoz a vonatkozó hatásvizsgálati módszertan szerzői a következő referenciaegységeket határozzák meg. A referenciaegységek meghatározása a következőképpen történik. (Tóthné-Szita, 2008)

3.6.8.1. Hatáselemzés módszerei

A környezeti hatások elsősorban az emberi tevékenységekből eredő kibocsátásokhoz és kibocsátásokhoz kapcsolódnak. A hatáskategória az adott kategóriába tartozó környezeti problémák osztálya. A hatáskategóriák közös jellemzője, hogy a méretarányuk kisebb, mint a másik két hatáskategória. Az egyes hatáskategóriákhoz a vonatkozó hatáselemzési módszertan szerzői a következő referenciaegységeket határozzák meg. A referenciaegységek meghatározása a következőképpen történik. (HEIJUNGS et al., 1992)

3.6.8.2. Hatáselemző módszerek

CML: A CML az első átfogó életciklus-értékelési módszertan, amelyet a Leideni Egyetem Környezetgazdálkodási Központjában (CML) fejlesztettek ki 1990-ben. Ezen a módszertanon alapul. Számos szoftvertermékre alkalmazták. A figyelembe vett hatáskategóriák közé tartozik az erőforrások és nyersanyagok kimerülése, az éghajlatváltozás, az ózon kimerülése, a fotokémiai ózon termelődése, a savasodás, a tápanyagok feldúsulása, a hulladék, a szagok és a zaj. (HEIJUNGS et al., 1992)

ILCD: Elsősorban a környezeti terhelés egészségügyi hatásaira összpontosít. Módszerek A hatásokat az emberi egészségre gyakorolt hatások, az éghajlatváltozás, az erőforrás-változás és az ökoszisztéma-változás kategóriáiba sorolják; a PEF legújabb ajánlásai olyan kategóriákat tartalmaznak, mint a földhasználat, a földhasználat változása, a földhasználat és az erőforrások kimerülése.

ReCiPe: Az új, 2016-os változat végpontos és középtávú hatásvizsgálati módszereket tartalmaz. A figyelembe vett hatáskategóriák köre széles, és sikeresen hozzáigazítható az értékelés témájához és célkitűzéseire. Emellett a legtöbb életciklus-értékelési szoftver szerves részét képezi. Ecoindicator99: Az ökoindikátor99 egy másik károrientált hatásvizsgálati módszer. (GOEDKOOPE et al., 2000)

3.6.8.3. Hatáskategóriák

Az alábbi táblázatban az Environmental Footprint (Mid-point) a környezeti lábnyom (középpont) hatáselemzési módszerét mutatom be pár példával (3. táblázat).

3. Táblázat: Az Environmental Footprint (Mid-point) hatásértékelő módszer néhány hatáskategóriája (Forrás: EC, 2024)

Hatáskategóriák megnevezése az EF-ben	Mértékegység
Climate change	kg CO ₂ eq
Eutrophication marine	kg P eq
Human toxicity, cancer	CTUh
Land use	pt
Particulate Matter	death
Water use	m ³ water eq deprived water

Savasodás (Acidification Potential, AP)

A hatáskategóriák az emberi tevékenységekből származó káros kibocsátásokra vonatkoznak. A savas gázok, mint például a kén-dioxid (SO₂) a légkörben lévő vízzel reakcióba lépve savas esőt képeznek. A savas eső mennyisége változó. Az ökoszisztémák károsodása, beleértve az ökoszisztémák minőségének csökkenését és a biológiai sokféleség csökkenését, a táj ökoszisztémájának jellegétől függ, de elsősorban az erdőirtás és a talaj savasodása jellemzi (KLÖPFFER és GRAHL, 2009). Az ammónia jelentősen hozzájárul a légköri savasodás fokozódásához. A savasodás mértéke régióként nagyon eltérő (HETTELING et al., 1995, POSCH et al., 2001), és a hatáskategóriák kiszámításához használt módszerek felülvizsgálatát teszi szükségessé. (SEPPÄLÄ et al., 2006, POSCH et al., 2008)

Éghajlatváltozás (Climat Change, GWP)

Az éghajlatváltozás a gazdasági tevékenységek környezetre gyakorolt hatása, és az egyik legnehezebben leküzdhető globális probléma. Ez az egyik legsúlyosabb globális probléma. Az ember által okozott üvegházhatást az üvegházhatású gázok okozzák. Az üvegházhatású gázok a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄) és a klórfluor-szénhidrogén gázok. A különböző gázok hatását globális felmelegedési potenciálként (GWP) ismerjük. A globális felmelegedési potenciál (GWP) a következőképpen van meghatározva: GWP20, GWP50 és GWP100) egy általánosan elfogadott mérőszáma annak, hogy egy adott üvegházhatású gáz mekkora globális felmelegedést okoz egy másik üvegházhatású gáz tömegéhez képest. A szén-dioxid azonos tömegéhez képest melegíti a légkört. (GUINÉE, 2002)

Az ipari forradalom óta az emberi gazdasági tevékenység növelte az üvegházhatású gázok kibocsátását. Az üvegházhatású gázok kibocsátása ma már nagy mennyiségben történik. Sokkal több üvegházhatású gáz kerül kibocsátásra, mint amennyit a természetes szénkőforgás képes

megkötni. Ez a légkör szén-dioxid-koncentrációjának növekedéséhez vezet, ami kiváltja az üvegházhatást, és csökkenti a Földre jutó napenergia mennyiségét. (internet 5)

Szervetlen elemek kimerülése, energiaforrások ((Resource use minerals and metals, Abiotic Depletion Potential, ADP (Mineral)

Ez a hatáskategória a fosszilis tüzelőanyagok nyersanyagként való felhasználásának csökkentésére vonatkozik. A fosszilis tüzelőanyagokat, a szenet, a kőolajat és a földgázt az elmúlt évszázadokban energiaforrásként használták. A múltban és a jelenben is fontos szerepet játszottak az energiatermelésben. Ezen tüzelőanyagok korlátozott geológiai tartalékai korlátozzák termelésüket és földrajzi eloszlásukat is. Ezek a tüzelőanyagok földrajzilag egyenlőtlenül oszlanak el, és használatuk jelentős szennyezési forrást jelent. Az előző kategóriához hasonlóan ezek is a tartalékok mennyiségétől és a bányászat mértékétől függenek. Egysége: MJ. (GUINÉE, 2002)

Édesvízi ökototoxicitás (Ecotoxicity freshwater, ETP)

Általánosságban elmondható, hogy a nem emberi populációk élettartamát jelentősen veszélyeztetik az emberi tevékenységek eredményeként felszabaduló vegyi anyagok. A populációk élettartamát veszélyeztethetik az emberi tevékenységek eredményeként felszabaduló vegyi anyagok. A növényekre és állatokra gyakorolt toxikológiai hatások sokkal kevésbé jól ismertek, mint a nem emberi fajokra gyakorolt toxikológiai hatások. (JOLLIET et al., 2004)

Szárazföldi, édesvízi és tengeri eutrofizáció (Eutrophication terrestrial, marine, freshwater, ETP)

Az eutrofizálódást a makrotápanyagok, különösen a nitrogén (N) és a foszfor (P) magas koncentrációja befolyásolja. A foszfor- és P-dúsulás nemkívánatos tényezők a fajösszetétel és a fokozott biomassza-termelés szempontjából mind a vízi, mind a szárazföldi ökoszisztémákban. Növeli a biomassza termelést mind a vízi, mind a szárazföldi ökoszisztémákban. A magas tápanyagkoncentráció a víz ihatóságát is rontja. A vízi ökoszisztémákban a megnövekedett biomassza-termelés (algák növekedése) a megnövekedett oxigénkoncentrációval jár együtt. Ez növeli a halpusztulást. Az eutrofizáció természetes és mesterséges tavakban egyaránt előfordul. Az eutrofizáció mesterséges és természetes tavakban egyaránt előfordul. (KLÖPFFER és GRAHL, 2009)

A szárazföldi eutrofizáció az ökoszisztémák kritikus terheléssel szembeni sebezhetősége. Egy ökoszisztéma törékenysége. Az eutrofizáció mérése az EF (középponti) hatáselemzővel történik. Módszerenként mérik és három hatáskategóriába sorolják. A tengeri eutrofizáció mérése kg N-egyenértékben történik, a szárazföldi eutrofizációt mol N-egyenértékben mértük, édesvizek eutrofizációja melynek mértékegysége: kg P eq. (SEPPÄLÄ et al. 2006, POSCH et al, 2008)

Humántoxicitás s (Human-Toxicity Potential, HTP)

A humán toxicitási potenciál egy olyan mutató, amely kiszámítja a környezetbe kerülő anyagok, például az arzén, a nátriumdikromát és a hidrogén-fluorid emberi szervezetre gyakorolt mérgező hatását. A hidrogén-fluorid főként a fosszilis tüzelőanyagokon alapuló energiatermelésből származik. A fosszilis tüzelőanyagok potenciálisan veszélyes vegyi anyagok. A fosszilis tüzelőanyagok belélegezve, lenyelve és érintkezve károsak lehetnek az emberi egészségre. A karcinogenitás.EF (középpont) a hatások két kategóriáját értékeli. Az emberre gyakorolt toxicitást két kategóriában értékelik: Rák és nem rákos megbetegedések. Mérési egység CTUh. (ROSENBA, et al. 2008)

Ózonréteg károsodása (Ozone Depletion Potential, ODP)

Az ózonlebontó gázok csökkentik az ózonkoncentrációt a sztratoszférában. Bár különböző hipotézisek születtek a különböző gázok sztratoszférában kifejtett együttes hatásairól, az biztos, hogy minden olyan klórozott és brómozott vegyület, amely elég stabil ahhoz, hogy elérje a sztratoszférát, hatással van az ózonrétegre. Minden klórozott és brómozott vegyület, amely elég stabil ahhoz, hogy elérje a sztratoszférát, hatással lehet az ózonrétegre. A CFC, a halon és a HCFC típusú gázok az ózonpusztulás fő forrásai. Az ultraibolya sugárzásból származó UVB sugárzás rákkeltő. Az ózonlebontó azt jelzi, hogy egy vegyület veszélyt jelent-e egy referenciaegységre. A referencia vegyület a CFC-11. (PYLE, et al.)

Ionizáló sugárzás (Ionising radiation, IR)

Az LCA a következőképpen írja le az emberi egészségre és az ökoszisztémákra gyakorolt károkat hatáskategóriánként Az atomenergiát villamos energia előállítására használják. A hatáskategóriákat az alfa-, béta-, gamma- és neutronsugárzás sugárzási kényszerének szempontjából határozzák meg. A neutron- és nukleáris típusokat a nukleáris fizikai

tulajdonságok alapján határozzák meg. A sugárzás mértékegysége az U-235 kBq. (DREICER et al., 1995, FRISCHKNECKT et al., 2000)

Földhasználat (Land use, LU)

A föld és a talaj korlátozott, nem megújuló erőforrások. A föld és a talaj korlátozott, nem megújuló erőforrások. A földterület emberi tevékenységekkel szembeni érzékenysége növeli az ökoszisztémákat fenyegető veszélyeket. Ezt a hatáskategóriát az UNEP/SETAC földhasználati értékelési keretrendszer határozza meg. (MILà I CANALS et al., 2007, KOELLNER et al., 2007)

Részecskék (Respiratory inorganics RI)

A részecskeszennyezés számos összetevőből áll, többek között sókból (pl. nitrátok és szulfátok), szerves vegyi anyagokból, fémekből, talajból és porból. A részecskeszennyezés olyan egészségügyi problémákkal hozható összefüggésbe, mint a légzőszervi megbetegedések. (FANTKE et al., 2018). A 2,5 µm alatti részecskék nem vagy valószínűleg nem ürülnek ki, amikor a tüdőbe jutnak. Mérési egység: A PM_{2,5}, azaz a 2,5 µm-nél kisebb részecskékkel egyenértékű. (UNEP, 2016)

Fotokémiai oxidáció (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)

Az ózon a sztratoszférában védő funkciót tölt be, de a talajszintjén mérgező. A fotokémiai ózon vagy talajközeli ózon nyári szmogként is ismert. Az illékony szerves vegyületek és a nitrogén-oxidok reakciója során keletkezik. A szén-monoxid (CO₂), kén-dioxid (SO₂), nitrogén-oxidok (NO), ammónium, NMVOC (nem-metán). LABOUZE et al., 2004)

Mértékegysége: kg NMVOC eq (Van ZELME et al., 2012)

Vízkészletek (Water use, WU)

Az általam elemzett ipari tevékenységek többsége, beleértve az üveggyártást és -feldolgozást, nagy mennyiségű édesvizet igényel. A termelési tevékenységek nagy mennyiségű édesvizet igényelnek, amely mind az emberek, mind az ökoszisztémák számára fontos erőforrás. Az ember és az ökoszisztémák számára egyaránt fontos erőforrás. A vízkészletek rendelkezésre állása és kimerülése kritikus fontosságú az ökoszisztémák túlélése szempontjából. Ökoszisztémák Mértékegység: m³. (UNEP, 2016, BOULAY et al., 2018)

Endpoint és Midpoint módszerek

Az általam választott elemzési módszer a környezeti lábnyom (középpont). A hatásvizsgálati módszerek másik nagy csoportja a végponti módszer.

