

# Doktori (PhD) értekezés tézisei

## **BROILER CSIRKE TARTÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ KÖRNYEZETI TERHELÉS ÉRTÉKELÉSE KÖRFORGÁSOS SZEMLÉLET ALAPJÁN**

**KISS NIKOLETT ÉVA**

Témavezető: **Dr. Nagy Attila Ph.D.**  
*egyetemi docens*



**DEBRECENI EGYETEM**

**Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola**

Debrecen, 2022.



## 1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az 1990-es évek óta a világon tenyésztett broiler csirkék száma megduplázódott. Míg 2000-ben 14,38 milliárd broiler csirke volt világszerte, addig 2020-ban már közel 33,1 milliárd (INTERNET1). Ez az intenzív növekedés leginkább a népességnövekedésnek köszönhető, mivel a csirkehús egy igen fontos és gyorsan előállítható fehérjeforrás (CHIA et al., 2019; NALUNGA et al., 2021). Az állattartási ágazat jelenleg az egyik legnagyobb kihívása előtt áll, köszönhetően a rohamosan növekvő populációnak, amely becslések szerint 2050-re már meghaladhatja a 9 milliárdot. A termelési kapacitás növelése nem egyszerű, figyelembe kell venni a föld- és vízhasználati korlátozásokat, s a termelőket korlátozó rendeleteket. Így az állattartási ágazatban is kulcsszó a fenntarthatóság (PELLETIER és TYEDEMERS, 2010).

Általánosságban elmondható, hogy az állattartási rendszerek jelentős hatással bírnak a környezetre, s szennyező hatásuk miatt egyre nagyobb figyelmet kell fordítani a környezetvédelemre (STARME, 2011). Az ágazat hatással van többek között a klímaváltozásra, a nitrogén- és a foszfor körforgásra, valamint a földhasználati szokások megváltoztatása miatt a biodiverzitás csökkenésére is (TILMAN et al., 2001; MARGULIS, 2003; SOLOMON et al., 2007; ARIMA et al., 2011; CARPENTER és BENNETT, 2011; BELLARBY et al., 2012). A környezet, valamint a természeti erőforrások védelme, megőrzése érdekében vezette be a közös agrárpolitika (KAP) 2015-ben a zöldítést, amely a környezet szempontjából előnyös, a környezetet kevésbé terhelő mezőgazdasági gyakorlatokat takar (NAK, 2017; 2018). Szintén a környezetvédelmi problémák átfogó kezelésére vezette be az Európai Unió az Európai zöld megállapodást (European Green Deal), azzal a fő céllal, hogy Európa 2050-re klímasemlegessé és fenntarthatóvá váljon (INTERNET2). A megállapodásnak a mezőgazdaságot érintő célkitűzései közül igen fontosak azok a törekvései, melyek a műtrágya használat csökkentését és a szerves trágya alkalmazásának előnyben részesítését célozzák. Mert bár a műtrágyák gyorsan, nagy mennyiségben és könnyen hozzáférhető formában biztosítják a tápanyagot a növényzet számára (SCHOLL és NIEUWENHUIS, 2004; CHEN et al., 2007; HAN et al., 2016), használatuk több negatív hatással is járhat a környezetvédelmi aspektusból.

Az állattartásban keletkező, de az állattartási technológiák számára hasznosíthatatlan produktumok, mint a trágya, és más szerves anyagok, jelentős szerepet játszhatnak a talajerőforrás-utánpótlásban, sőt megfelelő alternatívát jelenthetnek a műtrágyák helyettesítésére (MÉZES et al., 2015; HE et al., 2016, 2020; GORLICZAY et al., 2021). Hazánkban is az 1900-as évek első harmadáig kizárólag szerves trágyával pótolták vissza a növények által elvont tápanyagokat, az intenzív gazdálkodás miatt viszont – a nagyobb hatóanyag-tartalmú műtrágyák megjelenésével – alkalmazása háttérbe szorult. Fontos viszont, hogy a szerves trágyát a kijuttatás előtt megfelelően kezeljük, ártalmatlanítsuk, a kezeletlen

trágya ugyanis veszélyes lehet. Az utóbbi években, az olyan gyorsan növekvő állattartási ágazatok miatt, mint a broiler tartás (CHIA et al., 2019; NALUNGA et al., 2021) – ami a jövőben várhatóan még fontosabbá válik élelmezési szempontból (KASULE et al., 2014; ENAHORO et al., 2018; VAN HARN et al., 2019; JANKOVIĆ et al., 2020) –, az egyre növekvő mennyiségű trágya hasznosításának kérdése egyre sürgetőbbé válik. A trágya kezelésnek egy lehetséges módszere a komposztálás, ami a szervesanyag-tartalmú hulladékok, melléktermékek ártalmatlanításának régóta ismert és alkalmazott módszere (FILEP, 1999; MODDERMAN, 2020). Dolgozatom alapját a broiler csirketrágya anyagában történő hasznosításának (komposztálás) nyomonkövetése képezte. A főbb környezeti terhelések és a folyamatok során fellépő kritikus pontok feltárásának módszere az életciklus-értékelés. Hogy minél teljesebb képet kapjak az esetleges környezeti terhelésről, a trágyafeldolgozáson kívül figyelembe kellett vennem az állattartási és növénytermesztési folyamatokat is. Ez a három alappillér ugyanis egymáshoz szorosan kapcsolódnak, körforgásos gazdaságot alkotva, ezáltal elfelejtve a lineáris struktúrát. Kutatási módszerként az ISO14044:2006, „Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés” szabványt alkalmazom.

Fontos, hogy a folyamatok során keletkezett termék tulajdonságaival, növényekre gyakorolt hatásaival is tisztában legyünk az alkalmazásuk előtt, ezért tenyészedényes kísérletet állítottam be a komposztált, majd granulált broiler csirketrágya (továbbiakban: CPPL, composted and pelletized broiler litter) alkalmazásával, kukorica (*Zea mays* L.) jelzőnövényvel.

Összefoglalva a célkitűzéseim a következők voltak:

1. Megvizsgálni és értékelni egy körforgásos gazdaság (broiler csirke tartás és ahhoz kapcsolódó termelési ágak) környezeti hatásait életciklus-értelmezés módszerével, a CML IA baseline hatásértékelő módszert alkalmazva, tizenegy hatáskategória alapján. Ezen belül az alábbi céljaim voltak:
  - 1.1. A broiler csirke tartás környezeti szempontból kritikus pontjainak feltérképezése az input és output anyag- és energiaáramok alapján 1 tonna élő súlyú broiler csirkére vetítve, külön vizsgálva a nyári és téli hónapok rotációit. A célkitűzést indokolja, hogy hazai és nemzetközi tapasztalatok a broiler csirke tartás környezetterhelésével kapcsolatban csak korlátozottan állnak rendelkezésre.
  - 1.2. A CPPL szerepének értékelése a műtrágyák potenciális alternatívájaként, feltárva, értékelve és összehasonlítva a környezeti hatásokat a CPPL Hosoya komposztáló üzemben történő előállítás és a különböző műtrágyák gyártása során, mivel ilyen jellegű értékelés még nem történt. A céljaim közé tartozott tehát:
    - 1.2.1. A gyártás környezeti terhelésének meghatározása 1 kg CPPL esetében, összehasonlítva különböző műtrágyák (ammónium-nitrát (AN), kalcium

ammónium-nitrát (CAN), karbamid, triple szuperfoszfát (TSP), monoammónium-foszfát (MAP), kálium-klorid (KCl) gyártásának környezeti terhelésével;

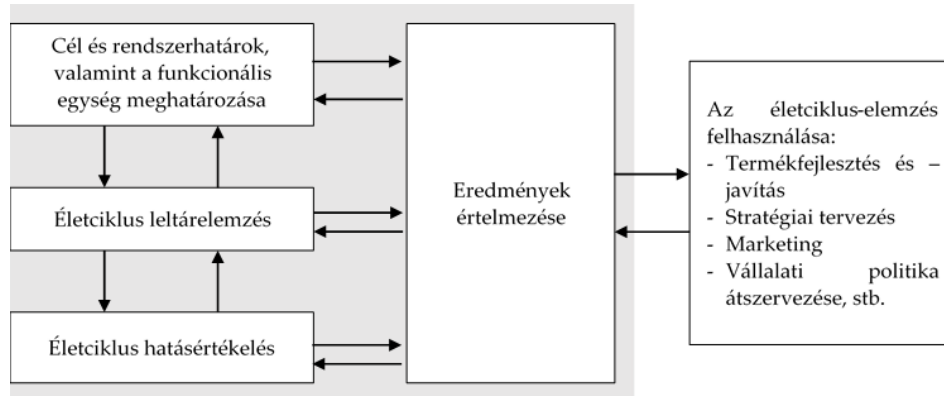
- 1.2.2. A gyártás környezeti terhelésének meghatározása 1 kg hatóanyagra vonatkozóan (külön 1 kg N-, 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és 1 kg K<sub>2</sub>O-tartalomra);
  - 1.2.3. A gyártás környezeti terhelésének meghatározása egy 100 hektár nagyságú szántóföld komplex tápanyag-utánpótlásához (CPPL-lel, valamint N-, P- és K-műtrágya kombinációkkal);
  - 1.2.4. 1 kg N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-hatóanyag költségének értékelése a CPPL és a műtrágyák esetében.
- 1.3. A termesztéstechnológia kritikus pontjainak feltérképezése a két legfontosabb takamánynövény esetében, 1 tonna betakarított kukoricára (*Zea mays* L.) és őszi búzára (*Triticum aestivum* L.) vonatkoztatva, amennyiben a tápanyagutánpótlás CPPL-lel történik, illetve amikor N-, P- és K-műtrágyák különböző kombinációival.
2. A környezeti hatás mellett célom volt megvizsgálni és értékelni a CPPL-nek a kukorica (*Zea mays* L.), őszi búza (*Triticum aestivum* L.) és napraforgó (*Helianthus annuus*) tesztnövényekre gyakorolt hatását, összehasonlítva az ammónium-nitrát (továbbiakban: AN) műtrágya hatásával tenyészedényes körülmények között.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. A körforgásos gazdaság életciklus-értékelése

Az életciklus-értékelés lépéseit az 1. ábra foglalja össze.

