

SZAKDOLGOZAT

Hallgató neve Nagy Anna Frida

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Mezőgazdasági mérnök alapképzési szak

**A juhtartás ÜHG kibocsátásának becslése és csökkentési lehetőségei
különböző szinteken- Áttekintés**

Belső konzulens: Kótiné dr. Seenger Julianna
tudományos főmunkatárs

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Állattenyésztési Tudományok
Intézet
Állattenyésztés-technológiai és
Állatjólléti Tanszék

Külső konzulens: Név

beosztás

Készítette: Nagy Anna Frida

Gödöllő

2024

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	4
2. JUH LÉTSZÁMADATOK ÉS A HAZAI JUHTENYÉSZTÉS JELENLEGI HELYZETE.....	5
3. JUHTARTÁSI RENDSZEREK – KITEKINTÉS	9
4. LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK	11
5. A KÉRŐDZŐ ÁLLATOK ÜHG KIBOCSÁTÁSBAN BETÖLTÖTT SZEREPE.....	15
6. ÜHG ÉS LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK EMISSZIÓJÁNAK BECSLÉSE KÜLÖNBÖZŐ SZINTEKEN	20
6.1. Országos szintű kibocsátás becslés - Üvegházhatású gázok kibocsátási nemzeti leltára.....	20
6.1.1. Juh ágazat hozzájárulása a hazai ÜHG kibocsátáshoz	21
6.1.2. Juhok emésztésből származó üvegház hatású gáz kibocsátása (Emissziós leltár)	21
6.1.3. Juhok trágyakezeléséből származó üvegház hatású gáz kibocsátása (Emissziós leltár)	22
6.1.4. Állattartásból származó üvegházhatású gáz kibocsátás Magyarországon (2021)-eredmények	25
6.1.5. Juhtartásból származó üvegházhatású gáz kibocsátás Magyarországon (2021)-eredmények	27
6.2. Gazdaság szintű ÜHG kibocsátás becslés	27
7. A LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK KIBOCSÁTÁSÁNAK CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGEI A JUHTARTÁSBAN	30
8. A KÜLÖNBÖZŐ INTENZITÁSÚ TERMELÉSI RENDSZEREK ÜHG KIBOCSÁTÁSA	33
9. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	39
10. ÖSSZEFOGLALÁS	41
11. IRODALOMJEGYZÉK	43
12. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE	48

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A klímaváltozás vitathatatlanul korunk egyik legsúlyosabb problémája. Bár léteznek olyan elméletek, melyek szerint jelenleg egy természetes felmelegedési folyamat zajlik bolygónkon, tudományos bizonyítékok támasztják alá, hogy ennek mértéke és gyorsasága az emberi tevékenységekkel hozható összefüggésbe. A mezőgazdasági termelés is rendelkezik kedvezőtlen környezeti hatásokkal, azon belül pedig jellemzően az állattenyésztést teszik nagyobb mértékben felelőssé a növénytermesztéssel szemben.

Széles körben ismert tény, hogy a kérődző állatok sajátos emésztési mechanizmusuk folytán metánt bocsátanak ki, amely egy erős üvegház hatású gáz. Ennek következtében elterjedt az a nézet, mely szerint a mezőgazdasági légszennyezés fő okozói a kérődző állományok, erre a problémára pedig az állatok létszámának csökkentése jelenti a megoldást. Napjainkban azonban egyre több kutatási eredmény támasztja alá, hogy a kérdés ennél jóval bonyolultabb, a kibocsátást számtalan tényező befolyásolja, valamint a szennyezés mértéke és hatása sem feltétlenül olyan nagy, mint azt korábban gondoltuk. Továbbá a metán kibocsátás mellett érdemes mérlegelni a kérődző állattartás társadalmi, kulturális jelentőségét, tájmegőrzésben rejlő potenciálját, mindenekelőtt pedig a Föld egyre növekvő népességének fehérjeellátásában betöltött funkcióját is.

Természetesen vitán felül áll, hogy mindent el kell követnünk az állattartásból eredő emissziók visszaszorítása érdekében. Számos új szakmai publikáció és tudomány-népszerűsítő anyag egyértelműen kiáll amellett az álláspont mellett, hogy a kibocsátás-csökkentés útja nem lehet az állománycsökkentés, hanem az állattartással kapcsolatos tevékenységek és folyamatok kibocsátását kell jelenleg elérhető korszerű technológiákkal mérsékelni amennyire lehetséges. A fentiekén túlmenően az Európai Unió is egyre nagyobb terhet ró az állattartókra, hogy minél nagyobb mértékben csökkentsék kibocsátásukat, azonban ezeknek az elvárásoknak a tenyésztők egyre nehezebben tudnak megfelelni. Ahhoz pedig, hogy ezeket a csökkentési elvárásokat teljesíteni tudjuk, minél pontosabban fel kell mérni a jelenlegi helyzetet.