End-point módszerek:

- több hatáskategória értékeit összegzik
- bizonytalanabb értékeket adnak
- számos módszertani bizonytalanságuk van

Mid-point módszerek:

- probléma orientáltak
- a folyamat közbenső pontját jellemzik
- nem alakítható ki egy aggregált érték

3.6.9. Az életciklus értelmezése

Az életciklus-értelmezés az a szakasz, amikor a leltárelemzés és a hatásvizsgálat eredményeit összevetik az életciklus-értékelés eredményeivel. A hatásvizsgálat eredményeit összevetik a hatásvizsgálat eredményeivel és összevetik a célkitűzésekkel. Ezt követően következtetéseket, ajánlásokat és javaslatokat fogalmaznak meg.

3.6.10. Jelentés készítése

Az értékelés utolsó szakasza a tanulmány eredményeinek bemutatása a felhasználónak. Könnyen érthető formában mutassa be az alkalmazott módszereket, az eredményeket, a korlátozásokat, a javaslatokat és az ajánlásokat. Tartalmazza a javaslatokat és ajánlásokat könnyen érthető formában.

3.6.11. Kritikai felülvizsgálat

A kritikai felülvizsgálatok bevonhatják az érdekelt feleket a felülvizsgálati folyamatba. A felülvizsgálatot belső vagy külső független szakértők bevonásával is el lehet végezni. A gyakorlatban a felülvizsgálati folyamat részeként is elvégezhetők. A kritikai felülvizsgálatok megkönnyíthetik az LCA-k megértését és növelhetik hitelességüket. Lehetővé teszi továbbá a megállapítások összehasonlítását és kritikai vizsgálatra is szükség van. (Tóthné-Szita, 2008)

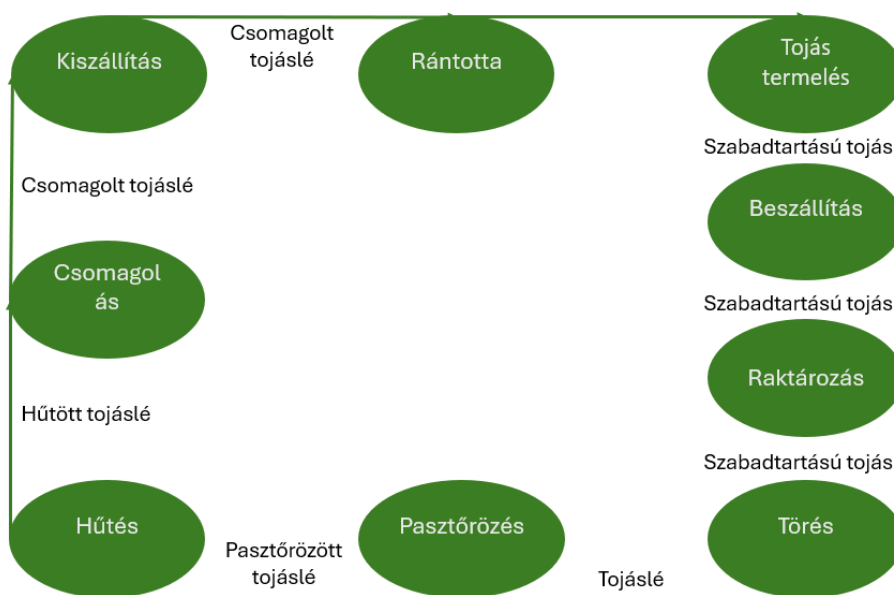
4. Anyag és módszer

4.1. Adatgyűjtés

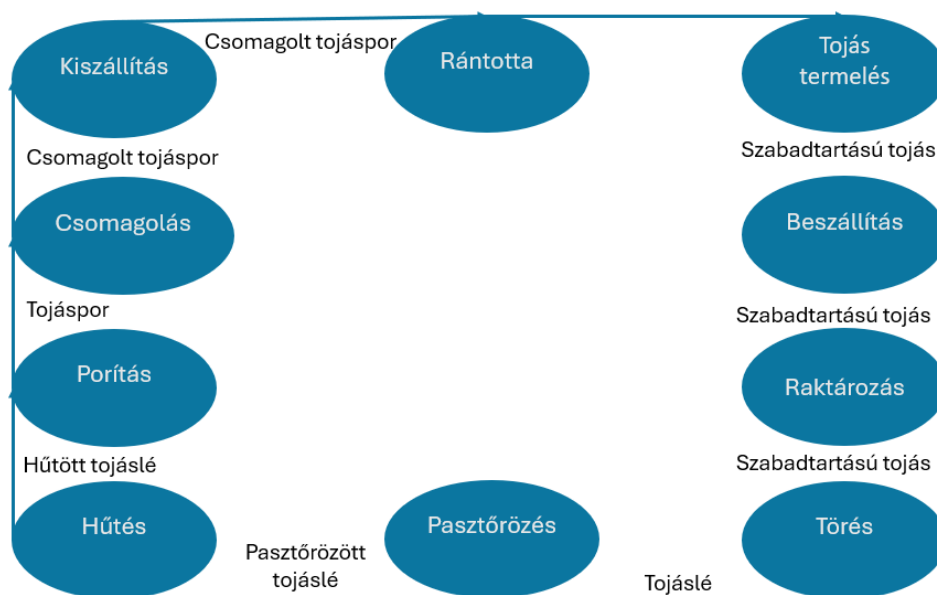
Ezek az leltáradatok Magyarország egyetlen tojásfeldolgozó üzeméből származnak. Az üzem tojásport és tojáslét állít elő a kereskedelmi és vendéglátóipar számára. Az üzem naponta több tonna tojást dolgoz fel, amelynek egy része tojófarmokon nevelt házi tyúkoktól, másik része pedig import tojásból származik.

4.2. Rendszerhatárok

Az elemzésemnél két különböző terméket vizsgáltam ezek a teljes tojásport és a teljes tojáslé lett. A vizsgálat célja volt, hogy a különböző termékek előállításának során mennyi a károsanyag kibocsátás a gyártás kezdetétől a gyártás végéig. A referencia folyamatom a kiszállítás lett (13. és 14. ábra).



13. ábra: Tojáslé gyártási folyamata (Forrás: saját kép)



14. ábra: Tojáspor gyártási folyamata (Forrás: saját kép)

A raklapok és kartonok szállítása és kezelése megfelelő adatok hiánya miatt nem tartozik a rendszer határai közé. Adatforrásaim az OpenLCA-hoz ingyenesen letölthető adatbázisok voltak.

4.3. Leltáradatok

A vállalkozástól kapott és abból számolt adatokat az 1. és 2. táblázatban összegeztem. Kalkulációs egységként az 1 tonna készterméket választottam, így a kapott adatokat mind 1 tonnára számoltam át (4. és 5. táblázat)

4. Táblázat: 1 tonna tojáslé számolt energiaigénye (Forrás: saját szerkesztés)

1 tonna tojáslére számolva			
Folyamat	Áramfelhasználás [kWh]	Vízfelhasználás [m³]	Gázfelhasználás [m³]
Beszállítás	0.00	0.00	0.00
Raktározás	6.66	0.00	0.00
Törés	44.43	0.44	0.00
Pasztörözés	55.53	1.11	12.22
Hűtés	666.39	1.67	0.00
Csomagolás	3.01	0.00	0.00
Kiszállítás	0.00	0.00	0.00 m

5. Táblázat: 1 tonna tojáspor számolt energiaigénye (forrás: saját szerkesztés)

1 tonna tojásporra számolva			
Folyamat	Áramfelhasználás [kWh]	Vízfelhasználás [m³]	Gázfelhasználás [m³]
Beszállítás	0.0	0.0	0.0
Raktározás	26.7	0.0	0.0
Törés	177.7	1.8	0.0
Pasztörözés	222.1	4.4	48.9
Hűtés	2665.5	6.7	0.0
Porítás	633.60	1.056	290.40
Csomagolás	3.01	0.0	0.0
Kiszállítás	0.00	0.0	0.0

Az alapanyag beszerzése mára fent említett saját telepről történik meg de egy része import, ami Lengyelországból érkezik. A tojások szállítása 40 tonnás teherautókkal történik a szállítmányozási távolság nagyjából 850 kilométer a gépjármű EURO6-os besorolású motorral rendelkezik.

Egy szállítás alkalmával 22 raklapot tud szállítani a kamion egy raklapon 9600 darab tojás van, amiknek átlagos tömege 60 gramm ezzel az értékkel számoltam.

Így egy teherautón 211.200 darab tojás van:

$$22r * 9600t = 211.200 \text{ darab tojás}$$

Aminek tömege:

$$211.200t * 60g = 12.672.000g$$

- r=raklap
- t=tojás
- g=gramm

Funkcionális egységem a már fent említett 1 tonna lett, így minden adatomat át kellett számolnom, hogy az 1 tonnára vonatkozzon. Megkaptam az éves termelést tonnában a tojásporra és a tojáslére vonatkozóan (6. táblázat). Ezután ezekből kiszámoltam a napi termelést, majd az éve és napi tojáslé termelés egyenértékét.

6. Táblázat: Táblázat Kapott adatok (Forrás: saját szerkesztés)

Periódus	Mennyiség	Mértékegység
Éves tojáslé termelés	377.00	tonna
Napi tojáslé termelés	1.43	tonna
Éves tojáspor termelés	500.00	tonna
Napi tojáspor termelés	1.89	tonna

A havi munkanapok száma 22 nap, amiből havi munkaórát számoltam az üzemórák naponta 20 óra.

A tojáslé és a tojáspor termelés aránya 4:1.

Éves tojáslé egyenérték termelés:

$$377t + 500t * 4 = 2377t$$

Napi tojáslé egyenérték termelés:

$$1.43t + (4 * 1.89t) = 9t$$

Éves tojástermék termelés:

$$377t + 500t = 877t$$

Napi tojástermék:

$$1.43t + 1.89t = 3.32t$$

4.3.1. Leltáradatok számolása

A gyárlátogatás során minden folyamathoz kaptam adatokat mindegy egyes folyamathoz ezekből az adatokból lett számolva 1 tonnára vonatkoztatva (7., 8.- és 9. táblázat).