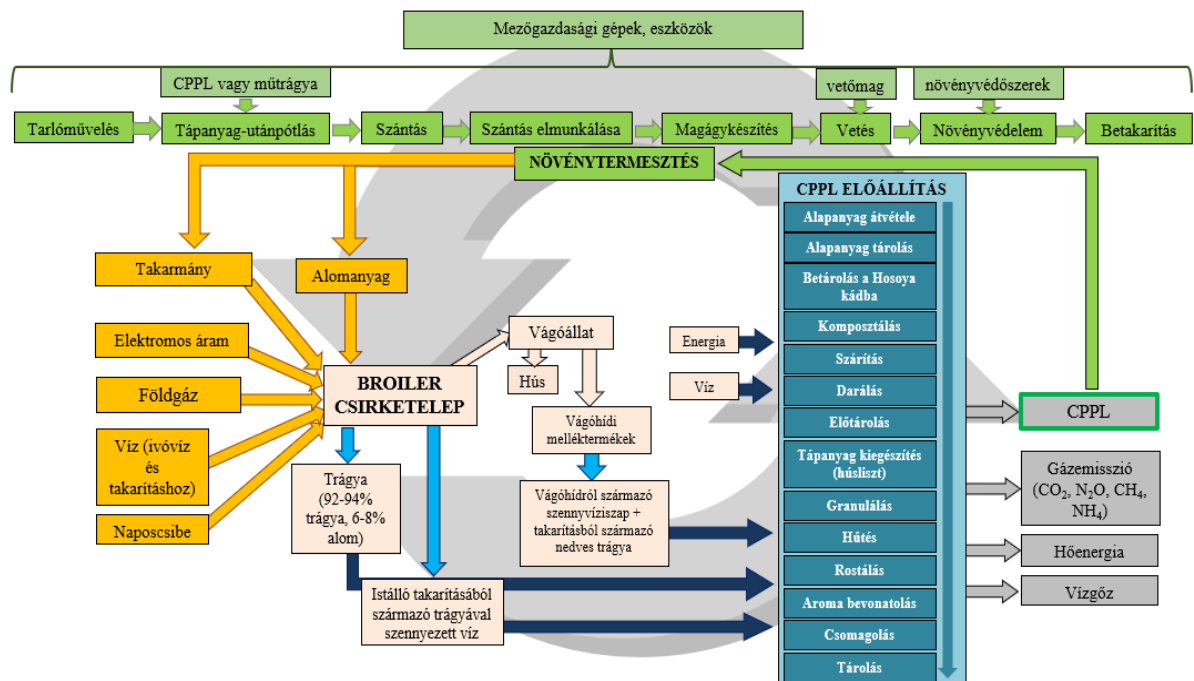
1. ábra: Az életciklus-értékelés szakaszai



Forrás: JENSEN et al., 1997.; ISO 14040:2006. (Saját szerkesztés, 2019)

A kutatás alapját jelentő három alappillért (1. intenzív broiler csirke tartás, 2. baromfitrágya komposztálás, majd pelletelőállítás (Hosoya komposztáló üzem), 3. növénytermesztés (kukorica (*Zea mays* L.) és őszi búza (*Triticum aestivum* L.)), és a három pillér közötti kapcsolatrendszert foglalja össze a 2. ábra.

2. ábra: A körforgásos gazdaság rendszerei



Forrás: Saját szerkesztés, 2020.

### **2.1.1. Az életciklus-értékelés céljának és rendszerhatárainak meghatározása (1. lépés)**

Az elemzés fő vonala a CPPL gyártása és felhasználása során jelentkező anyag- és energiaáramok életciklus szemléletű értékelése. A rendszerhatárok felállításánál viszont a kutatás nem szűkülhet csak a komposztálás és granulálás folyamatára, ezért hogy minél pontosabb képet kapjunk a CPPL előállításakor fellépő környezeti hatásokra, nem lehet figyelmen kívül hagyni a broiler csirke tartást, valamint a kukorica- és búzatermesztést sem.

**A broiler csirke tartás életciklus-értékelésének célja:** Célom volt meghatározni a tartás környezeti szempontból kritikus pontjait 1 tonna élősúlyú broiler csirkére vetítve, a nyári és téli rotációk során.

**A Hosoya komposztáló üzem életciklus-értékelésének célja:** Az elemzés fő célja a CPPL szerepének értékelése a műtrágyák potenciális alternatívájaként, feltárva, értékelve és összehasonlítva a környezeti hatásokat a CPPL Hosoya komposztáló üzemen történő előállítása során és a különböző műtrágyák gyártása során. A következő mennyiségekre határoztam meg a környezeti hatásokat:

- *1 kg végtermék előállítására vonatkozóan:* A gyártás során fellépő környezeti terhelések értékelése 1 kg CPPL esetén, összehasonlítva 1 kg műtrágya (AN, CAN, karbamid, TSP, MAP, KCl) gyártásának környezeti hatásával.
- *1 kg hatóanyagra vonatkozóan:* A környezeti hatások feltárása és értékelése külön 1 kg N-, 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és 1 kg K<sub>2</sub>O-tartalomra vonatkozóan, mind a CPPL, mind a műtrágyák esetében.
- *Egy 100 hektáros szántó föld tápanyagellátottságára vonatkozóan:* A környezeti terhelés meghatározása és értékelése, amennyiben egy 100 hektár nagyságú szántó föld tápanyag-utánpótlásához szükséges CPPL és műtrágya mennyiséget gyártják le. Ennél a pontnál 1,5 t/ha CPPL kijuttatandó mennyiséggel számoltam (a Baromfi-Coop Kft. és SZABÓ et al. (2019) alapján) és a 1,5 t/ha CPPL N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-tartalmához arányosítva határoztam meg a kijuttatandó műtrágyák mennyiségét is.

**A kukorica- és őszi búzatermesztés életciklus-értékelésének célja:** Célom volt összehasonlítani a takarmánykukorica- és búzatermesztés környezeti hatásait 1 tonna betakarított növényre vonatkozóan és feltárni a termesztéstechnológia kritikus pontjait, amennyiben a tápanyagutánpótlás a CPPL-lel történik, illetve amikor különböző kombinációjú N-, P- és K-műtrágyákkal (1,5 t/ha CPPL N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-tartalmához arányosítva).

### **2.1.2. Életciklus leltárelemzés (Life cycle inventory, LCI) (2. szakasz)**

Az életciklus leltárelemzés számszerűsíti az egy termékrendszerre vonatkozó ki- és bemeneti adatokat, továbbá az ehhez szükséges adatgyűjtési, és számítási eljárásokat is tartalmazza. Ezek a ki- és bemeneti adatok vonatkozhatnak a rendszerrel kapcsolatos erőforrás felhasználásra,

talaj, víz, és levegő emissziókra. Az LCA tanulmány elvégzése utáni értelmezést ezekből az adatokból lehet levezetni, továbbá ezen adatok szolgálnak az életciklus hatásértékelés alapjául. **A broiler csirke tartás leltárelemzése:** A broiler csirke tartás életciklus-értékelése során külön gyűjtöttem a nyári (áprilistól szeptemberig) és téli hónapok (októbertől márciusig) rotációi során a tartáshoz szükséges inputokat és a keletkező outputokat. Az elemzéshez szükséges input és output adatokat a Baromfi-Coop Kft. biztosította, illetve az adott telep nyilvánosan elérhető egységes környezethasználati engedélye (EKHE). Azokat az adatokat, amelyek nem álltak rendelkezésre, szakirodalmi adatok biztosították, illetve az életciklus-értékelő szoftverben fellelhető anyag- és energiaáramoknál tapasztalt értékek. Az OpenLCA szoftverből kimentett adatokat átszámítottam 1 tonna élősúlyra a szakirodalmi adatokkal történő könnyebb összehasonlíthatóság érdekében.

**A Hosoya komposztáló üzem leltárelemzése:** Az életciklus leltárelemzéshez szükséges input adatok egy részét (trágya és szennyvíziszap, víz, üzemanyag) a komposztáló üzem biztosította, másik részét saját számításaim (elektromosság), illetve szakirodalmi adatok és az életciklus-értékeléshez alkalmazott szoftver adatbázisában fellelhető adatok. Az üzem adatai alapján először egy Hosoya kád egy betárazására számítottam át az adatokat. A meglévő adatok alapján végül 1 kg CPPL előállításához szükséges anyag- és energiaáramokra számoltam át az értékeket, a későbbi könnyebb összehasonlíthatóság érdekében, majd ezeket az adatokat vittem be az openLCA szoftverbe. A műtrágyák környezeti terhelésének értékeléséhez szükséges anyag- és energiaáramokat az Agribalyse adatbázis biztosította. A műtrágyák környezeti hatásának értékelésénél magát a gyárban végbemenő előállítási folyamatot vettem alapul, tehát a nyersanyagokat (pl. ammónia az AN, CAN, karbamid és MAP műtrágyákhoz; dolomit és salétromsav a CAN műtrágyához; foszfátkő a TSP-hez és a MAP-hoz; foszforsav a TSP-hez; kálisó a KCl műtrágyához), az elektromosságot, fűtést, vizet, csomagolóanyagot stb.

**A kukorica- és őszi búzatermesztés leltárelemzése:** A növénytermesztési folyamatok életciklus-értékelése során a két legfontosabb Magyarországon termesztett szántóföldi növénykultúrát vettem alapul, a kukoricát és a búzát. A környezeti hatásokat 1 tonna betakarított növényre határoztam meg.

### **2.1.3. Életciklus hatásértékelés (3. szakasz)**

Gyakorlatban az életciklus-értékelések elvégzéséhez szoftvereket alkalmaznak. Az elemzésekhez az OpenLCA szoftvert választottam (INTERNET3). Jelen tanulmányban a CML IA baseline hatásvizsgálati módszert alkalmaztam. A módszer az életciklus-értelmezés 11 leggyakrabban alkalmazott hatáskategóriája (1. táblázat) alapján értékeli a vizsgált folyamatokat, termékeket (GUINÉE et al., 2002; GEIER et al., 2015).

## Az alkalmazott hatáskategóriák

Hatáskategória megnevezése	Rövidítése	Mértékegysége
Elemek abiotikus kimerülési potenciálja – Abiotic depletion potential for elements	ADPe	kg Sb-egyenérték
Fosszilis tüzelőanyagok abiotikus kimerülési potenciálja - Abiotic depletion potential of fossil fuels	ADPf	MJ
Savasodási potenciál – Acidification potential	AP	kg SO <sub>2</sub> -egyenérték
Eutrofizációs potenciál – Eutrophication potential	EP	kg PO <sub>4</sub> -egyenérték
Globális felmelegedési potenciál – Global warming potential	GWP	kg CO <sub>2</sub> -egyenérték
Ózonlebontó potenciál – Ozone layer depletion potential	ODP	kg CFC-egyenérték
Fotokémiai oxidációs potenciál – Photochemical oxidation potential	POP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték
Humán toxicitási potenciál – Human toxicity potential	HTP	kg 1,4-DB-egyenérték
Édesvízi ökotoxicitási potenciál – Fresh water aquatic ecotoxicity potential	FAETP	kg 1,4-DB-egyenérték
Tengervízi ökotoxicitási potenciál – Marine aquatic ecotoxicity potential	MAETP	kg 1,4-DB-egyenérték
Szárazföldi ökotoxicitási potenciál – Terrestrial ecotoxicity potential	TETP	kg 1,4-DB-egyenérték

Az elemzéseket az ingyenesen is letölthető, francia Agribalyse adatbázisban végeztem el, mely nagyszámú adatot tartalmaz az összes szükséges elemzéshez (COLOMB et al., 2015; KOCH és SALOU, 2020; ASSELIN-BALENÇON et al., 2020). Az életciklus-értékelés eredményeit (4. szakasz) az Eredmények és értékelésük című fejezetben részletezem.

## 2.2. A CPPL és AN hatásának összehasonlítása tenyészedényes körülmények között

A feldolgozó üzemből kikerülő termék (CPPL), valamint AN műtrágya tesztnövényekre gyakorolt hatásának összehasonlító elemzését végeztem el laboratóriumi körülmények között. A kutatásom során több – szántóföldi és kertészeti – növénykultúrával is volt tenyészedényes kísérlet beállítva futóhomok talajon, viszont az értekezésben csak a kukoricánál, őszi búzánál és napraforgónál kapott eredményeket mutatom be.

A tenyészedényes kísérleteket a Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumában állítottam be.

Vizsgáltam a főtermék, a CPPL tesztnövényekre való hatásait laboratóriumi körülmények között, melyet összehasonlítottam az AN műtrágyával beállított kezelésekkkel. A célom az volt, hogy értékeljem a CPPL hatását a kukoricára, őszi búzára és napraforgóra, összehasonlítva az AN műtrágyával történő beállítások hatásával. Az összehasonlítás eredményeként arra a

kérdésre szerettem volna választ kapni, hogy kiváltható-e a koncentrált hatóanyag-tartalmú műtrágya CPPL-lel?