Dolgozatomban a juhágazat üvegházhatású gáz kibocsátásának trendjét, forrásait, mérési módszereit, csökkentési lehetőségeit mutatom be hazai és nemzetközi szakmai publikációk és hivatalos ajánlások, illetve felmérések alapján. Részletesen kitérek a hazai juhállomány létszámára, jellemző tartásmódjaira, az emissziók nemzeti- és farmszintű becslésére. A dolgozatban nemzetközi publikációkban fellelhető esettanulmányokon keresztül mutatom be az emisszió csökkenésének lehetőségeit.

2. JUH LÉTSZÁMADATOK ÉS A HAZAI JUHTENYÉSZTÉS JELENLEGI HELYZETE

Jelenleg a világban megközelítőleg 1,2 milliárd juh él. Kontinensekre lebontva Ázsia van az élen a világ juhállományának 42%-ával, a 2. helyen Afrika áll 31%-kal, ezt követi Európa 11%-kal, majd Ausztrália és Óceánia 8%-kal, végül Észak- és Dél-Amerika együttesen 7%-ot tesz ki. A világ országai közül Kína áll az első helyen mintegy 175 millió egyedtel, Ausztrália kb. 70 milliós számmal. Jelentős juhtartó még a fentiekén kívül az Amerikai Egyesült Államok (főként Texas és Kalifornia államok), valamint Új-Zéland. Európában a legnagyobb juhtartó ország az Egyesült Királyság, 33,1 millió juhkal (http1, 2024).

Az Európai Unió juhállománya a hivatalos statisztikai adatok szerint 2023-ban 59 millió egyed volt. Ugyanebben az évben a hazai juhállomány mintegy 900 ezer egyedből (907,1 ezer egyed) áll, melyből a statisztikai adatok szerint hozzávetőlegesen 700 ezer (694 ezer) anyajuh (KSH 2023; Eurostat, 2023). Magyarország a kb. 900 ezres állományával Európán belül sem számít jelentősnek ebben az ágazatban.

Az országos állományeloszlást tekintve a juhágazatnak a legnagyobb jelentősége az Alföld és Észak nagyrégióban van, itt koncentrálódik a hazai állomány közel 75%-a. A nagyrégiót bontva azt is láthatjuk, hogy az alföldi régióban található az állomány 63%-a. Hajdú-Bihar vármegye van az élen, itt helyezkedik el a tenyészetek 17,4%, míg a legkevesebb tenyészetet a mindössze 0,7% képviselő Vas vármegyében találjuk. Összességében az tapasztalható, hogy az ország keleti felében jóval nagyobb mind a tenyészetek, mind az anyajuhok létszáma. Az első három vármegyében (Hajdú-Bihar, Bács-Kiskun, Szabolcs-Szatmár-Bereg) koncentrálódik a tenyészetek 43 és az anyajuhállomány 50%-a. A tenyészeteken belüli átlagos anyajuh létszám tekintetében már egyaránt találunk keleti és nyugati vármegyét is (Veszprém az első, Szabolcs-Szatmár-Bereg a második) (MJKSZ, 2023).

A Magyar Juh- és Kecsketenyésztő Szövetség 28. Időszaki tájékoztatója szerint 2023. októberében az országban 8 035 juhtartó, 8 145 tenyészet és 782 836 anyajuh volt. A statisztika készítésénél anyajuhnak tekintettek minden 1 éves kort betöltött nőivarú juhot, viszont a tenyésztésre meghagyott 1 évnél fiatalabb állatok nem szerepelnek (MJKSZ, 2023).

Hazánkban az 1995 óta igénybevehető jerketámogatásoknak, illetve az ENAR rendeleteknek köszönhetően kezdődött meg a juhok, illetve juhtenyészetek egységes nyilvántartása. Ekkor az

anyajuhok létszáma rendkívül alacsony volt, mindössze 740 ezer körül mozgott. A támogatások bevezetése jelentősen javított a helyzeten, mintegy 300 ezer egyeddel megnőtt a létszám 1999-ig. 2000-től azonban ismét csökkenés volt megfigyelhető, majd 2003-tól újabb emelkedés, amely 2005-re lelassult. A 2006 és 2011 közötti időszakban újra csökkenés következett, 2012-től 2017-ig lassú növekedés volt, 2018-tól azonban folyamatos csökkenés figyelhető meg. (MJKSZ, 2023) A létszámcsökkenés az anyajuhokat is érinti, azonban a teljes állományon belül az arányuk növekvő tendenciát mutat. Míg 2017-ben az anyajuhok 70%-ot tettek ki az akkor 1,1 milliós állományból, 2021-ben a létszámuk már meghaladta a 80%-ot (Szedlák, 2022).

A tenyészetek számában nagyobb mértékű növekedés történt a 2012-2017-es időszakban, mint az anyajuhokéban. 2018-ban megközelítőleg 600 tenyészetben szűnt meg a juhtartás. A 2021-es évet stagnálás jellemezte. 2022-ben újabb 500 tenyészetet jegyeztek be, ennek oka azonban már meglévő tenyészetek szétválasztása is lehet. 2023-ban a szám továbbra is 8000 feletti. A pontos nyilvántartást ugyanakkor jelentősen megnehezíti az a tendencia, hogy olyan gazdálkodókat is regisztrálnak juhtartóként, akik valójában nem is végeznek ilyen irányú tevékenységet, egyetlen juhot sem tartanak (MJKSZ, 2023). Feltételezhetően ez arra az esetre történik, ha a későbbiekben juhtartásra is kiterjesztenék tevékenységüket, ne legyen szükség újabb regisztrációra, ügyintézésre.