7. Táblázat: Alapadatok (Forrás: saját szerkesztés)

Folyamatok	Vízfelhasználás [m ³]	Áramfelhasználás [kWh]	Gázfelhasználás [m ³]
Beszállítás	0	0	0
Raktározás	0	60	0
Törés	4	400	0
Pasztőrözés	10	500	110
Hűtés	15	6000	0
Porítás	2	1200	550
Csomagolás	0	10	0

8. Táblázat: 1 tonna tojáslé fajlagos energia igénye (Forrás: saját szerkesztés)

Folyamatok	Vízfelhasználás [m ³]	Áramfelhasználás [kWh]	Gázfelhasználás [m ³]
Beszállítás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$	$\left(\frac{0kWh}{9t}\right) = 0$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$
Raktározás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$	$\left(\frac{60kWh}{9t}\right) = 6.6$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$
Törés	$\left(\frac{4m^3}{9t}\right) = 0.44$	$\left(\frac{400kWh}{9t}\right) = 44.7$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$
Pasztőrözés	$\left(\frac{10m^3}{9t}\right) = 11.1$	$\left(\frac{500kWh}{9t}\right) = 55.53$	$\left(\frac{110m^3}{9t}\right) = 12.12$
Hűtés	$\left(\frac{15m^3}{9t}\right) = 1.67$	$\left(\frac{6000kWh}{9t}\right) = 666.39$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$
Csomagolás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$	$10kWh * \frac{1.43t}{3.32t} = 3.01$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) = 0$

9. Táblázat: 1 tonna tojáspor fajlagos energia igénye (Forrás: saját szerkesztés)

Folyamatok	Víz	Áram	Gáz
Beszállítás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$	$\left(\frac{0kWh}{9t}\right) * 4 = 0$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$
Raktározás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$	$\left(\frac{60kWh}{9t}\right) * 4 = 26.7$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$
Törés	$\left(\frac{4m^3}{9t}\right) * 4 = 1.4$	$\left(\frac{400kWh}{9t}\right) * 4 = 177.7$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$
Pasztőrözés	$\left(\frac{10m^3}{9t}\right) * 4 = 4.4$	$\left(\frac{500kWh}{9t}\right) * 4 = 222.1$	$\left(\frac{110m^3}{9t}\right) * 4 = 48.9$
Hűtés	$\left(\frac{15m^3}{9t}\right) * 4 = 6.7$	$\left(\frac{6000kWh}{9t}\right) * 4 = 2665.5$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$
Porítás	$\left(\frac{2m^3}{1.89t}\right) = 1.056$	$\left(\frac{1200kWh}{9t}\right) * 4 = 633.6$	$\left(\frac{550m^3}{9t}\right) * 4 = 290.40$
Csomagolás	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$	$\left(\frac{10kWh}{9t}\right) * 4 = 3.01$	$\left(\frac{0m^3}{9t}\right) * 4 = 0$

4.4. Open LCA bemutatása

Az OpenLCA szoftvert választottam a tojástermékek környezeti hatásvizsgálatához. Az OpenLCA szoftvert 2006-ban hozta létre a német Greendelta szoftverfejlesztő vállalat. Célja egy gyors, megbízható, nagy teljesítményű és moduláris szoftver biztosítása. A szoftver egyaránt használható bonyolult és egyszerű modellekhez, szabványosított programozási nyelvek. A szoftver nyílt forráskódúként széles körben elérhető. Az elképzelés az, hogy az életciklus-értékelés és a kapcsolódó megközelítések. A szabadon hozzáférhető szoftverek számos új alkalmazást hoznak a tudomány számára, tudomány, az oktatás, a képzés és a szakértői értékelés számára. Továbbá a forráskód lehetővé teszi a számítási eljárások részletes összehasonlítását. A folyamatos fejlesztést az OpenLCA fejlesztőcsapata biztosítja. Új partnerek, közreműködők, támogatók és felhasználói közösség. A szoftvert felhasználói kézikönyv, felhasználói fórum és a YouTube-on elérhető oktatóvideók támogatják. (internet 6)

4.4.1. A vizsgálatokhoz használt adatbázisok

Vizsgálataimhoz az OpenLCA-ban elérhető, ingyenesen letölthető EF másodlagos adatbázisát az openLCA nexus honlapjáról töltöttem le. Ez egy termék vagy szolgáltatás környezeti hatásának több szempontú mutatója a termék vagy szolgáltatás teljes életciklusa során, a nyersanyagok kitermelésétől a gyártáson, felhasználáson és végső ártalmatlanításon át. (MANFREDI et al., 2012)

4.4.2. Agribalyse-ból származó adatok.

A folyamatábrám felépítéséhez a szükséges elemeket az agribalyse adatbázisból választottam ki és rendeltem hozzájuk a megfelelő energia igényt, amit már korábban a 8. és a 9. táblázatban ismertettem.

4.4.3 EF hatáskategóriák

Az openLCA által az életciklus-értékelésekhez ajánlott környezeti lábnyom (középpont). A hatásvizsgálati csomagot használták. A 6 kategóriát korábban már ismertettük (3. táblázat). Az alkalmazott kategóriák kiválasztása a következőképpen történt a környezeti hatás szempontjából fontosnak tekinthető.

4.4.4. Egyszerűsítések, elhagyások (cut-off criteria)

Az életciklus-értékelések általában kisléptékű hatásokat tudnak értékelni. Az értékelés során figyelmen kívül hagyják azokat az értékeket, amelyeknek várhatóan nincs hatása a rendszerre. Például az 1 százaléknál kisebb értéket. Ezt azonban óvatosan kell kezelni. Ugyanis bizonyos esetekben a rendszerből származó veszélyes anyagok kibocsátása károsabb lehet az emberi egészségre. Ezzel kapcsolatban azonban óvatosan kell eljárni.

4.4.5. Normalizáció, súlyozás

A normalizálás és a súlyozás az életciklus-elemzés negyedik szakaszának választható elemei. (ISO 14040).

A normalizálás során az eredményeket egy referenciaértékkel (pl. „egy átlagos európai polgár éves környezeti hatása”) hasonlítják össze. A referenciaérték a mi eredményeink osztva a normalizált környezeti hatással. Ezt lakossági egyenértéknek is nevezik. Az eredmény megmutatja, hogy egy polgárra hány euró környezeti hatás jut. A hatáskategóriák normalizálhatók országok, régiók vagy az Európai Unió szerint. A normalizált halmazt általában az adott régióban gyűjtött adatokból számítják ki, így a referenciaértékek nagymértékben eltérhetnek. A legtöbb hatásvizsgálati módszer saját normalizációs faktorokat tartalmaz, amelyek nem kombinálhatók más módszerekkel. (internet 7)

Az egy főre jutó szennyezőanyag-terhelésre vonatkozó adatok az adatok egy adott területre vonatkozó szabványosított és általánosan elfogadott adatok. A normalizációs tényezőt a következőképpen lehet kiszámítani

Lakos egyenérték számítása, ahol:

- NF_c : az adott hatás hatáskategória normalizációs faktora
- CF_i : az egyes elemek karakterizációs faktor
- E_i : az egyes elemek kibocsátása
- P_r : adott régió népessége (HAUSCHILD et WENZEL, 2001)

Ezt a módszert a termék teljes életciklusa során alkalmazzák. A termék nyersanyagainak előkészítésétől, előállításától és felhasználásától a termék hulladékként történő ártalmatlanításáig. A folyamat vagy szolgáltatás potenciális vagy tényleges környezeti hatásának értékelése. Az anyag- és energiafelhasználás és maga a tevékenység környezeti hatása (15. ábra). A súlyozás gyakran szubjektív, és attól függ, hogy mely hatásokat tartják fontosabbnak. Széles körben használják. (ELDH et al., 2006, SEPPÄLÄ, 2006)

$$NF_c = \left(\frac{\sum_i (CF_i \cdot E_i)}{P_r} \right)^{-1}$$

15. ábra: Lakosegyenérték normalizációs faktorra (Forrás: Bogoné-Tóth, 2020)

4.5. Vizsgálati módszerek

Az általam felépített termékrendszer (13. és 14. ábra) környezeti hatásainak vizsgálatára a már korábban ismertetett Environmental Footprint (Mid-point) módszert alkalmaztam.

5. Eredmények

A tojáslé és a tojáspor gyártását vizsgáltam 1 tonna kész rántottára nézve. Mindkét vizsgálatot az OpenLCA 2.0.3. szoftverben végeztem el használva az Agribalyse és az Econinvent adatbázist. Kiértékelést az Environmental Footprint 3.0. (adapted) hatásértékelési módszerrel végeztem el.

5.1. Kiértékelés

A tojásfeldolgozás fő környezeti hatásai elsősorban a tojástermeléssel kapcsolatos mezőgazdasági tevékenységekhez kapcsolódnak. Ez a szakasz felelős a legtöbb energia-, víz-, földhasználati és üvegházhatású gázkibocsátásért. A dolgozatomban a szabadtartású tojás termelést választottam, mert. A szabadtartású tojás választása mögött az állatjólét, és a fogyasztói igények állnak. A tyúkok szabadon mozoghatnak, természetes környezetben élhetnek, ami javítja az életminőségüket. A fenntarthatósági szempontok miatt a szabadtartás azonban felvett néhány kérdést. Például a nagyobb földhasználatot és nagyobb energia befektetést igényel minden területen, de a fogyasztók egyre inkább előnyben részesítik az etikusabb és környezetbarát termelési módokat. A szabadtartásból származó tojások továbbá általában táplálóbbak, és a fogyasztók hajlandóak többet fizetni az ezen értékeknek megfelelő termékekért.

A folyamatábrát az EF 3.0 adatbázisából számoltam ki. Az EF 3.0 a környezeti hatásvizsgálatokra (Environmental Footprint) vonatkozó szabványok egyik verziója lehet, amely a termékek vagy szervezetek környezeti lábnyomát vizsgálja. Ebben a kontextusban a "hatáskategóriák" a környezeti hatás különböző aspektusaira vonatkoznak, mint például az üvegházhatású gázok kibocsátása, vízfogyasztás, talaj- és vízszennyezés stb. A környezeti lábnyom számításában az alábbi 16 fő hatáskategória azonosítható, amelyeket különféle rendszerek, például az EF 3.0, vizsgálnak. A kategóriák közül nem mindegyiket kell mindig figyelembe venni, de mindegyik jelentős környezeti szempontot képvisel.

A tojásrántotta jó példa az LCA elemzéshez, mert hétköznapi alapanyagokat használ, egyszerű elkészítési folyamatot követ, és jól mérhető hozzá kapcsolódó környezeti tényezők, mint a víz- és energiafelhasználás, szén-dioxid-kibocsátás és földhasználat. Emellett könnyen érthető, így oktatási célra ideális, mivel az LCA lépései jól bemutathatók általa.

A következő táblázatban (10. táblázat) a 16 hatáskategória eredményét mutatom be a rántotta 1 tonna rántotta készítésén, amit tojásporból és tojásléből készítettem el. Az 1 tonna rántotta mennyiségi alapú választása biztosítja, hogy a vizsgálat eredményei statisztikailag megbízhatóak és összehasonlíthatók legyenek más élelmiszerek környezeti hatásával. A rántotta, mint termék egyszerű, mégis gyakran fogyasztott élelmiszer, amely alkalmas arra, hogy reprezentálja az élelmiszer-előállításban rejlő környezeti kihívásokat.

10. Táblázat: A vizsgált folyamatok környezetterhelés eredményei az összes hatáskategóriában (nyers adatok). (Forrás: saját szerkesztés)

EF 3.0 Hatáskategóriák	Tojásléből rántotta	Tojásporból rántotta
AP, mol H ⁺ eq	8.68E+01	8.66E+01
GWP, kg CO ₂ eq	3.45E+03	3.33E+03
Ecotoxicity, CTUe	1.08E+05	1.08E+05
EP (freshwater) kg P eq	1.29E+00	1.37E+00
EP (marine), kg N eq	2.10E+01	2.09E+01
EP (terrestrial), mol N eq	3.69E+02	3.67E+02
HH, cancer, CTUh	2.91E-06	2.83E-06
HH, non-cancer, CTUh	1.38E-04	1.37E-04
IR, kBq U-235 eq	5.71E+02	6.19E+02
LU, pt	2.79E+05	2.67E+05
ODP, kg CFC11 eq	3.49E-04	3.39E-04
RI, disease inc	6.15E-04	6.03E-04
POCP, kg NMVOC eq	1.13E+01	1.08E+01
ADP (fossil), MJ	3.49E+04	3.58E+04
ADP (mineral), kg Sb eq	6.07E-03	5.61E-03
WU, m ³ depriv	4.00E+03	4.00E+03

1. Globális felmelegedési potenciál (GWP)

Ez a mutató az üvegházhatású gázok (ÜHG-k) kibocsátása miatti globális átlaghőmérséklet-emelkedésre utal. A legnagyobb mértékben általában a fosszilis tüzelőanyagok, például a szén, a kőolaj és a földgáz elégetése járul hozzá. Az üvegházhatású gázok teljes kibocsátásának globális felmelegedési potenciálját szén-dioxid-egyenértékben (kg-CO₂-egyenérték) mérik. Más szóval, minden egyes üvegházhatású gázt 1 kg szén-dioxid globális felmelegedési potenciálja alapján értékelnek. (LCA, 2024)

- Tojásléből: 3.45E+03 kg CO₂ eq
- Tojásporból: 3.33E+03 kg CO₂ eq

Különbség: A tojáspor előállítása nagyobb szén-dioxid kibocsátással jár, ami nagyobb hozzájárulást jelent a globális felmelegedéshez. Ez az érték jelentős, mivel a klímaváltozás egyik fő oka az üvegházhatású gázok kibocsátása.