A kísérlet 21 napig tartott. A felszámolást követően megmértem a kicsírázott növények gyökér- és szárhosszát (palántahossz), kiszámoltam a szárazanyag-tartalmát, a csírázási%-ot, a Vigour-indexet. A klorofill- és karotinoid-tartalom meghatározása destruktív módszerrel történt. Secoman Anthelie Light II. UV-VIS spektrofotométerrel megmértem a növényi minták abszorbanciáját.

A laboratóriumi kísérletek során mért eredményeket a Microsoft Office Excelbe vittem be, majd a nyers adatokból adatbázisokat hoztam létre. Az adatok statisztikai elemzését R szoftver alkalmazásával R Studio felhasználói környezetben végeztem el. Az adatok normál eloszlását Shapiro-Wilk teszttel vizsgáltam 5%-os szignifikanciaszint ( $p=0,05$ ) mellett. Amennyiben az adatok normál eloszlásúnak bizonyultak, Duncan-tesztet alkalmaztam a statisztikai különbségek számszerűsítésére. Amikor a normalitás nem teljesült a csoportokra, a Kruskal-Wallis próbát alkalmaztam. A tenyészedényes kísérlet során arra a kérdésre kerestem választ, hogy van-e statisztikailag igazolható különbség, a CPPL és az AN műtrágya hatása között.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. AZ ÉLETCIKLUS-ÉRTÉKELÉS EREDMÉNYEI

##### 3.1.1. Az intenzív broiler csirke tartás életciklus-értékelésének eredményei

Az 1 tonna élősúlyú broiler csirkék tartása során fellépő környezeti terhelést mutatja be a 2. táblázat, külön feltüntetve a nyári és téli időszakra vonatkozó értékeket hatáskategóriánként.

2. táblázat

**A broiler csirke-tenyésztőtelep életciklus-értékelésének eredményei**

Hatáskategória	Nyári időszak	Téli időszak
ADPe (kg Sb-egyenérték)	0,0045	0,0046
ADPf (MJ)	13 186	16 536
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	15,47	15,82
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	11,65	11,76
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	2 132	2 374
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	0,00017	0,00019
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	1,25	1,29
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1 430	1 436
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	621,7	639,9
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	667 572	649 257
TETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	513,2	520,5

Az eredmények alapján a legtöbb hatáskategória esetében, úgy, mint az elemek kimerülési potenciálja (ADPe), a savasodási (AP) és eutrofizációs potenciál (EP), fotokémiai (POP) és humán toxicitási potenciál (HTP), vagy az ökotoxicitási potenciálok (édesvízi (FAETP), tengervízi (MAETP) és szárazföldi (TETP)), nem volt számottevő különbség a nyári és téli időszak környezeti terhelése között. Ezeknél a hatáskategóriáknál a nyári és téli rotációk környezetterhelése közötti differenciál kevesebb, mint 10% volt.

A nyári és téli rotációk közötti legnagyobb különbségek három hatáskategóriánál figyelhetők meg, a fosszilis tüzelőanyagok kimerülési potenciáljánál (ADPf), valamint a globális felmelegedési (GWP) és ózonlebontó potenciáloknál (ODP). Ezek a különbségek egyértelműen a fűtés miatti magasabb földgázfogyasztásnak köszönhető.

A 11-ből nyolc hatáskategóriánál a takarmányozáshoz köthető folyamatok a legnagyobb hozzájárulók a környezeti terheléshez. A takarmányozás a legösszetettebb kategória, ugyanis a takarmánynövények termesztésétől (kukorica, búza, szója, repce) és feldolgozásától kezdve, a kiegészítő ásványi anyagok és vitaminok beszerzésén és szállításán át, a takarmánykeverő üzemben történő kész takarmánykeverék előállításáig terjed. Az ADPf, ODP és MAETP hatáskategóriák azok, ahol nem a takarmányozási folyamatok a legnagyobb hozzájárulók a környezeti terheléshez, hanem az áramfogyasztás.

### 3.1.2. A CPPL gyártása során fellépő károsanyag-kibocsátás, összehasonlítva a műtrágyák előállításánál keletkező kibocsátással

#### 3.1.2.1. A gyártás során fellépő károsanyag-kibocsátás 1 kg termékre vonatkozóan

A CPPL és a különböző műtrágyák előállításánál keletkező környezeti hatásokat elsőként 1 kg végtermékre vonatkozóan értékeltem. A N-műtrágyák közül az AN, CAN és a karbamid műtrágyákat, a P-tartalmúak közül a TSP és a MAP műtrágyákat, a K-műtrágyák közül pedig a KCl műtrágyát vontam a vizsgálatba (3. táblázat).

3. táblázat

#### A termékek gyártása során fellépő károsanyag-kibocsátás 1 kg termék gyártására vonatkozóan

Hatáskategória	CPPL	AN	CAN	Karbamid	TSP	MAP	KCl
ADPe (kg Sb-egyenérték)	$7,57 \times 10^{-8}$	$6,47 \times 10^{-6}$	$6,37 \times 10^{-6}$	$7,43 \times 10^{-6}$	$4,10 \times 10^{-7}$	$6,70 \times 10^{-6}$	$4,76 \times 10^{-6}$
ADPf (MJ)	0,269	18,338	14,941	27,107	13,987	8,898	4,121
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	0,024	0,006	0,005	0,005	0,010	0,003	0,002
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	0,005	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,001
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	0,273	1,382	1,137	1,127	0,657	0,826	0,399
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	$3,48 \times 10^{-8}$	$1,50 \times 10^{-7}$	$1,23 \times 10^{-7}$	$2,25 \times 10^{-7}$	$1,01 \times 10^{-7}$	$8,54 \times 10^{-8}$	$3,73 \times 10^{-8}$
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	$2,87 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$1,17 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{-4}$	$4,29 \times 10^{-4}$	$1,32 \times 10^{-4}$	$7,97 \times 10^{-5}$
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,028	0,274	0,256	0,314	0,198	0,362	0,188
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,032	0,449	0,429	0,534	0,172	0,502	0,334
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	47,419	663,080	616,340	790,531	523,135	833,587	504,535
TEETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	$3,14 \times 10^{-4}$	$1,51 \times 10^{-3}$	$1,46 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$	$5,08 \times 10^{-3}$	$6,48 \times 10^{-3}$	$8,61 \times 10^{-4}$

Az elemek abiotikus kimerülési potenciálja (ADPe) a nitrogén műtrágyák (AN, CAN, karbamid) előállításánál és a MAP-nál volt a legmagasabb, míg a CPPL-nél a legalacsonyabb. A műtrágyák közül 1 kg TSP előállításánál keletkező környezeti hatásokat elsőként 1 kg végtermékre vonatkozóan értékeltem. Valószínűleg a műtrágyák közül azért a TSP abiotikus kimerülési potenciálja volt a legalacsonyabb, mivel hasonlóan a CPPL-hez az elektromos áramfogyasztás volt a legnagyobb mértékben hozzájáruló energiaáram a kibocsátáshoz, míg a nyersanyagok keletkezése (CPPL), vagy kitermelése (TSP) csak a második hozzájáruló. Ezzel szemben a többi műtrágyánál a nyersanyagok kitermelése, bányászati infrastruktúrája volt az elsődleges hozzájáruló.

A MJ-ban kifejezett, fosszilis tüzelőanyagok abiotikus kimerülési potenciálja (ADPf) szintén a CPPL előállításánál keletkező környezeti hatásokat elsőként 1 kg végtermékre vonatkozóan értékeltem. A CPPL-nél a kibocsátáshoz leginkább három

folyamat járul hozzá, a polietilén előállítás (csomagolóanyaghoz), valamint az elektromos áram- és üzemanyagfogyasztás. A CPPL után a legalacsonyabb a kibocsátása a KCl műtrágyának, de az ennél becsült kibocsátás is mintegy tizenötszerese a CPPL-nek. Ennél a terméknel az emisszióhoz legnagyobb mértékben a gőztermelés járul hozzá, majd kisebb arányban a nyersanyagok kitermelése és feldolgozása, a polietilén előállítás és az áramfogyasztás. A legmagasabb értéket a karbamid előállítása produkálta, a CPPL-hez képest mintegy százszoros kibocsátást. A N-műtrágyák előállítása során a földgáz-fogyasztás volt a leginkább környezetterhelő folyamat, míg a TSP-nél a nyersanyag kitermelés és a gőztermelés, a MAP-nál a gőztermelés, a földgáz- és áramfogyasztás.

A hatáskategóriák közül csak két esetben, a savasodási (AP) és eutrofizációs potenciál (EP) esetében volt magasabb a károsanyag kibocsátás a CPPL előállításakor. A AP értéke – a műtrágya típusától függetlenül – 0,002 és 0,01 kg SO<sub>2</sub>-egyenérték/kg termék körül alakul. A legalacsonyabb mértékű kibocsátást a KCl műtrágyánál, a legnagyobb mértékű kibocsátást pedig a TSP-nél tapasztaltam a műtrágyák közül. Előbbinél a legnagyobb hozzájáruló folyamatok a gőztermelés és a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása volt (SO<sub>2</sub> miatt), utóbbinál pedig a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gyártás. A CPPL a KCl-nél 93, a TSP-nél 58%-kal több emissziót produkált. A CPPL-nél a trágyafeldolgozás miatti NH<sub>3</sub>-emisszó okozza a magas savasodási potenciál értéket. Az AN és CAN műtrágyáknál a HNO<sub>3</sub>-előállítás (NH<sub>3</sub> és NO<sub>x</sub>), a karbamidnál a gőztermelés és a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása (SO<sub>2</sub> és NH<sub>3</sub>), a MAP-nál pedig az áramfogyasztás és a nyersanyagok kitermelése (SO<sub>2</sub> és NH<sub>3</sub>) voltak az AP-hez hozzájáruló folyamatok.

Hasonlóan alakult a kibocsátás az eutrofizációs potenciált (EP) tekintve. Ennél a hatáskategóriánál is a KCl műtrágyánál volt a legalacsonyabb kibocsátás és a TSP-nél a legmagasabb. Mindkettőnél a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása okozta a kibocsátást, a foszfát és foszfor vízbe történő emissziója miatt. A CPPL előállításánál az eutrofizációs potenciál 0,0054 kg PO<sub>4</sub>-egyenérték volt, mely az előbbi műtrágyánál 88%-kal, utóbbinál 24%-kal magasabb. Ebben az esetben a broiler csirketrágya feldolgozása során fellépő NH<sub>3</sub>- és N<sub>2</sub>O-emisszió, valamint az áramfogyasztás voltak a magas környezeti terhelés hozzájárulói. A többi műtrágyánál hasonlóan alakultak a hozzájáruló folyamatok, mint a savasodási potenciálnál. Az AN és CAN műtrágyáknál a HNO<sub>3</sub>-előállítás (NH<sub>3</sub> és NO<sub>x</sub>), a karbamidnál és a MAP-nál pedig a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása (PO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>) voltak az EP hozzájáruló folyamatai.

A globális felmelegedési potenciál (GWP) a CPPL-nél volt a legalacsonyabb. A kibocsátáshoz az áramfogyasztás (CO<sub>2</sub> és CH<sub>4</sub>), a broiler trágya feldolgozása (N<sub>2</sub>O és CH<sub>4</sub>), az üzemanyagfogyasztás (CO<sub>2</sub>) és a keletkezett hulladékok további kezelése (CO<sub>2</sub>) járultak hozzá. A műtrágyák közül ismét a KCl előállításánál volt a legalacsonyabb. A legnagyobb mértékű

kibocsátás a N-műtrágyáknál, azok közül is leginkább az ammónium-nitrátnál fordult elő. Az AN előállítása során ötször annyi károsanyag kibocsátás történik, mint a CPPL gyártásánál. A műtrágyáknál szinte egyöntetűen a műtrágyák előállításához szükséges gőztermelés miatti CO<sub>2</sub>- és CH<sub>4</sub>-emisszió okozza a magas GWP-t.