2. Erőforrás-felhasználás, ásványok és fémek (ADP -mineral)

A Földnek véges mennyiségű nem megújuló erőforrása van, mint például aszén, az olaj, a gáz és más fosszilis tüzelőanyagok. A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásához hozzájáruló anyagmennyiséget megajoule-ban (MJ) fejezik ki. (LCA, 2024)

- Tojásléből: 6.07E-03 kg Sb eq
- Tojásporból: 5.61E-03 kg Sb eq

Különbség: A tojáslé esetében alacsonyabb az ásványi anyagok energiafelhasználása, ami azt jelenti, hogy kevesebb ásványi anyag szükséges az előállításához, így kisebb az ásványi erőforrások kimerülési potenciálja. A tojáslé előállítása egyszerűbb és rövidebb folyamat, ami kevesebb energiát igényel, mivel nem szükséges a víztartalom teljes eltávolítása. Ezáltal a tojáslé esetében kevesebb ásványi tüzelőanyag használdik el a termelési folyamatban, így kisebb az ásványi erőforrások kimerülési potenciálja.

3. Ionizáló sugárzás (IR)

Az emberi egészséget befolyásolhatja az ionizáló sugárzás (radioaktivitás). A környezeti lábnyom csak a normál működés során keletkező kibocsátásokat veszi figyelembe (a nukleáris baleseteket nem veszi figyelembe). Az ionizáló sugárzás különböző típusainak az emberi

egészségre gyakorolt potenciális hatását kg U 235 kilobquerel (kg U 235 eq) egyenértékben fejezik ki.

- Tojásléből: 5.71E+02 kBq U-235 eq
- Tojásporból: 6.19E+02 kBq U-235 eq

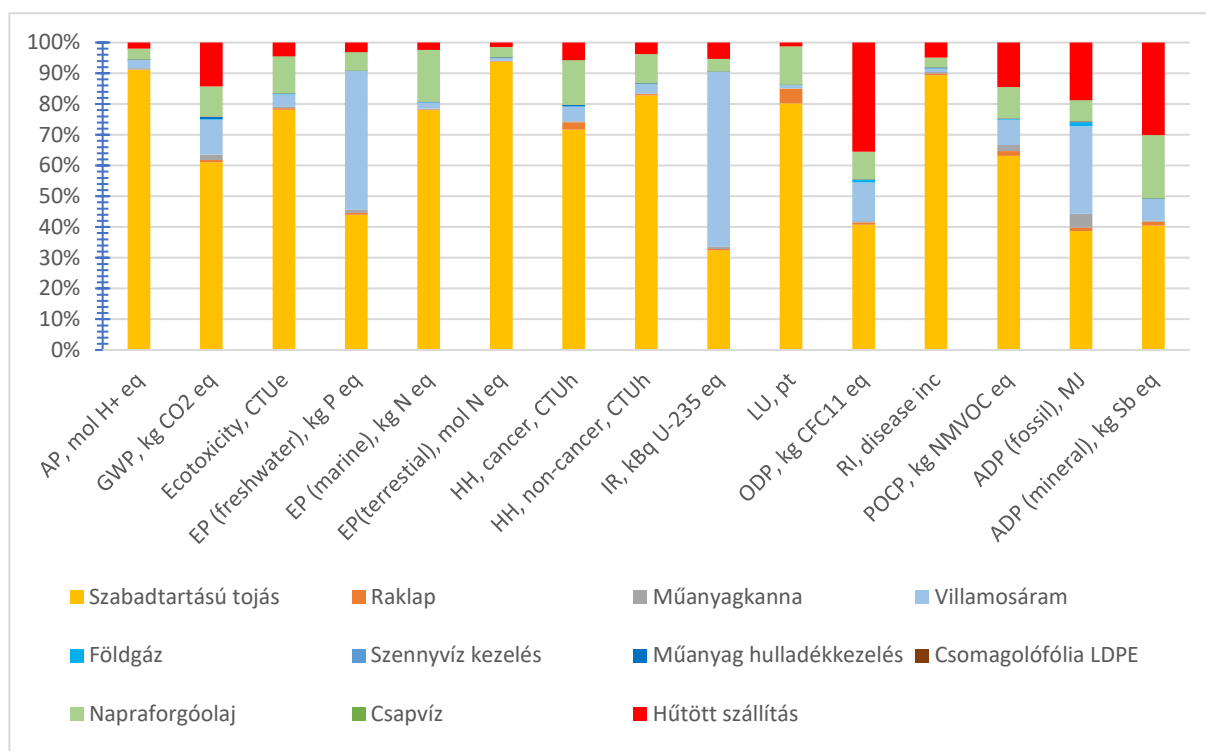
Különbség: A tojáspor előállítása több ionizáló sugárzással jár, ami azt jelenti, hogy nagyobb sugárterhelés éri az embereket és a környezetet az energia előállítása során.

Következtetések:

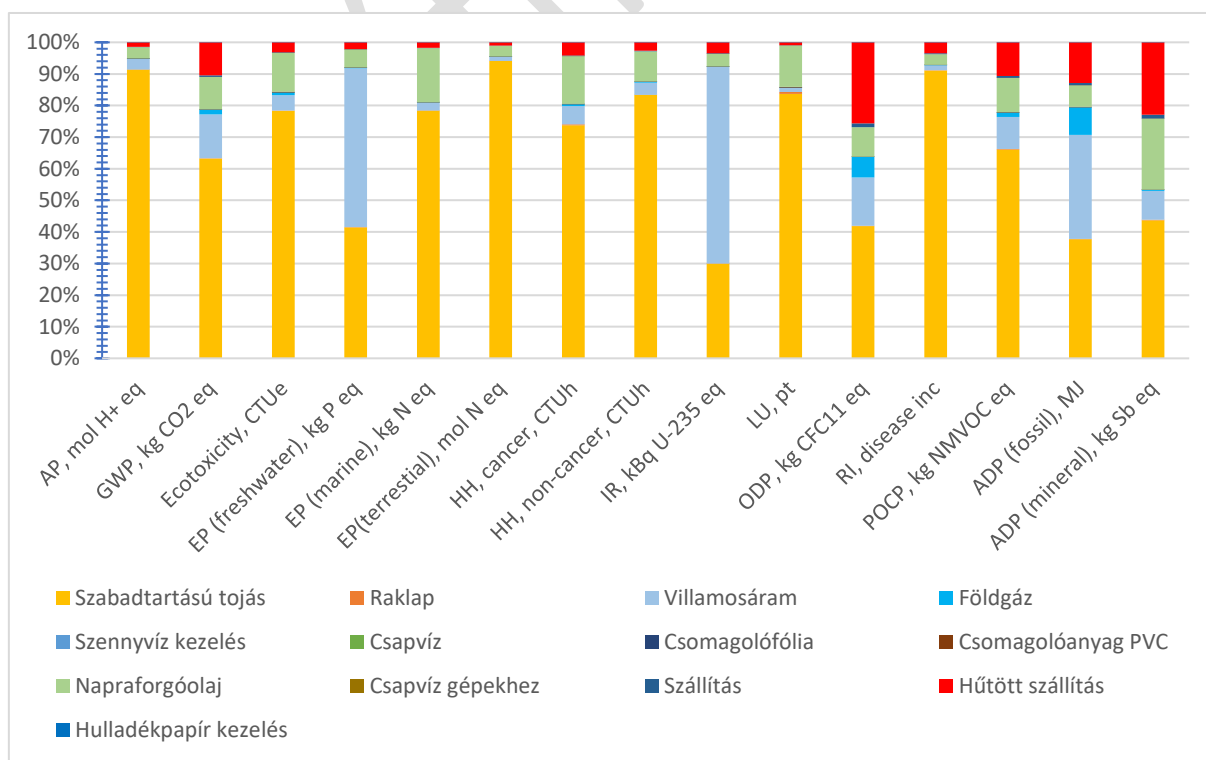
Az eredmények azt mutatják, hogy a tojáspor előállítása a nagyobb globális felmelegedési potenciál, a nagyobb ásványi erőforrás-felhasználás és a fokozott sugárterhelés miatt környezetrombolóbb. Ezért környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontból a tojáslé jobb választásnak tekinthető, mivel előállítása kevésbé terheli a környezetet

Az előző táblázat eredményei alapján kiválasztásra kerültek azok a hatáskategóriák, amelyek relevánsak lehetnek e tanulmány szempontjából. Az egyértelműség érdekében az eredményeket 100%-nak vettem és következő ábrákon mutatom be.

A két diagram a különböző környezeti hatáskategóriák szerinti összetételt mutatja a rántottakészítési folyamatokhoz kapcsolódóan, különböző források szerinti hozzájárulással (16. és 17. ábra).



16. ábra: Rántotta készítése tojáslejből (Forrás: saját kép)



17. ábra: Rántotta készítése tojásporból (Forrás: saját kép)

Fő különbségek:

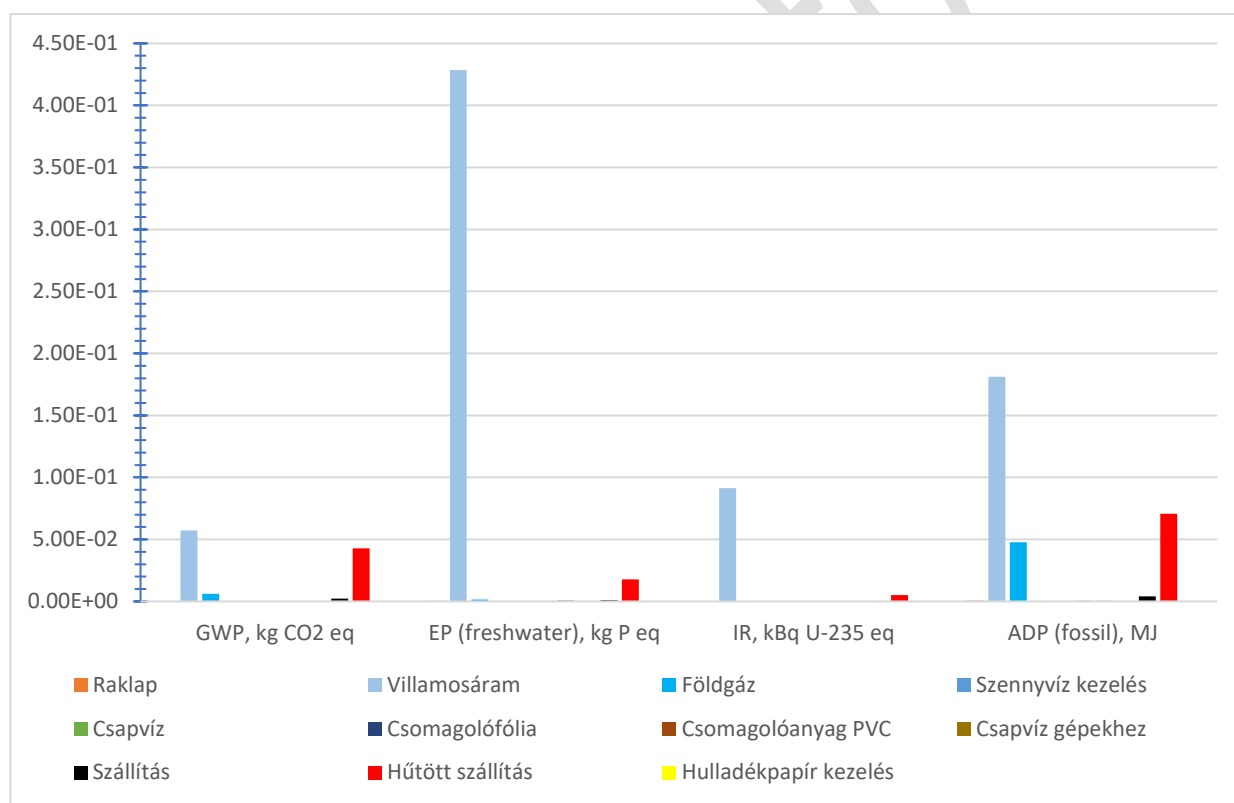
1. *Szabad tartású tojás (sárga)*: Mindkét grafikonon a legtöbb hatáskategóriában, beleértve a globális felmelegedési potenciált (GWP), a savasodási potenciált (AP) és az eutrofizációt, ez a legnagyobb hozzájáruló tényező. Ez azt jelzi, hogy a szabadtartású tojástermelés jelenti a legnagyobb környezeti hatást ezekben a kategóriákban.
2. *Villamosáram (világoskék)*: Egyes kategóriák, mint például az ionizáló sugárzás (IR) és az eutrofizáció (freshwater) jelentősen hozzájárulnak. Ez azt mutatja, hogy az energiafelhasználás a környezeti hatások fontos tényezője.
3. *Csomagolóanyagok (LDPE és PVC, barna)*: A csomagolóanyagok több kategóriában is kismértékű, de jelentős hatást gyakorolnak, különösen a fosszilis erőforrások kimerülési potenciáljára (ADP-fosszilis).
4. *Szállítás (hűtve szállítás, piros)*: A szállítási folyamatok hozzájárulnak a hatásokhoz, de kisebb mértékben, mint a tojás előállítása és a villamosenergia-felhasználás.