Az ózontartó potenciál (ODP) a műtrágyák közül a KCl előállításánál volt a legalacsonyabb és a karbamidnál a legmagasabb (hatszoros különbség). Míg a KCl esetében a gőztermelés és a nyersanyagok feldolgozása miatti C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>- és CH<sub>4</sub>-kibocsátás, addig a karbamidnál földgázfogyasztás miatti CH<sub>4</sub>-emisszió járult hozzá az ODP-hez, ahogy a másik két N-műtrágyánál is. A karbamid mellett a CAN és a MAP előállítása során volt még magas a kibocsátás. Ezek az értékek átlagosan tizenöt-ször nagyobbak, mint a CPPL-nél tapasztalt értékek. A TSP-nél a nyersanyag-kitermelés (CH<sub>4</sub>) és a gőztermelés (CH<sub>4</sub> és C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), a CPPL-nél az áram- és üzemanyagfogyasztás, valamint a broiler csirketrágya feldolgozása során fellépő CH<sub>4</sub> és C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>-emisszió voltak a főbb ODP-hez hozzájáruló folyamatok.

A fotokémiai oxidációs potenciál (POP) a műtrágyák közül a KCl előállítása során volt a legalacsonyabb és a TSP-nél a legmagasabb (ötszörös különbség), ahogy a savasodási és eutrofizációs potenciálok esetében is volt. A CPPL-nél az áram- és üzemanyagfogyasztás, valamint a polietilén termelés járultak hozzá a CO- és SO<sub>2</sub>-emisszió miatt a POP-hoz, míg a műtrágyák esetében a nyersanyag-kitermelés, -feldolgozás és a földgázfogyasztás voltak a jellemző hozzájáruló folyamatok.

Szintén a KCl műtrágya előállításánál volt a legalacsonyabb az emisszió az édesvízi (CPPL hétszerese), tengervízi (CPPL tizenegyszerese), valamint a szárazföldi ökototoxicitási potenciál tekintetében (CPPL háromszorosa). Ugyanezen hatáskategóriáknál a legnagyobb mértékű kibocsátást a MAP előállítása okozta. Összehasonlítva a CPPL-vel, az édesvízi ökototoxicitási potenciál (FAETP) tizenháromszorosa, a tengervízi ökototoxicitási potenciál (MAETP) tizennyolcszorosa és a szárazföldi ökototoxicitási potenciál (TETP) huszonegyszerese volt a MAP előállításának kibocsátása. A CPPL-nél ezekhez a hatáskategóriákhoz az áramfogyasztás, a hulladékkezelési folyamatok és a broiler csirketrágya kezelése járulnak hozzá. A műtrágyáknál pedig inkább a nyersanyag-kitermelés, -feldolgozás, áramfogyasztás, gőztermelés és földgázfogyasztás a jellemző hozzájáruló folyamatok.

A humán toxicitási potenciál (HTP) a TSP-nél volt a legalacsonyabb. A legnagyobb mértékű kibocsátást a karbamid produkálta. A műtrágyák előállítása során, maga a nyersanyag-kitermelés és -előállítás, valamint az áramfogyasztás és a gőztermelés voltak a jellemző hozzájáruló folyamatok. Az TSP emissziója ötszöröse, a karbamidé mintegy tizenhétszerese volt a CPPL-nek, melynél az áramfogyasztás, a hulladékkezelés és a broiler csirketrágya-feldolgozás közbeni kibocsátások járultak hozzá a HTP-hez.

### 3.1.2.2. A termékek gyártása során fellépő károsanyag-kibocsátás 1 kg hatóanyagra vonatkozóan

Az 1 kg termékre vonatkoztatott környezeti hatások megállapítása és értékelése után 1 kg hatóanyagra vonatkoztatva értékeltém a különböző hatáskategóriákat, külön-külön 1 kg N-, 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és 1 kg K<sub>2</sub>O-tartalomra felbontva.

#### Károsanyag-kibocsátás 1 kg nitrogén hatóanyagra vonatkozóan

A CPPL termék előállításánál során fellépő környezeti hatásokat vettem össze a fontosabb N-műtrágyák – ammónium-nitrát (AN), kalcium ammónium-nitrát (CAN) és karbamid – előállításánál kibocsátott emissziókkal, 1 kg N-hatóanyagra átszámítva (4. táblázat).

4. táblázat

#### 1 kg nitrogén-hatóanyag előállításának környezeti hatásértékelése

Hatáskategóriák	CPPL (5,5% N)	AN (33,5% N)	CAN (27% N)	Karbamid (46% N)
ADPe (kg Sb-egyenérték)	$1,38 \times 10^{-6}$	$9,06 \times 10^{-6}$	$2,36 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$
ADPf (MJ)	4,883	54,831	55,283	58,822
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	0,439	0,019	0,019	0,010
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	0,0989	0,0065	0,007	0,0038
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	4,955	4,133	4,208	2,445
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	$6,33 \times 10^{-7}$	$4,48 \times 10^{-7}$	$4,57 \times 10^{-7}$	$4,88 \times 10^{-7}$
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	$5,23 \times 10^{-4}$	$4,04 \times 10^{-4}$	$4,32 \times 10^{-4}$	$4,23 \times 10^{-4}$
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,518	0,819	0,947	0,681
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,586	1,341	1,588	1,158
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	862,070	1982,609	2280,459	1715,452
TETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,0063	0,0045	0,0046	0,0049

A 11-ből hat hatáskategória esetén a CPPL magasabb kibocsátási értékeket produkált (AP, EP, GWP, ODP, POP, TETP), mint a N-műtrágyák. De fontos megemlíteni az egyes termékek N-tartalmát és úgy szemlélni a kibocsátást. Ugyanis amennyiben CPPL-lel szeretnénk 1 kg N-t kijuttatni, ahhoz 18,18 kg baromfitrágyára van szükségünk, ha a CPPL 5,5%-os N-tartalmával kalkulálunk. Ezzel szemben az ammónium-nitrátból (33,5% N-tartalom) mindössze 2,99 kg-ot, CAN-ból (27% N-tartalom) 3,7 kg-ot, a karbamidból (46% N-tartalom) pedig 2,17 kg-ot, kell mindössze kijuttatnunk.

#### Károsanyag-kibocsátás 1 kg foszfor hatóanyag gyártására vonatkozóan

A CPPL és a triple szuperfoszfát (TSP), valamint a monoammónium-foszfát (MAP) összehasonlítása során az összehasonlítás alapját 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-hatóanyag képezte (5. táblázat).

**Károsanyag-kibocsátás 1 kg foszfor hatóanyag gyártására vonatkozóan**

Hatáskategóriák	CPPL (3% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	TSP (46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	MAP (52% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
ADPe (kg Sb-egyenérték)	2,52×10 <sup>-6</sup>	8,90×10 <sup>-7</sup>	1,29×10 <sup>-5</sup>
ADPf (MJ)	8,95	30,35	17,09
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	0,804	0,022	0,007
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	0,18	0,01	0,003
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	9,08	1,43	1,59
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	1,16×10 <sup>-6</sup>	2,20×10 <sup>-7</sup>	1,64×10 <sup>-7</sup>
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	0,0010	0,0009	0,0003
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,95	0,43	0,69
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1,07	0,37	0,97
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1580,46	1135,20	1600,49
TETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,0105	0,0110	0,0124

A hatáskategóriák többségénél a két P-műtrágya előállításánál tapasztaltam az alacsonyabb károsanyag-kibocsátást. Viszont ahogy a N-műtrágyáknál is említettem, figyelembe kell azt is venni, hogy 1 kg hatóanyagot hány kg trágyával juttatunk ki. A CPPL P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalma 3%, ennek megfelelően 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-hatóanyaghoz 33,33 kg CPPL-t kell kijuttatni. Ezzel szemben a 46%-os P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalmú TSP-ből 1 kg hatóanyag kijuttatásához elég 2,17 kg, az 52%-os P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalmú MAP-ból pedig mindössze 1,92 kg. Tehát a CPPL-ből 15-ször (a TSP-nél) és 17-szer (a MAP-nál) nagyobb mennyiségű nyersanyagot kell feldolgozni 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-hatóanyag eléréshez.

**Károsanyag-kibocsátás 1 kg kálium hatóanyag gyártására vonatkozóan**

A K-hatóanyag alapján is összehasonlítottam a CPPL és a KCl műtrágya előállítása során kibocsátott károsanyagokat (6. táblázat).

**Károsanyag-kibocsátás 1 kg kálium hatóanyag gyártására vonatkozóan**

Hatáskategóriák	CPPL (2,5% K <sub>2</sub> O)	KCl (60% K <sub>2</sub> O)
ADPe (kg Sb-egyenérték)	3,03×10 <sup>-6</sup>	7,90×10 <sup>-6</sup>
ADPf (MJ)	10,74	6,84
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	0,97	0,003
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	0,22	0,001
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	10,90	0,66
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	1,39×10 <sup>-6</sup>	6,19×10 <sup>-8</sup>
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	0,001	0,0001
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1,14	0,31
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1,29	0,55
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	1896,7	837,5
TETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	0,013	0,001

A táblázatban feltüntetett eredmények alapján elmondható, hogy csak az elemek abiotikus kimerülési potenciálja (ADPe) esetében tapasztalható alacsonyabb kibocsátás a CPPL előállításánál, összehasonlítva a KCl műtrágya előállításával, a többi hatáskategóriát tekintve mindig kedvezőbb volt a kibocsátás 1 kg K<sub>2</sub>O-hatóanyagra vetítve a KCl műtrágyánál, mint a CPPL-nél. Viszont ahogy az 1 kg N-, és P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-hatóanyagra vonatkoztatott kibocsátásoknál, úgy a kálium-hatóanyagnál is jóval nagyobb mennyiségben, koncentráltabban van jelen K<sub>2</sub>O a műtrágyában. Míg a CPPL K<sub>2</sub>O-tartalma 2,5%, addig a KCl műtrágyáé 60%. Tehát, hogy 1 kg K<sub>2</sub>O-t juttassunk ki CPPL-vel, 40 kg trágyára van szükség. Ezzel szemben a KCl műtrágyából mindössze 1,66 kg-ot kell kijuttatni 1 kg K<sub>2</sub>O-hatóanyaghoz.

### **3.1.2.3. Egy közepes méretű gazdaság (100 hektár szántóterület) tápanyag-utánpótlásának környezeti hatása**

Értékeltem egy 100 hektáros szántóföld tápanyagellátásának környezeti hatásait. A CPPL-ből kijuttatandó mennyiséget 1,5 t/ha-ban állapítottam meg a Baromfi-Coop Kft. és SZABÓ et al. (2019) javaslatára. Ez a kijuttatott CPPL mennyiség 82,5 kg/ha N-tartalomnak felel meg, mely összhangban van KÁTAI et al. (2021) ajánlásával, miszerint 80 kg/ha a minimális N-szükséglet az alacsony, illetve közepes nitrogén-ellátottságú talajok esetében. Meghatároztam, hogy a 1,5 t/ha dózisban kijuttatott CPPL hatóanyag-tartalmának megfelelően mekkora mennyiségben kell kijuttatni az egyes műtrágyákat, majd különböző műtrágya-kombinációkat hoztam létre.

A CPPL és a hat műtrágya-kombináció környezeti hatásait a korábban meghatározott, 1 kg végtermék környezeti hatásainak felhasználásával számítottam ki. A környezeti hatásokat ezután három kategóriába (alacsony, közepes és magas) soroltam. A három kategóriát az egyes hatáskategóriáknál meghatározott maximális és minimális értékek közötti különbség három egyenlő intervallumra való felosztása alapján határoztam meg.

A kijuttatandó mennyiség előállítása során fellépő károsanyag-kibocsátásokat összegeztem kategóriánként (7. táblázat).

Az elemek abiotikus kimerülési potenciálja (ADPe) az 150 t CPPL-nél 0,01 kg Sb-egyenérték. A műtrágyáknál 0,17 kg Sb-egyenérték volt a legalacsonyabb kibocsátás az NPK5 csoportnál és 0,25 kg Sb-egyenérték a legmagasabb az NPK2-nél. A 100 hektárra elegendő NPK műtrágyák előállítása átlagosan 95%-kal magasabb károsanyag-kibocsátást jelentenek ennél a hatáskategóriánál.

A fosszilis tüzelőanyagok abiotikus potenciáljánál (ADPf) is a CPPL-nél volt a legalacsonyabb a kibocsátás, átlagosan 93%-kal volt magasabb az emisszió a különböző kombinációjú műtrágyáknak az előállítása során.

**A 100 hektáros szántóföldre kijuttatott CPPL és NPK műtrágyák előállításánál fellépő emisszió**

Hatáskategóriák	CPPL	NPK1	NPK2	NPK3	NPK4	NPK5	NPK6
ADPe (kg Sb-egyenérték)	0,011	0,193	0,227	0,228	0,257	0,167	0,205
ADPf (MJ)	40290	614640	496928	618834	500097	648453	529320
AP (kg SO <sub>2</sub> -egyenérték)	3620	262,9	173,3	265,3	175,3	196,0	115,6
EP (kg PO <sub>4</sub> -egyenérték)	816,1	98,7	65,8	101,0	67,7	75,8	46,1
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egyenérték)	40880	43005	39357	43654	39886	29113	27372
ODP (kg CFC-11-egyenérték)	0,0052	0,0049	0,0042	0,0050	0,0043	0,0053	0,0045
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egyenérték)	4,31	8,02	4,54	8,25	4,74	8,18	4,71
FAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	4270	9862	10192	10923	11109	8731	9241
HTP (kg 1,4-DB-egyenérték)	4833	14818	16069	16868	17841	13323	14823
MAETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	7,11x10 <sup>6</sup>	2,46x10 <sup>7</sup>	2,46x10 <sup>7</sup>	2,71x10 <sup>7</sup>	2,67x10 <sup>7</sup>	2,24x10 <sup>7</sup>	2,28x10 <sup>7</sup>
TETP (kg 1,4-DB-egyenérték)	47,06	92,30	93,98	99,47	100,18	87,60	90,08

zöld = alacsony környezeti terhelés; sárga = közepes környezeti terhelés; piros = magas környezeti terhelés  
 NPK1 = AN + TSP + KCl (40,45 t/100 ha); NPK2 = AN + MAP + KCl (36,35 t/100 ha); NPK3 = CAN + TSP + KCl (46,15 t/100 ha); NPK4 = CAN + MAP + KCl (41,51 t/100 ha); NPK5 = Karbamid + TSP + KCl (33,85 t/100 ha); NPK6 = Karbamid + MAP + KCl (30,59 t/100 ha)

A savasodási (AP) és eutrofizációs potenciál (EP) viszont a CPPL előállítása során volt magasabb. A savasodási potenciálnál átlagosan 94%-kal, az eutrofizációs potenciál pedig átlagosan 90%-kal volt alacsonyabb a kibocsátás az NPK műtrágyáknál. Ennek lehetséges oka – DE VRIES et al. (2012) alapján –, hogy a magas savasodási potenciálhoz az NH<sub>3</sub>- és N<sub>2</sub>O-emisszió, az eutrofizációs potenciálhoz pedig a NO<sub>3</sub>- és PO<sub>4</sub>-kibocsátás járulnak hozzá.

A globális felmelegedési potenciál (GWP) átlagosan 5,5%-kal volt alacsonyabb a 150 t CPPL előállítása során az NPK1 és NPK3 kombinációkhoz képest. A CPPL-hez hasonló értéket mutattak az NPK2 és NPK4 kombinációk, míg az NPK5-6 műtrágya kombinációk, amelyeknél a nitrogén-műtrágya karbamid volt, 29-33%-kal volt kisebb mértékű a kibocsátás. Ennek magyarázata, hogy a vizsgálatba vont nitrogén-műtrágyák közül a karbamidnak a legmagasabb a nitrogén-tartalma (46% N), így kevesebb mennyiséget kell gyártani és kijuttatni belőle, mint azoknál a kombinációknál, ahol a nitrogén-forrást AN vagy CAN biztosította.

Az ózontató potenciál (ODP) közel azonos mértékű mind a CPPL-nél, mind a különböző kombinációjú NPK műtrágyáknál. Ezek az értékek 0,0047 és 0,005 kg CFC-11-egyenérték közöttiek.

A fotokémiai oxidációs potenciál (POP) azoknál a kategóriáknál volt a legmagasabb, ahol a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-hatóanyagot a TSP szolgáltatta (NPK1, NPK3, NPK4). Ezen csoportoknál az előállítás 47%-kal több károsanyag-kibocsátást eredményezett, mint a CPPL előállítása. Ahol a foszfor-műtrágya a MAP volt, ott 15%-kal volt magasabb az emisszió összehasonlítva a CPPL-vel.

A kg 1,4-DB-egyenértékben kifejezett hatáskategóriáknál (édesvízi ökotoxicitási potenciál, tengervízi ökotixicitási potenciál, humán toxicitási és szárazföldi ökotoxicitás potenciál) közel

hasonlóan alakul a kibocsátás mértéke. Az édesvízi ökotoxicitási potenciálnál (FAETP) a műtrágyáknál 8731 és 12122 kg 1,4-DB-egyenérték/NPK között alakult a kibocsátás, ami 51 és 65%-kal magasabb, mint a CPPL előállításánál kibocsátott károsanyag mennyisége. A humán toxicitási potenciál (HTP) a 150 t CPPL-nél 4833 kg 1,4-DB-egyenérték, míg a műtrágyák előállításánál átlagosan 70%-kal magasabb az emisszió mértéke. Hasonlóan alakul a károsanyag-kibocsátás a tengervízi ökotoxicitási potenciálnál is (MAETP). Átlagosan 72%-kal alacsonyabb az emisszió a CPPL előállításánál, mint a különböző kombinációjú NPK-műtrágyáknál. A szárazföldi ökotoxicitási potenciál (TETP) a műtrágyáknál 87,6 és 105,95 kg 1,4-DB-egyenérték között alakul. A műtrágyáknál tapasztalt kibocsátás átlagosan 50%-kal nagyobb, mint a CPPL-nél meghatározott érték.

Összességében a 7. táblázatban feltüntetett értékek alapján látható, hogy a CPPL előállítása kisebb környezeti terheléssel jár (a 11 hatáskategóriából 7 az „alacsony környezeti terhelés” csoportba tartozik), mint az egyenértékű makro-tápanyagokat tartalmazó műtrágyák előállítása. A hat műtrágya kombináció közül az NPK5-nek volt a legalacsonyabb a környezeti terhelése, míg az NPK1-4 kombinációknak a legmagasabb, ahol a nitrogén-műtrágya AN és CAN volt.

### 3.1.3. A növénytermesztési folyamatok életciklus-értékelése

A 8-9. táblázatban ismertetem a növénytermesztés életciklus-értékelésének eredményeit 1 tonna kukoricára (8. táblázat) és őszi búzára (9. táblázat) vonatkoztatva, annak függvényében, hogy a tápanyag-utánpótlás CPPL-lel történt, vagy különböző műtrágyák kombinációival.

8. táblázat

#### A kukoricatermesztés (1 t) életciklus-értékelése különböző tápanyag-utánpótlókkal

Hatáskategóriák	CPPL	NPK1	NPK2	NPK3	NPK4	NPK5	NPK6
ADPe (kg Sb-egy.ért.)	1,53×10 <sup>-3</sup>	1,77×10 <sup>-3</sup>	1,82×10 <sup>-3</sup>	1,82×10 <sup>-3</sup>	1,87×10 <sup>-3</sup>	1,74×10 <sup>-3</sup>	1,79×10 <sup>-3</sup>
ADPf (MJ)	4857	5571	5443	5571	5443	5643	5486
AP (kg SO <sub>2</sub> -egy.ért.)	9,06	15,28	15,19	15,28	15,19	15,2	15,11
EP (kg PO <sub>4</sub> -egy.ért.)	8,79	10,46	10,42	10,47	10,42	10,44	10,39
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egy.ért.)	644,7	928,4	924,5	928,6	926	975,5	972,9
ODP (kg CFC-11-egy.ért.)	1,56×10 <sup>-4</sup>	1,54×10 <sup>-4</sup>	1,53×10 <sup>-4</sup>	1,54×10 <sup>-4</sup>	1,53×10 <sup>-4</sup>	1,54×10 <sup>-4</sup>	1,53×10 <sup>-4</sup>
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egy.ért.)	0,071	0,079	0,076	0,08	0,076	0,08	0,076
FAETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	175,9	183	183,9	184,5	185,6	181,8	182,5
HTP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	303,2	317,8	319,9	320,3	322,6	316	317,9
MAETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	160000	182857	184286	185714	187143	180000	181429
TETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	2,30	2,36	2,36	2,37	2,37	2,35	2,35

zöld = alacsony környezeti terhelés; sárga = közepes környezeti terhelés; piros = magas környezeti terhelés

NPK1 = AN + TSP + KCl (40,45 t/100 ha); NPK2 = AN + MAP + KCl (36,35 t/100 ha); NPK3 = CAN + TSP + KCl (46,15 t/100 ha); NPK4 = CAN + MAP + KCl (41,51 t/100 ha); NPK5 = Karbamid + TSP + KCl (33,85 t/100 ha); NPK6 = Karbamid + MAP + KCl (30,59 t/100 ha)

A kukoricatermesztést illetően a 11 hatáskategóriából csak az ODP-nél volt magasabb a kibocsátás a CPPL-nél, a többi tíz hatáskategóriánál mindig alacsonyabb volt az emisszió összehasonlítva az NPK kombinációkkal (8. táblázat).

Az őszi búza termesztéstechnológiájának életciklus-értelmezése során a 11 hatáskategóriából hétnél (ADPe, ADPf, GWP, POP, FAETP, HTP, MAETP) egyértelműen alacsonyabb volt a környezeti terhelés azoknál a scenárióknál, melyeknél a tápanyag-utánpótlás a CPPL-lel történt 1 tonna őszi búza termésmennyiségre vetítve (9. táblázat). Az AP és ODP a CPPL-es búzatermesztésnél volt magasabb, míg az EP és a TETP hasonló eredményeket mutatott, mind a CPPL, mind a műtrágya kombinációk alkalmazásánál.