Összegzés:

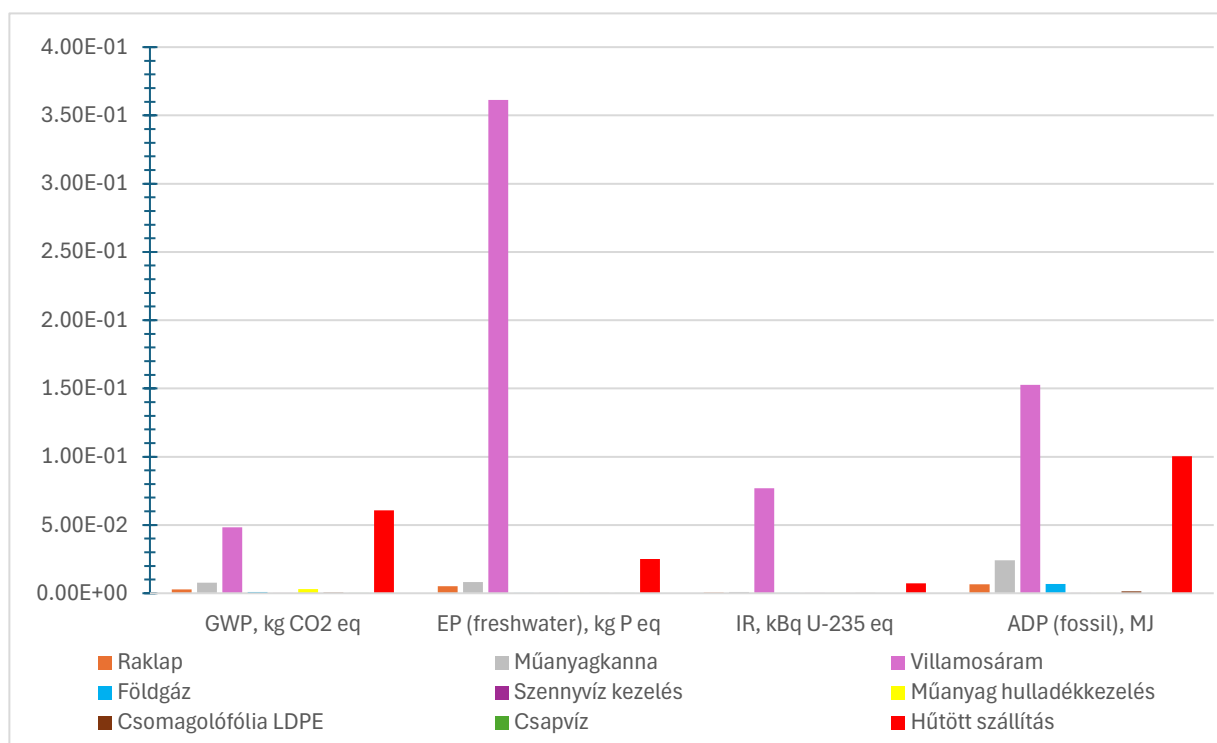
A fő különbség az, hogy a szabad tartású tojás előállítása dominálja a legtöbb környezeti hatást, míg az energiafelhasználás (villamosáram) és a csomagolóanyagok szintén fontos tényezők, különösen bizonyos kategóriákban, mint például a sugárzás és az erőforrások kimerülése.

Normalizált értékek

A további elemzéshez elkészítettem jelentősebbnek ítélt hatáskategória eredmények normalizálását. A normalizációs tényezők egy adott referenciaregiónak teljes hatását jelentik egy bizonyos hatáskategóriára (pl. éghajlatváltozás, eutrofizáció stb.) egy referenciaévben. Az EF, az ellátási láncok nemzetközi jellege miatt a globális normalizációs tényezők alkalmazása ajánlott. A normalizálásnak fontos szerepe van a környezeti lábnyomban, hogy támogassa a legfontosabb hatáskategóriák, életciklus-szakaszok, folyamatok és erőforrás-felhasználás meghatározását. A normalizálás ezeket az értékeket egy közös referenciaalapra hozza. A normalizált értékeket globális szintre néztem, ami egy ember egy éves környezeti hatása, amit ha elosztok (15.ábra) a referencia értékkel az megfelel kettő és fél ember környezeti lábnyomának felel meg a hatáskategóriákban, mint a nyers értékek tekintetében. (EP, 2017)



19. ábra: Tojáspor normalizációs értékei (Forrás: saját kép)



20. ábra: Tojáslé normalizációs értékei (Forrás: saját kép)

A fent látható két diagrammon (19. és 20. ábra) a tojásporból és a tojásléből készült rántotta normalizált értékét. A szabadtartású tojást és a napraforgóolajat kivettem az az adatokból mert, annak a folyamatnak a környezetre gyakorolt hatása igen magas és itt most a gyártási folyamat közbeni hatáskategóriákat vizsgáltam, ahol magas értékek jelentek meg mindkét folyamat során.

Következtetés:

A normalizált értékeket látva, hogy a hasonló arányok alakulnak ki az egyes hatáskategóriákban, mint a nyers értékek tekintetében.

- *EP (freshwater)*: Kategóriában, hasonlóan alakultak, mint a nyers kategóriákban. Ez az arány azért különösen magas, mert az energiatermelés jelentős mennyiségű vízszennyezést, főként foszfor- és nitrogénvegyületeket juttathat a környezetbe. A tojáslé csomagolása és raklapozása szintén problémás.
- *GWP*: A villamosenergia jelentősen hozzájárul a GWP (globális felmelegedési potenciál) növekedéséhez. Ennek oka, hogy sok helyen fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával állítják elő, és nagymennyiségű CO₂-t és más üvegházhatásúgázokat bocsátanak ki. A hűtőszállítás jelentős hatással van a GWP-re (globális felmelegedési potenciál) a hűtőberendezések működtetéséhez szükséges állandóan magas energiaigény miatt. Az

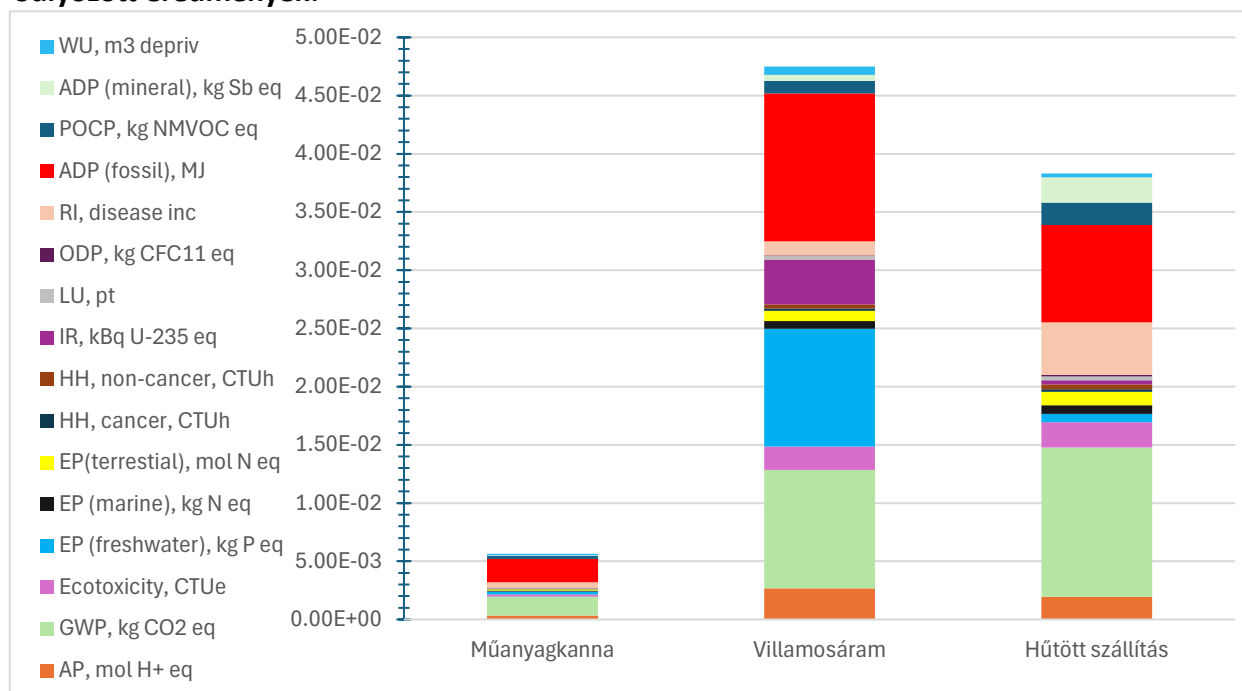
energiaforrások általában fosszilis tüzelőanyagok, mint például a dízelüzemanyag, amelyek több CO₂-t bocsátanak ki. A műanyagdobozok gyártásuk módja miatt ilyen nagy mennyiségben készülnek.

- *IR (Ionizáló Sugárzás):* nukleáris energia termeléséhez kapcsolódik. Azokban az esetekben, amikor a villamosenergia-termelés nukleáris energiaforrásokon alapul, az IR-értékek jelentősen megnövekedhetnek. Ezért a villamosenergia IR-értéke magasabb lehet az atomerőművek villamosenergia-termelésben való részvétele miatt.
- *ADP (fossil):* A tojáspor földgázt használ, amelynek kitermelése, feldolgozása és szállítása jelentős mennyiségű energiát igényel. A hűtött szállítás rendkívül energiaigényes. Ez nem csak azért van így, mert a járművek mozgatásához szükséges energia fosszilis erőforrásokat fogyaszt, hanem azért is, mert a rakomány hűtéséhez szükséges hűtőrendszerek is bizonyos mennyiségű energiát igényelnek. A fosszilis erőforrásokból történő villamosenergia-termelés közvetlenül növeli az ADP-t (fosszilis). A tojás esetében a drága csomagolóanyagokat, például a műanyag kannákat gyakran nem hasznosítják újra hatékonyan, és a hulladéklerakás révén növelik a globális felmelegedéssel és az erőforrások kimerülésével kapcsolatos környezeti hatásokat.