9. táblázat

**Az őszi búzatermesztés (1 t) életciklus-értékelése különböző tápanyag-utánpótlókkal**

Hatáskategóriák	CPPL	NPK1	NPK2	NPK3	NPK4	NPK5	NPK6
ADPe (kg Sb-egy.ért.)	4,46×10 <sup>-4</sup>	6,59×10 <sup>-4</sup>	7,01×10 <sup>-4</sup>	6,94×10 <sup>-4</sup>	7,44×10 <sup>-4</sup>	6,33×10 <sup>-4</sup>	6,71×10 <sup>-4</sup>
ADPf (MJ)	777,5	1387,5	1262,5	1362,5	1275	1450	1300
AP (kg SO <sub>2</sub> -egy.ért.)	4,21	4,10	4,01	4,09	4,01	4,02	3,94
EP (kg PO <sub>4</sub> -egy.ért.)	3,34	3,36	3,32	3,36	3,33	3,34	3,29
GWP (kg CO <sub>2</sub> -egy.ért.)	233,78	271,02	266,53	270,12	268,36	264,91	262,03
ODP (kg CFC-11-egy.ért.)	2,00×10 <sup>-5</sup>	1,88×10 <sup>-5</sup>	1,75×10 <sup>-5</sup>	1,75×10 <sup>-5</sup>	1,75×10 <sup>-5</sup>	1,88×10 <sup>-5</sup>	1,75×10 <sup>-5</sup>
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -egy.ért.)	0,012	0,019	0,016	0,019	0,016	0,019	0,016
FAETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	191,91	197,88	198,78	199,33	200,39	197,07	197,65
HTP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	45,17	56,36	58,3	58,64	60,95	55,14	56,63
MAETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	29250	48500	49750	51625	53250	47125	47500
TETP (kg 1,4-DB-egy.ért.)	77,82	77,87	77,87	77,87	77,80	77,86	77,87

zöld = alacsony környezeti terhelés; sárga = közepes környezeti terhelés; piros = magas környezeti terhelés

NPK1 = AN + TSP + KCl (40,45 t/100 ha); NPK2 = AN + MAP + KCl (36,35 t/100 ha); NPK3 = CAN + TSP + KCl (46,15 t/100 ha); NPK4 = CAN + MAP + KCl (41,51 t/100 ha); NPK5 = Karbamid + TSP + KCl (33,85 t/100 ha); NPK6 = Karbamid + MAP + KCl (30,59 t/100 ha)

Az ADPe hatáskategóriánál a CPPL-es kukoricatermesztésnél az üzemanyag-felhasználás és a szállítási folyamatok voltak a főbb hozzájárulók (8. táblázat), búzatermesztésnél pedig jelentős volt még a növényvédőszeres hozzájárulása (9. táblázat). Az NPK kombinációk esetében a műtrágyákhoz szükséges nyersanyagok kitermelése, előállítása voltak a legfőbb okozói a környezetterhelésnek, majd az üzemanyag-felhasználás, függetlenül attól, hogy kukorica-, vagy búzatermesztésről van-e szó. Az ADPf-nél, mind a CPPL-lel, mind a műtrágyákkal termesztett kukoricánál és őszi búzánál is a leginkább környezetterheléssel járó folyamatok az üzemanyag- és az elektromos áramfogyasztáshoz kötődnek.

Az AP, EP és GWP hatáskategóriák esetében a kibocsátáshoz leginkább hozzájáruló folyamatok hasonlóan alakultak a kukorica- és búzatermesztésnél egyaránt. A CPPL-lel termesztett növényeknél elsősorban a szántóföldi műveletek és az üzemanyag-felhasználás a felelősek a környezeti terhelésért, míg a műtrágyás növénytermesztésnél ezek mellett jelentős

hozzájáruló a műtrágyák előállítása, kitermelése és kijuttatása során fellépő emissziók, főleg a N-műtrágyák alkalmazásánál.

Az ODP a kukorica- és búzatermesztésnél is akkor volt a legmagasabb, amikor a tápanyag-utánpótlás CPPL-lel történt. Ehhez a hatáskategóriához a legnagyobb hozzájárulók az üzemanyag- és áramfogyasztás, illetve a növényvédőszer alkalmazása. A POP-hoz szintén az üzemanyag-felhasználás és a növényvédőszer járulnak hozzá, valamint a nehézgépek alkalmazása a szántóföldi műveletek során. A kukoricatermesztés során a HTP-hez és a FAETP-hez a szántóföldi műveletek, az áramfogyasztás és a növényvédőszer alkalmazása járulnak hozzá, a MAETP-hez az utóbbi kettő, a TETP-hez pedig az áramfogyasztás és a szántóföldi műveletek. A búzatermesztésnél is ezek a főbb hozzájáruló tevékenységek az említett négy hatáskategóriánál, annyi különbséggel, hogy a FAETP-nél, a MAETP-nél és HTP-nél a fentebb említett folyamatok mellett megjelenik a műtrágya és az ahhoz szükséges nyersanyagok előállításához kapcsolódó emissziók.

Összességében elmondható, hogy akár kukorica, akár őszi búza termesztéséről van szó, elmondható, hogy a fenntarthatóság és a környezeti terhelés csökkentése érdekében jelentősen redukálni kellene a növényvédőszer és a műtrágya használatot. A csökkentett talajművelési rendszerek bevezetése és alkalmazása csökkentheti a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását és az üzemanyag-felhasználás miatti ÜHG kibocsátást. A feltüntetett eredmények fontosak lehetnek a növénytermesztés helyes gyakorlatának javítására, akár szakpolitikai döntések támogatása szempontjából, csökkentve ezáltal az olyan környezeti problémákat, mint az ÜHG kibocsátás és a levegőszennyezés.

### 3.2. A CPPL ÉS AZ AMMÓNÍUM-NITRÁT HATÁSÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA TENYÉSZEDÉNYES KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

A kezelésenkénti átlagos értékeket, a szórással és a statisztikai csoporttal együtt a 10-12. táblázatban tüntettem fel. A könnyebb átláthatóság érdekében azokat az értékeket, ahol a kontrollhoz képest szignifikáns növekedést tapasztaltam 5%-os szignifikanciaszint mellett, zölddel jelöltem, ahol pedig szignifikáns csökkenést, ott késsel jelöltem az értékeket.

A 10. táblázat a kukorica (*Zea mays* L.) tenyészedényes kísérlete során kapott eredményeket foglalja össze. A kezelések a legtöbb paraméter esetében (szárnövekedés, csírázási paraméterek (csírázási% és Vigour-index), klorofill- és karotinoid-tartalom) serkentőleg hatottak a kukoricára a kontrollhoz képest, még ha statisztikailag nem is volt kimutatható minden esetben a növekedés.

10. táblázat

A CPPL és az AN hatása a kukorica paramétereire (n = 200)

Kezelések	Gyökér (cm)	Hajtás (cm)	Palánta (cm)	Száranyag-tartalom (%)	Csírázási %	Vigour-index	Klorofill-tartalom (µg/g)	Karotinoid-tartalom (µg/g)
<b>Kontroll</b>	29,60 <sup>a*</sup> ± 11,69	25,00 <sup>b</sup> ± 6,29	54,60 <sup>a</sup> ± 16,69	18,80 <sup>ab</sup> ± 3,72	100 <sup>a</sup>	5479,13 <sup>b</sup> ± 1526,64	1457,34 <sup>b</sup> ± 395,23	267,96 <sup>b</sup> ± 65,65
<b>CPPL 1 t/ha</b>	26,83 <sup>ab</sup> ± 7,98	31,56 <sup>a**</sup> ± 7,26	58,93 <sup>a</sup> ± 13,56	19,02 <sup>a</sup> ± 5,42	128,5 <sup>a</sup> ± 16,49	8824,29 <sup>a</sup> ± 1663,82	1804,92 <sup>ab</sup> ± 264,45	323,6 <sup>ab</sup> ± 44,99
<b>CPPL 1,5 t/ha</b>	28,27 <sup>ab</sup> ± 5,98	32,74 <sup>a</sup> ± 6,90	61,01 <sup>a</sup> ± 11,31	18,59 <sup>ab</sup> ± 1,79	121,4 <sup>a</sup> ± 27,35	8155,71 <sup>a</sup> ± 675,59	1851,51 <sup>ab</sup> ± 543,39	328,93 <sup>ab</sup> ± 92,59
<b>AN 320 kg/ha</b>	26,86 <sup>ab</sup> ± 5,42	36,20 <sup>a</sup> ± 4,39	63,01 <sup>a</sup> ± 7,29	15,56 <sup>b</sup> ± 2,60	128,5 <sup>a</sup> ± 16,49	7672,14 <sup>ab</sup> ± 1087,44	2163,13 <sup>a</sup> ± 432,76	390,5 <sup>a</sup> ± 71,83
<b>AN 500 kg/ha</b>	22,66 <sup>b***</sup> ± 3,38	34,83 <sup>a</sup> ± 4,54	57,49 <sup>a</sup> ± 5,86	16,77 <sup>b</sup> ± 1,36	128,5 <sup>a</sup> ± 16,49	7102,86 <sup>ab</sup> ± 1400,35	2006,72 <sup>ab</sup> ± 177,26	342,49 <sup>ab</sup> ± 26,77

\*A különböző betűk a kezelések közötti szignifikáns különbséget jelzik p<0,05 szinten, Duncan teszt alapján. Ahol több betűindex is szerepel, ott a kezelések elkülönítése bizonytalan 5%-os szignifikanciaszint mellett.

\*\*Zöld szín: szignifikáns növekedés a kontrollhoz képest.

\*\*\*Kék szín: szignifikáns csökkenés a kontrollhoz képest.

A CPPL és az AN műtrágya közötti különbségek nem bizonyultak szignifikánsnak, a kezelések elkülönítése nem volt egyértelmű 5%-os szignifikanciaszint mellett. Viszont a gyökérhossznál, száranyag-tartalomnál és a Vigour-indexnél is a CPPL-es beállításoknál mértem magasabb értékeket, annak ellenére, hogy a CPPL-lel kijuttatott N-hatóanyag a fele volt az AN-nel kijuttatott N-tartalomnak.

A 11. táblázat az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) tenyészedényes kísérlete során kapott eredményeket foglalja össze. Az őszi búza összességében a magasabb dózisban kijuttatott CPPL és AN műtrágya alkalmazásánál mutatott a kontrolltól magasabb értékeket, de a legtöbb

paraméter esetében a növekedést nem tudtam szignifikánsan igazolni. Szignifikáns különbség a CPPL és az AN műtrágya hatása között sem volt.

11. táblázat

A CPPL és az AN hatása az őszi búza paramétereire (n = 200)

Kezelések	Gyökér (cm)	Hajtás (cm)	Palánta (cm)	Száranyag-tartalom (%)	Csírázási %	Vigour-index	Klorofill-tartalom (µg/g)	Karotinoid-tartalom (µg/g)
Kontroll	20,55 <sup>a*</sup> ± 7,969	24,21 <sup>b</sup> ± 8,124	44,76 <sup>ab</sup> ± 14,744	20,98 <sup>a</sup> ± 6,056	100 <sup>ab</sup>	4532,65 <sup>a</sup> ± 1180,330	1769,65 <sup>a</sup> ± 235,476	294,56 <sup>b</sup> ± 63,309
CPPL 1 t/ha	15,50 <sup>c</sup> ± 5,752	24,37 <sup>b</sup> ± 4,039	39,97 <sup>b</sup> ± 6,224	16,70 <sup>ab</sup> ± 1,980	108,11 <sup>a</sup> ± 0,000	4321,08 <sup>a</sup> ± 191,791	1759,25 <sup>a</sup> ± 92,350	268,91 <sup>b</sup> ± 36,864
CPPL 1,5 t/ha	18,48 <sup>ab</sup> ± 5,079	27,47 <sup>a</sup> ± 5,657	45,96 <sup>a</sup> ± 8,937	15,34 <sup>b</sup> ± 1,348	105,41 <sup>a</sup> ± 5,405	4857,22 <sup>a</sup> ± 571,934	1888,73 <sup>a</sup> ± 375,94	352,695 <sup>ab</sup> ± 77,045
AN 320 kg/ha	11,96 <sup>d</sup> ± 6,477	22,18 <sup>b</sup> ± 10,145	34,14 <sup>c</sup> ± 15,548	13,79 <sup>b</sup> ± 3,649	91,89 <sup>b</sup> ± 6,242	3148,19 <sup>b</sup> ± 478,901	1944,90 <sup>a</sup> ± 263,647	318,38 <sup>ab</sup> ± 33,22
AN 500 kg/ha	17,29 <sup>b</sup> ± 5,023	27,99 <sup>a</sup> ± 5,482	45,28 <sup>ab</sup> ± 8,841	13,90 <sup>b</sup> ± 2,776	105,41 <sup>a</sup> ± 5,405	4793,19 <sup>a</sup> ± 760,485	2179,65 <sup>a</sup> ± 351,129	401,67 <sup>a</sup> ± 82,513

\*A különböző betűk a kezelések közötti szignifikáns különbséget jelzik p<0,05 szinten, Duncan teszt alapján. Ahol több betűindex is szerepel, ott a kezelések elkülönítése bizonytalan 5%-os szignifikanciaszint mellett.