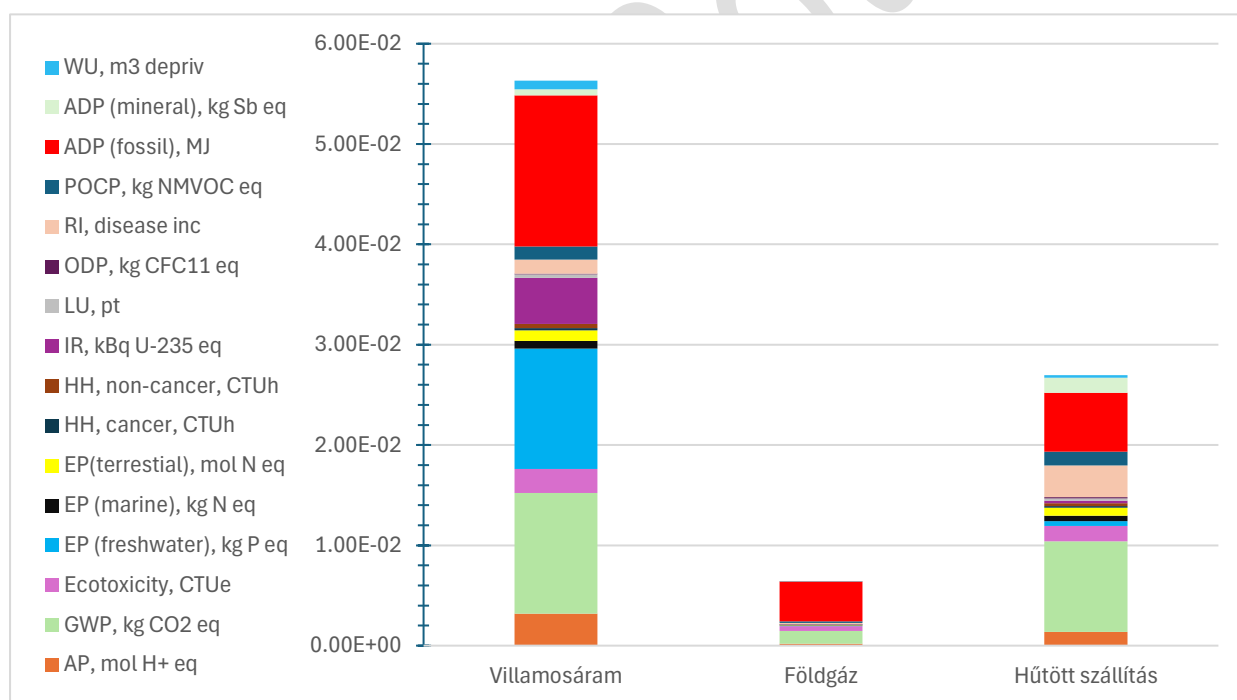
Összegzés:

A tojásfolyadék és a tojáspor előállítása mindkét termék esetében jelentős környezeti hatással jár. A villamosenergia-termelés foszfor- és nitrogénzennyezéshez vezet, a fosszilis tüzelőanyagok használata pedig jelentősen hozzájárul a globális felmelegedési potenciálhoz (GWP). A hűtött szállítás és a műanyag dobozok gyártása tovább növeli a GWP-t. Az atomenergia használata növeli az ionizáló sugárzás (IR) szintjét, a fosszilis erőforrások felhasználása (ADP) pedig különösen magas a tojásliszt esetében a földgáz és az energiaigényes szállítás miatt.

Súlyozott eredmények:



21. ábra: Tojáslé súlyozott értékei (Forrás: saját kép)



22. ábra: Tojáspor súlyozott értékei (Forrás: saját kép)

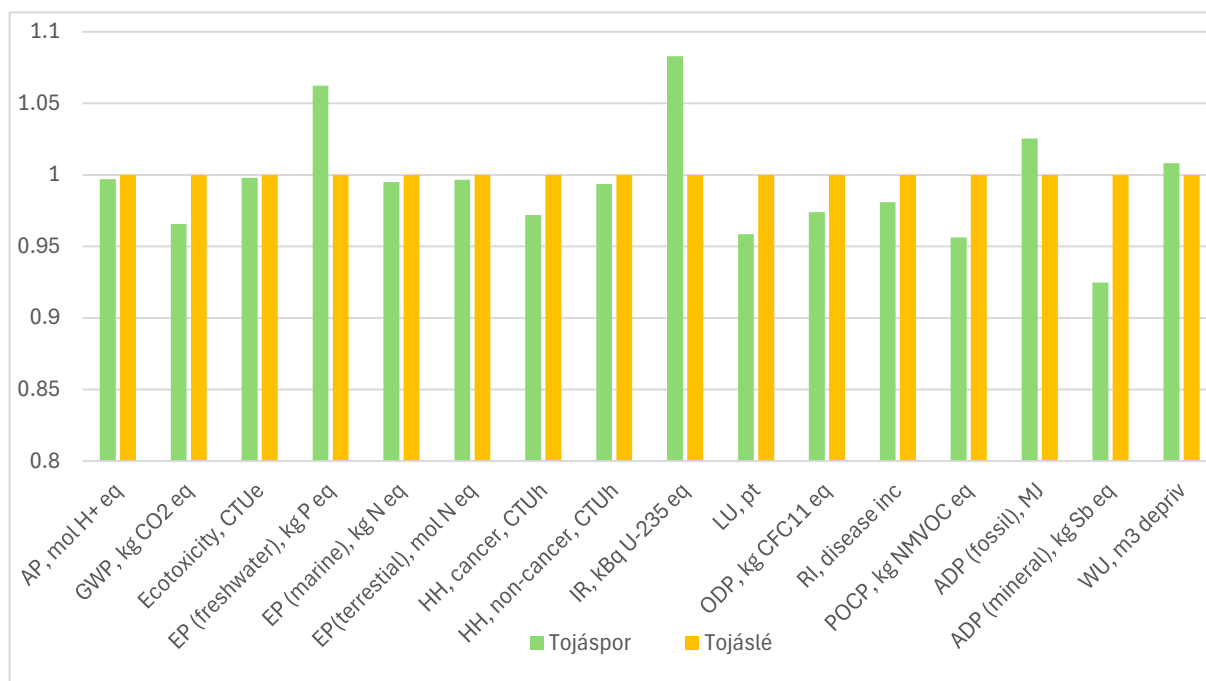
A súlyozás az OpenLCA szoftverben fontos lépés az életciklus-értékelésben (LCA), és segít összehasonlítani és értékelni a különböző kategóriákban értékelt környezeti hatások fontosságát és prioritását. A grafikonok alapján meg lehet állapítani, hogy a különböző kategóriák közül melyek azok, amelyek jelentősen hozzájárulnak a környezeti hatásokhoz, és melyek, amelyek alacsonyabb értéket produkáltak (21. és 22. ábra).

Az elemzés során megállapítottam, hogy az alábbi hatáskategóriákban a kapott eredmények alacsony értékeket mutatnak:

1. *ODP (kg CFC11 eq)* - Ózonréteg károsodás (ODP) tekintetében a szintek a legtöbb esetben elhanyagolhatóak, ami azt jelzi, hogy a vizsgáltanyagok és folyamatok esetében nincs jelentős hatás ezen a területen. (LCA, 2024)
2. *POCP (kg NMVOC eq)* - Fotokémiai ózonképződés (POCP) a földgáz és a villamos energia esetében különösen alacsonyak az értékek. (LCA, 2024)
3. *LU (Land use)* - Földhasználat (LU) szintén nagyon kis mértékben van jelen, ami arra utal, hogy a vizsgált anyagok és folyamatok kevés földterületet igényelnek. (LCA, 2024)
4. *HH cancer, HH non-cancer, RI, WU, Ecotoxicity, EP (terrestrial), ADP (mineral), IR*

Számottevőbb hatáskategóriákat külön elemeztem, mivel ezek jelentősen járulnak hozzá a környezeti terheléshez:

1. *GWP (kg CO₂ eq)* - Az üvegházhatású gázok kibocsátása (GWP) minden esetben jelentős, különösen a villamos energia és a hűtve szállítás esetében. Ez arra utal, hogy ezen folyamatoknak jelentős hatása van a globális felmelegedésre, ezért különösen fontos ezeket csökkenteni. (LCA, 2024)
2. *ADP (fossil, MJ)* - Az erőforrások kimerülése különösen magas a fosszilis tüzelőanyagok (ADP fosszilis), a földgáz és a hűtőszállítás felhasználása során, ami azt jelzi, hogy ezek a folyamatok nagymértékben függenek a fosszilis energiaforrásoktól. (LCA, 2024)
3. *AP (mol H⁺ eq)* A *Savasodási potenciál (acidification potential)* kategóriája viszonylag magas értéket mutat, ami azt jelenti, hogy ez a környezeti tényező különösen kritikus, ellentétben más, kisebb környezeti hatású tényezőkkel. (LCA, 2024)
4. *EP (freshwater, CTUe)* és *EP (marine, kg N eq)* - Eutrofizáció, különösen az édesvízi és tengeri rendszerek esetében, szintén jelentős. Ez különösen fontos, mivel ez a hatás káros lehet az ökoszisztémákra. (LCA, 2024)



23. ábra: Tojáspor és tojáslé hatásai a kategóriákban

A fent látható grafikonon (23. ábra) összesítettem a kapott nyers eredményeket és ezeket elemeztem ki környezeti, gazdasági és energetikai szempontból.

Értékelés környezeti szempontok szerint

1. *Globális felmelegedési potenciál (GWP):* A tojáslé GWP-értéke alacsonyabb, mint a tojáspornál, mivel a tojáspor előállítása több energiát igényel, és ezért nagyobb a károsanyagkibocsátása.
2. *Ionizáló sugárzás (IR):* Ez az érték a tojáspor esetében magasabb, ami arra utal, hogy a gyártási folyamat során több energiát használnak fel, és hogy a nukleáris energia része lehet az energiamixnek.
3. *Fosszilis erőforrás-felhasználás (ADP fossil):* A tojáspor előállítása sok fosszilis energiát igényel, ezért az erőforrások kimerülése szempontjából nagy környezeti hatással jár.
4. *Savasodási potenciál (AP):* A két termék értékei szinte azonosak, ami azt jelzi, hogy a hatáskategória környezeti kockázata alacsony.

Gazdasági szempontok

A tojáspor előállítása hosszú távon gazdaságosabb, mivel a hűtéshez és tároláshoz kevesebb energiára van szükség. Ugyanakkor a megnövekedett energiafelhasználás és a környezeti nyomás további költségeket jelent, különösen, ha a jogszabályok szigorodnak, és a vállalatoknak klímavédelmi díjakat kell fizetniük.

Energiafelhasználás

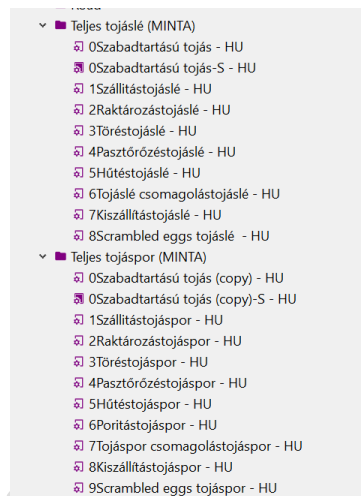
A tojáspor előállítása sokkal több energiát igényel, mint a folyékony tojáslé, különösen a szárítás és a feldolgozás során. Ez növeli a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását, ezáltal a termelési költségeket és a környezeti terhelést.

Amint az ábrán látható (23. ábra), a tojáspor előállítása a tojásléhez képest magasabb globális felmelegedési potenciállal (GWP), fosszilis erőforrás-felhasználással (ADP fossil) és ionizáló sugárzással (IR) jár, ami nagyobb környezeti hatást eredményez. Bár a tojáslé gazdaságilag előnyösebb, mivel nem igényel hűtést, hosszú távon a magas energiaigénye miatt fenntarthatóbb választás.

5.2. Az életciklus-értékelés bemutatása egy scenario példáján

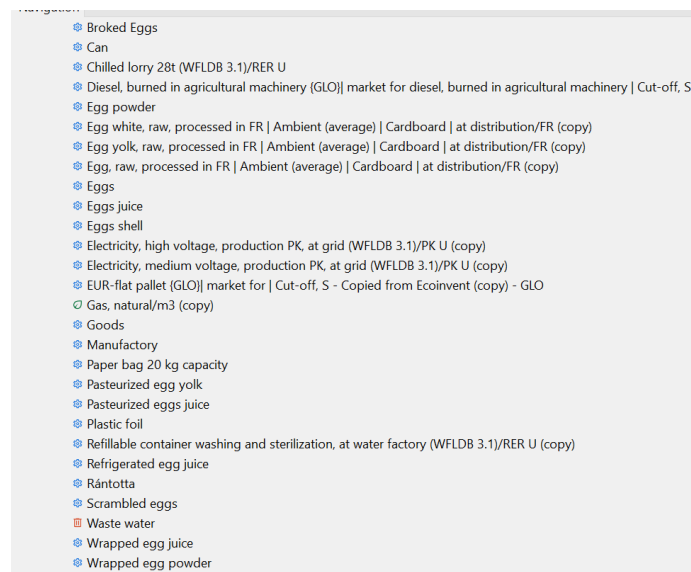
Az elemzést, illetve a szoftver működését a tojáslé folyamatán mutatom be. A számításokhoz a szoftverben létrehoztam a szükséges termékáramokat (Product flows), majd ezeket felhasználva megalkottam a jellemző folyamatokat (Processes).

Az első ábra (24. ábra) tojáspor és a tojáslé gyártási folyamatait tartalmazza. A folyamatok alapján különböző munkafolyamatok jelennek meg, mint például a szabadtartású tojások előállítása, szállítása, raktározása, törésük, pasztörizálásuk, hűtésük, csomagolásuk és kiszállításuk. Emellett a tojásrántotta formájában történő végső feldolgozása is megjelenik.