\*\*Zöld szín: szignifikáns növekedés a kontrollhoz képest.

\*\*\*Kék szín: szignifikáns csökkenés a kontrollhoz képest.

A 12. táblázat napraforgó (*Helianthus annuus*) tenyészedényes kísérlete során kapott eredményeket foglalja össze.

12. táblázat

A CPPL és az AN hatása a napraforgó paramétereire (n = 200)

Kezelések	Gyökér (cm)	Hajtás (cm)	Palánta (cm)	Száranyag-tartalom (%)	Csírázási %	Vigour-index	Klorofill-tartalom (µg/g)	Karotinoid-tartalom (µg/g)
Kontroll	9,25 <sup>ab*</sup> ± 3,790	14,57 <sup>b</sup> ± 4,537	23,81 <sup>b</sup> ± 7,566	7,35 <sup>b</sup> ± 1,744	100 <sup>a</sup>	2403,05 <sup>ab</sup> ± 550,327	557,89 <sup>a</sup> ± 211,61	116,68 <sup>a</sup> ± 46,489
CPPL 1 t/ha	9,99 <sup>a</sup> ± 3,262	17,28 <sup>a**</sup> ± 1,954	27,27 <sup>a</sup> ± 4,195	11,47 <sup>a</sup> ± 4,154	108,11 <sup>a</sup> ± 0,000	2947,84 <sup>a</sup> ± 137,699	655,21 <sup>a</sup> ± 62,76	137,41 <sup>a</sup> ± 13,928
CPPL 1,5 t/ha	8,79 <sup>ab</sup> ± 3,237	13,96 <sup>b</sup> ± 5,741	22,75 <sup>b</sup> ± 8,167	6,68 <sup>b</sup> ± 1,145	100,00 <sup>a</sup> ± 10,351	2284,95 <sup>b</sup> ± 385,054	511,08 <sup>a</sup> ± 133,21	110,21 <sup>a</sup> ± 27,278
AN 320 kg/ha	8,84 <sup>ab</sup> ± 2,832	14,77 <sup>b</sup> ± 2,894	23,61 <sup>b</sup> ± 4,431	6,77 <sup>b</sup> ± 0,755	108,11 <sup>a</sup> ± 0,000	2552,43 <sup>ab</sup> ± 233,168	572,10 <sup>a</sup> ± 70,739	113,87 <sup>a</sup> ± 6,117
AN 500 kg/ha	8,19 <sup>b***</sup> ± 3,492	14,47 <sup>b</sup> ± 5,481	22,66 <sup>b</sup> ± 8,026	7,13 <sup>b</sup> ± 1,843	100,00 <sup>a</sup> ± 10,351	2279,57 <sup>b</sup> ± 464,95	464,42 <sup>a</sup> ± 55,659	97,03 <sup>a</sup> ± 13,363

\*A különböző betűk a kezelések közötti szignifikáns különbséget jelzik p<0,05 szinten, Duncan teszt alapján. Ahol több betűindex is szerepel, ott a kezelések elkülönítése bizonytalan 5%-os szignifikanciaszint mellett.

\*\*Zöld szín: szignifikáns növekedés a kontrollhoz képest.

A napraforgóról összességében elmondható, hogy az alacsonyabb dózisú CPPL-re reagált a legjobban, de serkentően hatott a növényre a szintén alacsonyabb dózisban kijuttatott AN műtrágya is. A magasabb dózisú CPPL-lel és AN műtrágyával történő kezeléseknél viszont egyik paraméter esetében sem haladták meg az értékek a kontrollnál tapasztalt értékeket.

#### 4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. Számszerűsítettem 1 t broiler csirke előállítás környezeti hatásait LCA szemlélettel nyári és téli rotációk függvényében. Az így számszerűsített környezeti hatások referencia adatként szolgálnak 1 t broiler csirke előállítás környezeti terheléseinek értékelésekor hazai és Közép-Európai viszonylatban, mivel szakirodalmi források a témában korlátozottan állnak rendelkezésre. A takarmányozás, mint legfontosabb környezeti hatáshoz hozzájáruló folyamat aránya 3 legfontosabb hatáskategóriánál a következőképp alakul: AP: 81-83%, EP: 97-98%, GWP: 63-70%.
2. Megállapítottam, hogy a Hosoya komposztáló üzemben előállított termék (CPPL) környezeti terhelése 1 kg termék előállítására vetítve 11 hatáskategóriából kilencnél alacsonyabb (ADPe, ADPf, GWP, ODP, HTP, POP, FAETP, MAETP, TETP), mint a műtrágyáké, ugyanakkor 1 kg hatóanyag (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) gyártására vonatkoztatva a CPPL környezetterhelése nagyobb, mint a monoelemes műtrágyáknak.
3. Megállapítottam, hogy a CPPL környezeti hatásait tekintve megfelelő tápanyag-utánpótló alternatívát jelenthet komplex NPK tápanyag-visszapótlást feltételezve. Ugyanis a CPPL előállítás környezeti terhelése 11 hatáskategóriából hétnél kisebb (ADPe, ADPf, HTP, POP, FAETP, MAETP, TETP), kettőnél pedig hasonló (GWP, ODP) mint a CPPL ekvivalens N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-hatóanyag tartalmú műtrágyák gyártásának összesített környezeti terhelése. Így a CPPL megfelelhet az EU Green Deal azon törekvéseinek, melyek a műtrágyák alkalmazásának csökkentésére irányulnak.
4. Megállapítottam, hogy bár külön-külön N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-hatóanyagra vetítve magasabb a CPPL gyártásának környezeti terhelése, viszont amennyiben nitrogén-, foszfor- és kálium-műtrágyát együttesen juttatunk ki, a CPPL-lel trágyázott kukoricának már alacsonyabb a környezetterhelése 11-ből tíz hatáskategória (ADPe, ADPf, AP, EP, GWP, POP, HTP, FAETP, MAETP, TETP) alapján, összevetve az NPK kombinációkkal (pl.: GWP esetében 30-34%-kal).
5. Az őszi búza termesztésének scenáriójánál szintén megállapítottam, hogy bár külön-külön N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-hatóanyagra vetítve magasabb a CPPL gyártásának környezeti terhelése, viszont komplex, N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- és K<sub>2</sub>O-hatóanyagot egyaránt tartalmazó műtrágya-kombinációk alkalmazását feltételezve a CPPL-lel egy alacsonyabb környezetterhelést produkáló takarmánynövény termeszthető 11-ből hét hatáskategória (ADPe, ADPf, GWP, POP, HTP, MAETP, FAETP) alapján (pl.: GWP esetében 11-14%-kal).

## **5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

1. Az életciklus-értelmezés módszerével értékelhetők a körforgásos broiler csirke tartási rendszerek környezeti hatásai, s feltárhatók a kritikus pontok, információt és döntéstámogatást nyújtva a fejlődéshez, modernizáláshoz, a fenntarthatóbb rendszerek kiépítéséhez. A nemzetközi szakirodalmaknak megfelelően a takarmányozási folyamatok (főleg a műtrágya-felhasználás és a növényvédőszeresek miatt) bírnak a legnagyobb környezetterhelő hatással. A takarmány-előállítási folyamatok zöldítése tehát mindenképp csökkentheti a broiler csirke előállítás környezeti hatásait.
2. Elsőként tártam fel a Hosoya komposztáló üzem anyag- és energiaáramait, mely a módszertani alapként szolgálhat további, Hosoya típusú komposztálási rendszerek környezeti hatásainak értékelésére.
3. Az eredmények alapján jelentősen csökkenteni lehet a takarmánynövények előállításához kapcsolódó környezeti terheléseket, ha az NPK műtrágyákat CPPL alkalmazásával váltjuk ki.
4. A tenyészedényes kísérletnél tapasztalt eredmények alapján a komplex hatóanyag-tartalmú CPPL alkalmazása pozitív hatást feltételez a kukorica, őszi búza és napraforgó növény biomasszájára a kontrollhoz és az AN műtrágya alkalmazáshoz képest is futóhomok talajon. Az eredmények előzetesek, igazolásukhoz szántóföldi kísérletek szükségesek.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

1. ARIMA, E.Y. – RICHARDS, P. – WALKER, R. – CALDAS, M.M. (2011): Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6, 10-17.
2. ASSELIN-BALENÇON, A. – BROEKEMA, R. – TEULON, H. – GASTALDI, G. – HOUSSEIER, J. – MOUTIA, A. – ROUSSEAU, V. – WERMEILLE, A. – COLOMB, V. (2020): AGRIBALYSE v3.0: the French agricultural and food LCI database. Methodology for the food products. Ed. ADEME.
3. BELLARBY, J. – TIRADO, R. – LEIP, A. – WEISS, F. – LESSCHEN, J.P. – SMITH, P. (2012): Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology*.
4. BERZSENYI Z. (2009): A kukorica (*Zea mays* L.) hibridek N-műtrágya-reakciójának vizsgálata növekedésanalízissel tartamkísérletben. In: Árendás T. – Bónis P. – Izsáki Z. – Molnár D. – Tóth Z. (2009): Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. Jubileumi tudományos konferencia Martonvásár, 2009. október 15.
5. CARPENTER, S.R. – BENNETT, E.M. (2011): Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environmental Research Letters*, 6:014009.
6. CHEN, J.-H. – WU, J.-T. – YOUNG, C. (2007): The Combined Use of Chemical and Organic Fertilizers and/or Biofertilizer for Crop Growth and Soil Fertility. *Environmental Science & Technology*. 10, 1–12.
7. CHIA, S.Y. – TANGA, C.M. – VAN LOON, J.J. – DICKE, M. (2019): Insects for sustainable animal feed: inclusive business models involving smallholder farmers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 41, 23-30.
8. COLOMB, V. – AMAR, S.A. – MENS, C.B. – GAC, A. – GAILLARD, G. – KOCH, P. – MOUSSET, J. – SALOU, T. – TAILLEUR, A. – VAN DER WERF, H.M.G. (2015): AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 22.
9. CRUSCOL, C.A.C. – MATEUS, G.P. – MOMESSO, L. – PARIZ, C.M. – CASTILHOS, A.M. – CALONEGO, J.C. – BORGHI, E. – COSTA, C. – FRANZLUEBBERS, A.J. – CANTARELLA, H. (2020): Nitrogen-Fertilized Systems of Maize Intercropped With Tropical Grasses for Enhanced Yields and Estimated Land Use and Meat Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
10. DE VRIES, J.W. – GROENESTEIN, C.M. – DE BOER, I.J.M. (2012): Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. *Journal of Environmental Management*. 102, 173-183.
11. ENAHORO, D. – LANNERSTAD, M. – PFEIFER, C. – DOMINGUEZ-SALAS, P. (2018): Contributions of livestock-derived foods to nutrient supply under changing demand in low- and middle-income countries. *Global Food Security*. 19, 1-10.
12. FAOSTAT, 2020. FAO online statistical database accessed on January 2020.
13. FILEP GY. (1999): Talajtani ismeretek I. Általános talajtan. Kari jegyzet, DATE Mezőgazdaságtudományi Kar. Debrecen.
14. GORLICZAY, E. – BOCZONÁDI, I. – KISS, N.É. – TÓTH, F.A. – PABAR, S.A. – BIRÓ, B. – KOVÁCS, L.R. – TAMÁS, J. (2021): Microbiological Effectivity Evaluation of New Poultry Farming Organic Waste Recycling. *Agriculture*. 11, 683.
15. GUINÉE, J.B. – GORREE, M. – HEIJUNGS, R. – HUPPES, G. – RENEKLEIJN – DE KONING, A. – VAN OERS, L. – SLEESWIJK, A.W. – SUH, S. – UDO DE HAES, H.A. – DE BRUIJN, H. – VAN DUIN, R. – HUIJBREGTS, M.A.J. – LINDEIJER, E. – ROORDA, A.A.H. – VAN DER VEN, B.L. – WEIDEMA, B.P. (2002): Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publisher, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
16. HAN, S.H. – YOUNG, J. – HWANG, J. – KIMA, S.B. – PARKA, B. (2016): The Effects of Organic Manure and Chemical Fertilizer on the Growth and Nutrient Concentrations of Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera* Lin.) in a Nursery System. *Forest Science and Technology*. 12, 137–143.
17. HE, Z. – PAGLIARI, P.H. – WALDRIP, H.M. (2016): Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. *Pedosphere*. 26, 779–816.
18. JENSEN, A.A. – HOFFMAN, L. – MØLLER, B.T. – SCHMIDT, A. – CHRISTIANSEN, K. – ELKINGTON J. – VAN DIJK, F. (1997): Life Cycle Assessment. A guide to approaches,