24. ábra: A készített folyamatok
(Forrás: saját kép)

Az olyan feldolgozási folyamatok, mint a szállítás, raktározás, törés, pasztörizálás, hűtés csomagolás mindkét esetben azonosak. Fő különbség a tojáspor gyártásánál van a porítás, ahol elvonják a nedvességtartalmát a terméknek. Az utolsó folyamat a rántotta készítése mindkét folyamatban megtalálható.



25. ábra: Készített "flow"-k a programban (Forrás: saját kép)

A képen látható lista (25. ábra) különböző tojásfeldolgozási és a hozzá kapcsolódó folyamatokat tartalmaz, beleértve nyersanyagokat és energiát. Ezek a feldolgozás különböző szakaszait fedik le, mint például a tojások feldolgozása, szállítása és csomagolása. Emellett szerepelnek itt ipari energiaforrások, mint például az elektromos áram, valamint további szükséges eszközök, például a papírzacskók, teherautók és műanyag fólia.

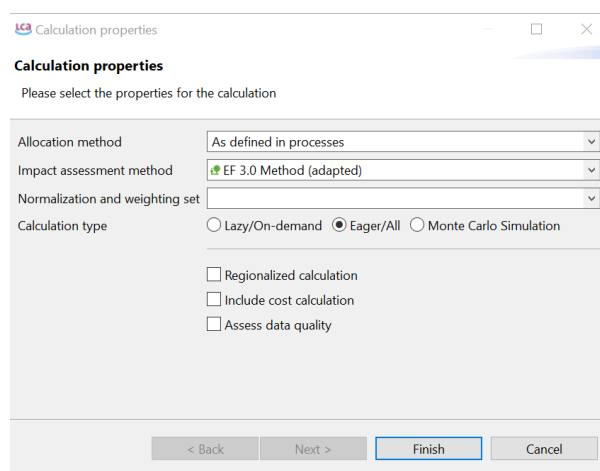
A tojás különböző formákban történő feldolgozását mutatja be, például rántottához, pasztőrözött tojásléhez és tojásporhoz.

Welcome 0Szabadtartású tojás - HU									
Inputs/Outputs: 0Szabadtartású tojás - HU									
Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Re...	Uncertai...	Avoided ...	Provider	Data qua...	Location
Electricity, low volt...	Others/Ecoinvent cu...	1.00000	MJ		none		marke...		
Heat, central or s...	Others/Ecoinvent cu...	1.95389	MJ		lognorm...		heat p...		Conventi...
Laying hen, outdo...	Avian feed/Transfor...	2.29788	kg		lognorm...		Laying...		Conventi...
Natural skylight ve...	Transformation/Infr...	650.000	m2*a		lognorm...		Natur...		Conventi...
Outdoor run/FR U	Transformation/Infr...	5.10000	ha*a		lognorm...		Outdo...		Conventi...
Tap water (Europe ...	Others/Ecoinvent cu...	5395.00	kg		lognorm...		marke...		Conventi...
Tap water (Europe ...	Others/Ecoinvent cu...	3.79814	kg		lognorm...		marke...		Conventi...
Wheat straw, anim...	Cereals/Transformat...	130.000	kg		lognorm...		Wheat...		Conventi...
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Re...	Uncertai...	Avoided ...	Provider	Data qua...	Location
Egg, convention...	Avian/Transforma...	8.39357	kg		none				
Ammonia	Emission to air/low ...	260.479	kg		lognorm...				Conventi...
Ammonia	Emission to air/low ...	213.714	kg		lognorm...				Conventi...
Ammonia	Emission to air/low ...	1067.96	kg		lognorm...				Conventi...
Dinitrogen monox...	Emission to air/low ...	68.71107	kg		lognorm...				Conventi...
Dinitrogen monox...	Emission to air/low ...	32.10388	kg		lognorm...				Conventi...
Dinitrogen monox...	Emission to air/low ...	21.81250	kg		lognorm...				Conventi...
Methane, biogenic	Emission to air/low ...	153.783	kg		lognorm...				Conventi...
Methane, biogenic	Emission to air/low ...	25.63064	kg		lognorm...				Conventi...
General information Inputs/Outputs Administrative information Modeling and validation Parameters Allocation Social aspects Impact analysis									

26. ábra: Egy folyamat felépítése (Forrás: saját kép)

Az elemzés során igyekeztünk olyan értékeket használni, amelyek közel állnak a magyarországi körülményekhez (26. ábra), és a megfelelő termékáramokat választottuk, figyelembe véve a megelőző előállítási folyamatokat (provider: például hűtött tojáslé). A szoftver megfelelő adatkészlettel rendelkezik különböző ipari folyamatokra, beleértve a vegyi anyagokat, energiát és szállítást. Ahol elérhető volt, európai adatokat használtunk, globális adatokra csak szükség esetén hagytuk.

Ezek után a hatáselemzési módszert kell kiválasztani, amely jelen esetben a környezeti lábnyom középponti indikátor módszert (27. ábra), Environmental Footprint (Mid-point).



27. ábra: Vizsgálati módszer kiválasztása (Forrás: saját kép)

6. Következtetések és javaslatok

A tojáspor és a tojáslé használata számos előnnyel jár. Az egyik legnagyobb előny a hosszabb eltarthatóság: a vízmentes formában készült tojáspor hónapokig vagy évekig tarthat fagyasztás nélkül, de a tojáslé sokkal hosszabb ideig tárolható, mint a friss tojás, különösen pasztőrözött formában és megfelelően lehűtve. Egy másik fontos előny a biztonság és a higiénia, mivel a tojáspor és a pasztőrözött tojáslé előállítása megöli a baktériumokat, például a szalmonellát, ami veszélyt jelenthet az új tojásokra ez különösen hasznos a vendéglátói ipari létesítményekben. Ez kevesebb hulladékot és törött tojást jelent a csomagolásban, ami költséghatékonyabbá és fenntarthatóbbá teszi használatukat.

A szabad tartásból származó tojások támogatása és népszerűsítése nemcsak az állatjólétet támogatja, hanem egy fenntarthatóbb fogyasztói kultúrát is létrehozhat. A szabad tartásból származó tojások jobb életminőséget biztosíthatnak a tyúkok számára, hozzájárulhatnak a nagyobb társadalmi fenntarthatósághoz és ösztönözhetik a tudatos fogyasztói választást.

Hasonló eredmények kiszámításához hasznos lehet alkalmazni az OpenLCA szoftvert. Ez egy ingyenesen elérhető program bárki számára rengeteg adatbázissal és információval. Az életciklus-elemzés (LCA) és a folyamatos nyomon követés optimalizálhatja a tojásfeldolgozás különböző szakaszait. Az LCA segíthet azonosítani azokat a kulcsfontosságú pontokat, ahol további környezetbarát fejlesztésekre van szükség, és ahol a kibocsátás és az erőforrás-felhasználás csökkenthető. A folyamatos adatelemzés és nyomon követés lehetőséget nyújt a termelési folyamatok hosszú távú fenntarthatóságának javítására.

7. Összefoglalás

A tojásfeldolgozás környezeti hatásainak összehasonlítása azt mutatja, hogy a tojásalapú termékek környezetvédelmi szempontból történő kiválasztása összetett kérdés, és számos tényezőt kell figyelembe venni. A tojáslének alacsony a globális felmelegedési potenciálja, és előnyös a karbonlábnyom minimalizálása szempontjából, míg a tojáspor használata előnyösebb lehet az erőforrások kimerülése és az ionizáló sugárzás szempontjából.

Fenntarthatósági szempontok:

- *Globális felmelegedés csökkentése:* Ha a klímaváltozás elleni harc és a karbonlábnyom minimalizálása kulcsfontosságú szempont, akkor az alacsony CO₂-kibocsátású tojásléből készült termékek kívánatosak.
- *Erőforrás-megőrzés és fenntarthatóság:* Ha a cél az, hogy mentse a fosszilis energia, valamint csökkenti az erőforrás-felhasználás, a választás tojáspor még inkább indokolt az alacsony érték a fosszilis energiafelhasználás, illetve ionizáló sugárzás.

Fontos, hogy a tojásalapú élelmiszerek fogyasztásakor figyelembe vegyünk a környezetvédelmi és fenntarthatósági célkitűzéseket. A környezetbarátabb tojástermelési és -feldolgozási módszerek előmozdítása érdekében fontos olyan fenntarthatósági politikákat és gyakorlatokat kidolgozni, amelyek hozzájárulnak a környezeti terhelések csökkentéséhez, és az állatok jólétét és táplálkozását helyezik előtérbe.

8. Köszönetnyilvánítás

A dolgozat megírása során rengeteg segítséget, támogatást és bátorítást kaptam. Szeretném megragadni az alkalmat, hogy őszinte köszönetemet fejezzem ki mindazoknak, akik hozzájárultak a munka sikeréhez.

Mindenekelőtt szeretnék köszönetet mondani Bogóné Dr. Tóth Zsuzsánnának, aki önzetlen és szakmai támogatásával, türelmes útmutatásával és értékes tanácsaival nagyban segített a dolgozatom elkészítésében. Találkozásaink és beszélgetéseink során végig arra bátorított, hogy a legjobbat hozzam ki magamból, és mindig ott volt, ha kérdésem volt. Szakmaisága és segítőkészsége döntő fontosságú volt a kutatásom és elemzésem megfelelő elvégzéséhez.

Dr. Kovács Barbara Viktória tanárnőnek, aki felbecsülhetetlen értékű információkkal látott el a kutatásom során, és közvetve hozzájárult e cikk megírásának előrehaladásához. Az előadásain szerzett elméleti és gyakorlati ismeretek sokat segítettek önálló kutatásomban és a dolgozat megírásában.

Köszönöm továbbá Dr. Németh Csabának a támogatását, valamint a Capriovus Kft-nek a kutatásomhoz szükséges adatok és információk beszerzésének lehetőségét.

Szeretnék köszönetet mondani azoknak is, akik részt vettek a kutatásomban, és válaszaikkal, tapasztalataikkal hozzájárultak ahhoz, hogy ez a dolgozat megalapozott és releváns eredményeket tudjon bemutatni.

Nem szabad megfeledkeznem a családomról sem, akik mindig támogattak, motiváltak és megértettek azokban a nehéz időszakokban, amikor a szakdolgozatom miatt kevesebb időt kellett velük töltenem. Az ő szeretetük és türelmük nélkül nem tudtam volna sikeresen befejezni ezt a folyamatot.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani barátaimnak, Horváth Patriknak és Rabatin Jácintnak, hogy a nehéz időszakokban folyamatosan bátorítottak és támogattak, és segítettek, hogy a legjobbat hozzam ki magamból. Szakmai tanácsaik és visszajelzéseik különösen hasznosak voltak e cikk szerkesztése során.

9. Irodalomjegyzék

Bándi Gyula: Környezetvédelem és jog... (IAS, 2006/1-2., 7-11. o.) | Szakcikk Adatbázis. (é. n.),
forrás <https://szakcikkadatbazis.hu/doc/5621745>

Brade, W., Flachowsky, G., Schrader, L., & Johann Heinrich von Thünen-Institut (Szerk.). (2008). *Legehuhnzucht und Eiererzeugung: Empfehlungen für die Praxis*. Johann-Heinrich-von-Thünen-Inst.

Chemicals of concern in plastic toys—ScienceDirect. (é. n.).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020321498>

Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator | Request PDF. (é. n.).
forrás: https://www.researchgate.net/publication/225143995_Country-dependent_Characterisation_Factors_for_Acidification_and_Terrestrial_Eutrophication_Based_on_Accumulated_Exceedance_as_an_Impact_Category_Indicator

Data quality management for life cycle inventories—An example of using data quality indicators—ScienceDirect. (é.-n.). forrás
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652696000431>

Egg Machine | Egg Processing Plant & Machine | SANOVO. (é. n.). Elérés 2024. június 22.,
forrás <https://www.sanovoegg.com/>

Eldh, A., Ehnfors, M., & Ekman, I. (2006). The Meaning of Patient Participation for Patients and Nurses at a Nurse-Led Clinic for Chronic Heart Failure. *European journal of cardiovascular nursing: journal of the Working Group on Cardiovascular Nursing of the European Society of Cardiology*, 5, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.ejcnurse.2005.06.002>

Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study—ScienceDirect. (é. n.). forrás <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618300751>

Environmental Assessment of Products: Volume 1 Methodology, Tools and Case Studies in Product Development | SpringerLink. (é. n.). <https://link.springer.com/book/9780412808005>

European Platform on LCA | EPLCA. (é. n.). forrás
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html>

Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

Francaviglia, R., Gataleta, L., Marchionni, M., Trinchera, A., Aromolo, R., Benedetti, A., Nisini, L., Morselli, L., Brusori, B., Olivieri, P., & Bernardi, E. (2004). Soil quality and vulnerability in a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. *Chemosphere*, 55(3), 455–466. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.066>

Frischknecht, R., Braunschweig, A., Hofstetter, P., & Suter, P. (2000). Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(2), 159–189. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(99\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00042-6)

Guillaume, A., Hubatová-Vacková, A., & Kočí, V. (2022). Environmental Impacts of Egg Production from a Life Cycle Perspective. *Agriculture*, 12, 355. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030355>

Hadjinicolaou, P., & Pyle, J. A. (2004). The Impact of Arctic Ozone Depletion on Northern Middle Latitudes: Interannual Variability and Dynamical Control. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 47(1), 25–43. <https://doi.org/10.1023/B:JOCH.00000012242.06578.6c>

Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Haes, H., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A., Eggels, P., van Duin, R., & Goede, H. (1992). Environmental life cycle assessment of products. I. Guide, October 1992. II. Backgrounds, October 1992.

internet 1: Gabi-software. (é. n.). <http://www.gabi-software.com/>

internet 2: European Parliament. (é. n.). European Parliament. forrás <https://www.europarl.europa.eu/portal>

internet 3: OpenLCA.org | openLCA is a free, professional Life Cycle Assessment (LCA) and footprint software with a broad range of features and many available databases, created by GreenDelta since 2006. (é. n.). forrás <https://www.openlca.org/>

internet 4: ISO - International Organization for Standardization. ISO. <https://www.iso.org/home.html>

internet 5: European Environment Agency's home page. (é. n.), forrás <https://www.eea.europa.eu/en>

internet 6: LCA Center – Életciklus-elemzők Szakmai Egyesülete. (é. n., forrás <https://lcacenter.hu/>)

internet 7: PRé | Fact-based sustainability. (é. n.). PRé Sustainability., forrás <https://pre-sustainability.com/>

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle assessment methodology. *Int J Life Cycle Assess* 8:324-330. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 324–330. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>

KLÖPFFER, 1997. (é. n.). Bing., forrás https://www.bing.com/search?pglt=675&q=KLÖPFFER%2C+1997&cvid=1003c6472ff7400089383e515616a539&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzc1N2owajGoAgiwAgE&FORM=ANNTA1&PC=U531

Laca, A., Laca, A., & Diaz, M. (2021). Chapter 4—Environmental impact of poultry farming and egg production. In C. M. Galanakis (Szerk.), *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption* (o. 81–100). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821363-6.00010-2>

Life Cycle Assessment & the EF methods—Európai Bizottság. (é. n., forrás https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en?prefLang=hu&etrans=hu)

(Németh Csaba - Tojáslevek kis hőmérsékletű hőkezelése, é. n.) 19-26 oldal.

MacLeod, M. G. (2011). 19—Environmental sustainability of egg production and processing. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Szerk.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (o. 445–462). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.445>

McManus, M. C., & Taylor, C. M. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and Bioenergy*, 82, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.024>

Möller, A., Page, B., Schreiber, M., Moeller, A., & Leuphana Universität Lüneburg (Szerk.). (2008). *Environmental informatics and industrial ecology: 22nd International Conference on Informatics for Environmental Protection; enviroinfo 2008; proceedings of the 22nd International Conference Environmental Informatics - Informatics for Environmental*

Protection, Sustainable Development and Risk Management, September 10 - 12, 2008, Leuphana University Lüneburg, Germany. International Conference on Informatics for Environmental Protection, Aachen. Shaker.

Olsen, S. I., Christensen, F. M., Hauschild, M., Pedersen, F., Larsen, H. F., & Tørsløv, J. (2001). Life cycle impact assessment and risk assessment of chemicals—A methodological comparison. *Environmental Impact Assessment Review*, 21(4), 385–404. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(01\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(01)00075-0)

Payen, S., Falconer, S., & Ledgard, S. F. (2018). Water scarcity footprint of dairy milk production in New Zealand – A comparison of methods and spatio-temporal resolution. *Science of The Total Environment*, 639, 504–515. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.125>

(PDF) *Global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA*. (é. n.) forrás: https://www.researchgate.net/publication/257679882_Global_land_use_impact_assessment_on_biodiversity_and_ecosystem_services_in_LCA

(PDF) *The ecoindicator-99: A damage oriented method for life cycle impact assessment: Methodology annex*. https://www.researchgate.net/publication/285641235_The_ecoindicator-99_A_damage_oriented_method_for_life_cycle_impact_assessment_Methodology_annex

Rosenbaum, P. L., Palisano, R. J., Bartlett, D. J., Galuppi, B. E., & Russell, D. J. (2008). Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(4), 249–253. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.02045.x>

Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H. F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T. E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., & Hauschild, M. Z. (2008). USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

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. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Schau, E., Allacker, K., Camillis, C., & Pant, R. (2013, május 12). *The development of Product Environmental Footprint (PEF) Category Rules (PEFCR)*.

Soil quality and vulnerability in a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy—
ScienceDirect.forrás:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653503011007>

Szita, K. (2008). Életciklus-elemzés, életciklus hatásértékelés.

Tsai, J.-H., Huang, J.-Y., & Wilson, D. I. (2021). Life cycle assessment of cleaning-in-place operations in egg yolk powder production. Journal of Cleaner Production, 278, 123936.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123936>

Turner, I., Heidari, D., & Pelletier, N. (2022). Life cycle assessment of contemporary Canadian egg production systems during the transition from conventional cage to alternative housing systems: Update and analysis of trends and conditions. Resources, Conservation and Recycling, 176, 105907. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105907>

UNEP Annual Report 2016 | UNEP - UN Environment Programme. (é. n.), forrás
<https://www.unep.org/resources/unep-annual-report-2016>

Zsuzsánna B. T. (é. n.). BOROS PALACKOK KÖRNYEZETI HATÁSVIZSGÁLATA ÉLETCIKLUS-ÉRTÉKELÉSEL.

10. Ábrajegyzék

1. ábra: Az életciklus-elemzés lépései (Forrás: MSZ EN ISO 14040:2006)	1
2. ábra: Tojások tálcára való pakolása (Forrás: www.savonoeng.com)	6
3. ábra: Tojások tisztítása (Forrás: www.savonoeng.com)	6
4. ábra: Tojástörőgép (Forrás: www.savonoeng.com)	6
5. ábra: Cső a csőben pasztörözőgép (Forrás: www.savonoeng.com)	7
6. ábra: Hűtőtartály (Forrás: www.savonoeng.com)	8
7. ábra: Tojáslé műanyag kannákban (Forrás: saját kép)	8
8. ábra: Variopack csomagológép (Forrás: www.savonoeng.com)	8
9. ábra: Porítógép (Forrás: saját kép)	9
10. ábra: Porítógép (Forrás: www.savonoeng.com)	9
11. ábra: Egy termék életciklusa az ISO14040 szabvány szerint (Forrás: ISO14040)	12
12. ábra: Az LCA lépése (Forrás: ISO 14040:2006)	16
13. ábra: Tojáslé gyártási folyamata (Forrás: saját kép)	25
14. ábra: Tojáspor gyártási folyamata (Forrás: saját kép)	26
15. ábra: Lakosegyenérték normalizációs faktorra (Forrás: Bogoné-Tóth, 2020)	32
16. ábra: Rántotta készítése tojásleéből (Forrás: saját kép)	37
17. ábra: Rántotta készítése tojásporból (Forrás: saját kép)	37
18. ábra: Rántotta készítése tojásporból (Forrás: saját kép)	37
19. ábra: Tojáspor normalizációs értékei (Forrás: saját kép)	39
20. ábra: Tojáslé normalizációs értékei (Forrás: saját kép)	40
21. ábra: Tojáslé súlyozott értékei (Forrás: saját kép)	42
22. ábra: Tojáspor súlyozott értékei (Forrás: saját kép)	42
23. ábra: Tojáspor és tojáslé hatásai a kategóriákban	44
24. ábra: A készített folyamatok (Forrás: saját kép)	46
25. ábra: Készített "flow"-k a programban (Forrás: saját kép)	47
26. ábra: Egy folyamat felépítése (Forrás: saját kép)	47
27. ábra: Vizsgálati módszer kiválasztása (Forrás: saját kép)	48

11. Táblázatjegyzék

1. Táblázat: Az életciklus-értékelés néhány felhasználási példája (Forrás: saját szerkesztés)	14
2. Táblázat: ISO szabványcsalád pár példája (Forrás: ISO 14044, nyomán)	15
3. Táblázat: Az Environmental Footprint (Mid-point) hatásértékelő módszer néhány hatáskategóriája (Forrás: EC, 2024)	20
4. Táblázat: 1 tonna tojáslé számolt energiaigénye (Forrás: saját szerkesztés)	26
5. Táblázat: 1 tonna tojáspor számolt energiaigénye (forrás: saját szerkesztés)	27
6. Táblázat: Táblázat Kapott adatok (Forrás: saját szerkesztés)	28
7. Táblázat: Alapadatok (Forrás: saját szerkesztés).....	29
8. Táblázat: 1 tonna tojáslé fajlagos energia igénye (Forrás: saját szerkesztés)	29
9. Táblázat: 1 tonna tojáspor fajlagos energia igénye (Forrás: saját szerkesztés).....	30
10. Táblázat: A vizsgált folyamatok környezetterhelés eredményei az összes hatáskategóriában (nyers adatok). (Forrás: saját szerkesztés).....	34

12. Mellékletek

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

- ADP (fossil) Resource use, fossils/ Erőforrás-felhasználás, fossziliák
- ADP (mineral) Resource use, minerals and metals/ Erőforrás-felhasználás, ásványok és fémek
- AP Acidification Potential/Savasodási potenciál.
- CFC-11 triklór-fluor-metán, (freon-11 vagy R-11, klórozott-fluorozott.
- CO₂ eq. széndioxid egyenérték.
- CTUe Ökoszisztémákra vonatkozó komparatív toxikus egység.
- CTUh Comparative Toxic Unit for Human toxicity impacts/Emberre vonatkozó komparatív toxikus egység.
- EP Environmental Footprint EP Eutrophication Potential/ Eutrofizáció.
- ETP Ecotoxicity Potential/ Ökotoxicitás.
- EU IPP European Union Integrated Product Policy/Európai Integrált Termékpolitika
- GWP Global Warming Potential /Éghajlatváltozás.
- H⁺ hidrogén-ion.
- HH, cancer Human toxicity, cancer effects/Humán toxicitás, rákhatások
- HH, non-cancer Human toxicity, non-cancer effects/Humán toxicitás, nem rákos hatások
- IR Ionising radiation/Ionizáló sugárzás.
- ISO International Organisation for Standardization.
- LCI Life Cycle Inventory/ Életciklus leltár.
- LCIA Life Cycle Impact Assessment/Életciklus hatáselemzés.
- LCA Life Cycle Assessment, Life Cycle Analysis/Életciklus-értékelés.
- LU Land use /Földhasználat.
- N nitrogén.
- OECD Organisation for Economic Co-operation and Development - Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet.

- ODP Ozone depletion/Ózonlebontás
- PEF Product Environmental Footprint/Termék Környezeti Lábnyom.
- POCP Photochemical Ozone Creation Potential/Fotokémiai oxidáció.
- REPA Resource and Environmental Profile Analysis.
- RI Receptorincidencia
- SETAC Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) -
Környezetvédelmi, Toxikológiai és Kémiai Társaság.
- t Tonna
- ÜHG Üvegházhatásúgázok
- U-235 Urán
- UNEP United Nations Environment Programme –ENSZ Környezetvédelmi
Programja.
- WU Water use.

13. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Horváth Botond

A Hallgató Neptun kódja: KRV1NU

A dolgozat címe: Egy termék környezeti hatásainak elemzése életciklus értékeléssel

A megjelenés éve: 2024

A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet
Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Vállalati Gazdaságtan
Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² 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.

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

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 szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. 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 könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 10 hó 31 nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Horváth Botond (név) (hallgató Neptun azonosítója: KRV1NU) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Budapest év 2024. 10. hó 30 nap

Botond Horváth
belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.