- experiences and information sources. Environmental Issues Series, European Environment Agency.
19. KASULE, L. – KATONGOLE, C. – NAMBI-KASOZI, J. – LUMU, R. – BAREEBA, F. – PRESTO, M. – IVARSSON, E. – LINDBERG, J.E. (2014): Low nutritive quality of own-mixed chicken rations in Kampala City, Uganda. *Agronomy for Sustainable Development*. 34, 921-926.
  20. KÁTAI J. (2011): Alkalmazott talajtan. Debreceni Egyetem, Debrecen.
  21. KOCH, P. – SALOU, T. (2020): AGRIBALYSE®: Methodology, Agricultural stage – Version 3.0. Ed ADAME, Angers, France.
  22. MARGULIS, S. (2003): Causes of Deforestation of the Brazilian Rainforest. Washington: World Bank Publications.
  23. MÉZES L. – NAGY A. – GÁLYA B. – TAMÁS J. (2015): Poultry feather wastes recycling possibility as soil nutrient. *Eurasian Journal of Soil Science*. 4, 244–252.
  24. MODDERMAN, C. (2020): COMPOSTING WITH OR WITHOUT ADDITIVES. IN: WALDRIP, H.M. – PAGLIARI, P.H. – HE, Z. (2020): Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management; Eds.; American Society of Agronomy: Madison, WI, USA. 67, 245–254.
  25. NAK (2017): Zöldítés. Gazdálkodói kézikönyv.
  26. NAK (2018): Zöldítés a gyakorlatban. Gazdálkodói segédlet.
  27. NALUNGA, A. – KOMAKECH, A.J. – JJAGWE, J. – MAGALA, H. – LEDERER, J. (2021): Growth characteristics and meat quality of broiler chickens fed earthworm meal from *Eudrilus eugeniae* as a protein source. *Livestock Science*. 245, 104394.
  28. PELLETIER, N. – TYEDMERS, P. (2010): Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107, 43, 18371-8374.
  29. RUIZ, A. – SALVAGIOTTI, F. – GAMBIN, B.L. – BORRÁS, L. (2020): Maize nitrogen management in soils with influencing water tables within optimum depth. *Crop Science*.
  30. SCHOLL, L. – NIEUWENHUIS, R. (2004): Soil Fertility Management; Agromisa Foundation: Wageningen, The Netherlands. 48–55.
  31. SOLOMON, S. – QIN, D. – MANNING, M. CHEN, Z. – MARQUIS, M. – AVERY, K. B. – TIGNOR, M. – MILLER, H. L. (2007): Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
  32. STARME, E. (2011): Environmental and Health Problems in Livestock Production: Pollution in the Food System. *American Journal of Public Health*. 94 (10), 1703-1709.
  33. SZABÓ, A. – TAMÁS, J. – NAGY, A. (2019): Spectral evaluation of the effect of poultry manure pellets on pigment content of maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Natural Resources and Sustainable Development*. 9, 70–79.
  34. TILMAN, D. – FARGIONE, J. – WOLFF, B. – D’ANTONIO, C. – DOBSON, A. – HOWARTH, R. – SCHINDLER, D. – SCHLESINGER, W. H. – SIMBERLOFF, D. – SWACKHAMER, D. (2001): Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science (Washington)*. 292, 281-284.
  35. VAN HARN, J. – DIJKSLAG, A. – VAN KRIMPEN, M.M. (2019): Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poultry Science*. 98 (10).

Internetes források:

INTERNET1: <https://www.statista.com/statistics/237597/leading-10-countries-worldwide-in-poultry-meat-production-in-2007/>

INTERNET2: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF)

INTERNET3: [www.openlca.org](http://www.openlca.org)

## 7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400  
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/372/2022.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kiss Nikolett Éva  
Doktori Iskola: Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10058341

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: A műtrágyák szerves trágyával történő helyettesíthetőségének vizsgálata környezetvédelmi aspektusból az előállításuk alapján.  
*Georgicon Agric. Megjelenés alatt (-)*, 1-22, 2022. ISSN: 0239-1260.
2. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Broiler csirketartás környezeti terhelésének meghatározása.  
*Acta Academiae Nyiregyhaziensis. Megjelenés alatt (-)*, 90-95, 2022. ISSN: 2416-2981.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

3. Gorliczay, E., Szöllősi, N., **Kiss, N. É.**, Tóth, F., Tamás, J., Nagy, P. T.: Examination of the effect of pelleted poultry manure products on a sunflower test plant in a laboratory model experiment.  
*Agrártud. Közl. 1 (1)*, 83-88, 2021. ISSN: 1587-1282.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8477>

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

4. Nagy, A., **Kiss, N. É.**, Gorliczay, E., Tóth, F., Szöllősi, N., Tamás, J.: Comparison of the effects of manure-based product and ammonium nitrate on maize (*Zea mays* L.).  
*Nat. Res. Sustain. Develop. 12 (1)*, 73-86, 2022. ISSN: 2066-6276.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v12i1.091>
5. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Contribution of Feeding Processes to the Environmental Impact of Broiler Chicken Production.  
*Animal Sci. Biotechn. 55 (1)*, 24-32, 2022. ISSN: 1841-9364.
6. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Life cycle assessment of the environmental impact of broiler chicken production.  
*Nat. Res. Sustain. Develop. 12 (1)*, 163-172, 2022. ISSN: 2066-6276.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v12i1.097>





7. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Szöllősi, N., Gorliczay, E., Nagy, A.: Assessment of Composted Pelletized Poultry Litter as an Alternative to Chemical Fertilizers Based on the Environmental Impact of Their Production.  
*Agriculture-Basel*. 11 (11), 1-18, 2021. EISSN: 2077-0472.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11111130>  
IF: 3.408

Egyéb folyóiratközlemények (1)

8. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Brojlertrágya alapú komposzt és fenntarthatóság.  
*Magyar Mezőgazd.* 23, 20-22, 2022. ISSN: 0025-018X.

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

9. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Life cycle assessment of composting and utilisation of broiler chicken manure.  
In: V. BBS International Sustainability Student Conference 2022, [s.n.], [s.l.], [Epub ahead of print], 1-11, 2022.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

10. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Broiler csirketenyésztés környezeti terhelésének meghatározása.  
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2022 : konferencia előadások kivonatai. Szerk.: Kocsis Imre, Dezső Gergely, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, Nyíregyháza, 51, 2022. ISBN: 9786156032508

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

11. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Nagy, A.: Contribution of feeding processes to the environmental impact of broiler chicken production.  
In: Scientific Programme Multidisciplinary Conference on Sustainable Development, Bioengineering faculty of animal resources, Timisoara, 33, 2022.
12. **Kiss, N. É.**, Nagy, P. T., Tóth, F., Gorliczay, E., Madar, L. A., Kun, S., Tamás, J.: Improving the water management properties of different soil type.  
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : előadások kivonatai, Szent István Egyetem, Keszthely, 54-54, 2020.





### További közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

13. **Kiss, N. É.**, Gorliczay, E., Nagy, P. T., Tamás, J.: Effect of compost/water ratio on some main parameter of compost solutions.

*Agrártud. közl.* 1 (1), 117-121, 2021. ISSN: 1587-1282.

DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8500>

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

14. Gorliczay, E., Boczonádi, I., **Kiss, N. É.**, Tóth, F., Pabar, S., Biró, B., Kovács, R. L., Tamás, J.: Microbiological Effectivity Evaluation of New Poultry Farming Organic Waste Recycling.

*Agriculture.* 11 (7), 1-21, 2021. EISSN: 2077-0472.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11070683>

IF: 3.408

15. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Gorliczay, E., Gálya, B., Nagy, A., Jóvér, J., Riczu, P.: Analysis of nutritional parameters of biogas slurry.

*Nat. Res. Sustain. Develop.* 10 (1), 57-66, 2020. ISSN: 2066-6276.

DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v10i1.044>

16. Tamás, J., **Kiss, N. É.**, Riczu, P., Gálya, B., Bódi, E., Gross, M., Nagy, A.: Application of LIDAR technology in cattle grazing areas.

*Nat. Res. Sustain. Develop.* 9 (2), 106-112, 2019. ISSN: 2066-6276.

DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i2.028>

#### Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

17. **Kiss, N. É.**, Tamás, J., Gorliczay, E., Gálya, B., Jóvér, J., Riczu, P.: Biogáz üzemi fermentlé beltartalmi paramétereinek vizsgálata és kijuttatása nitrátérzékeny területre.

In: XXIII. Tavasz Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia.

Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória

Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 45, 2020. ISBN: 9786155586705

#### Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

18. Gorliczay, E., **Kiss, N. É.**, Nagy, P. T., Tamás, J.: Examination of inorganic chemical parameters of non-aerated compost tea.

In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : előadások kivonatai, Szent István

Egyetem, Keszthely, 38-38, 2020.





19. Tóth, F., Kun, S., **Kiss, N. É.**, Nagy, P. T.: Investigation of the effect of a complex substitution soil therapy preparation based on poultry manure in a soil incubation experiment.  
In: Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben: Előadások kivonatai és programfüzet. Szerk.: Lukács Gábor, Kormos Éva, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 133, 2020. ISBN: 9789632699417
20. **Kiss, N. É.**, Riczu, P., Bódi, E., Gálya, B., Tamás, J.: Innovative application of LiDAR technology in cattle grazing areas.  
In: 2nd World Conference on Innovative Animal Nutrition and Feeding - Abstract Book, AKCongress, Budapest, 23-24, 2017.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 6,816**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 3,408**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.07.25.