Jelenleg az anyajuhtartó tenyészetek 55,7%-ában (4 535 tenyészetben) 50-nél kevesebb anyajuh található, így ezek a telepek a teljes hazai anyajuh állomány mindössze 12,8%-át adják. Az összesen 2,5%-ot képviselő 500 feletti tenyészetek a teljes anyajuh létszám 21,3-át jelentik. A 2005. évi adatokkal összehasonlítva nagymértékű növekedés látható az 50 alatti létszámú tenyészetek számában. A 100 feletti tenyészetek mennyisége csökkent, az 500 felettieké szintén, még nagyobb mértékben. Összeségében növekedett ugyan az országban a tenyészetek száma (12,5%-kal), a nagyobb létszámú tenyészetek számának csökkenése az anyajuh létszám jelentős (67,3%-os) csökkenését vonta maga után (MJKSZ, 2023).

Magyarországon az egy főre jutó juhhús fogyasztás (2021-es adatok szerint) 0,35-0,38 kg körül mozog, amely messze alatta marad az Európai Unió átlagának. Az export terén sikeres a hazai ágazat, lévén, hogy az Unió juhhúsból nem önellátó, ezért a magyar élőjuhnak stabil kereslete van. Ugyanakkor a hazai fogyasztás csekély, ennek növekedése nagy mértékben hozzájárulhatna az ágazat fejlődéséhez, az állattartók és feldolgozók számára biztosabb megélhetést jelentene (Agroinform, 2021).

A jelenlegi, 2023-2027 közötti Közös Agrárpolitika (KAP) Stratégiai Tervben az anyajuhtartás támogatása két különböző termeléshez kötött forrásból történik: az uniós termeléshez kötött

támogatások és az átmeneti nemzeti támogatás. Utóbbinak jóval kisebb a fajlagos értéke, mely fokozatosan csökken. A kedvezőtlen adottságú területen tartott állatok után kiegészítő átmeneti nemzeti támogatás igényelhető termeléstől elválasztott formában, mely azonban az anyajuh tartóknak csak kisebb részét érinti (KAP Stratégiai terv, 2023).

Állatjóllét terén a konkrét kötelezettségvállalások előírják a takarmányok ásványi anyag kiegészítését, (juhok esetében szelén nyalósó formájában), melynek célja a hiánybetegségek megelőzése. Az állatsűrűséget illető kötelezettség a kötelező előírások által meghatározottnál nagyobb férőhely biztosítása, ezzel hozzájárulva a stresszcsoökkentéshez. Kiemelt szerepet kap a betegségek elleni preventív védekezés, illetve a gondozói felügyelet növelése, hogy az esetleges betegségek tünetei minél hamarabb észlelhetők legyenek. A 2014-2020-as időszakhoz hasonlóan a juhágazat továbbra is részesül állatjólléti támogatásban (KAP Stratégiai terv, 2023).

Jávor et al. (2022) számos problémára hívta fel a figyelmet a magyar juhtenyésztési ágazattal kapcsolatban. Az állomány folyamatos csökkenésének hátterében irányítási hibákat, illetve az ágazat több szereplőjének nem megfelelő szakmai teljesítményét látta. Napjainkban véleménye szerint az épületek, istállók, technológiai eszközök korszerűtlenek, a gyepgazdálkodás alacsony színvonalú. A gépesítettség jellemzően alacsonyszintű, az élőmunka pedig nem kellően hatékony. A munkaerő elöregedett, fiatalok nem szívesen választják ezt a pályát, továbbá a juhászok nem megfelelő képzettsége is sokszor problémát jelent. „Az ágazati struktúra rosszul alakult ki”, valamint a támogatási rendszer is kedvezőtlen hatással van a fejlődésre. A juhágazat jelentős hátrányba került a húsmarhához képest, a feltétlen juhlegelők pedig „elérhetetlenné váltak a juhágazat számára.” Támogatások terén egyedül a végtermék alapú támogatás jelentene megoldást, az anyajuh alapú helyett. Az ágazat SWOT elemzésében 6 erősség mellé 23 gyengeséget talált, melyek igen változatos problémák, a termelés szinte minden területét érintik.

A hazai juhágazat fejlesztésének lehetőségét Jávor mindenekelőtt az intenzifikációban látja. Napjainkban a versenyképes termeléshez maximálisan ki kell használni a fajták genetikai adottságait, ez azonban csak abban az esetben lehetséges, ha teljes mértékben kielégítjük az állatok takarmányozási és környezettel szemben támasztott igényeit. A szarvasmarhához képest a juhok egyedi kezelése jóval nagyobb élőmunkát és felkészültséget igényel, ahhoz, hogy biztosítani tudjuk az állat takarmányozási és állategészségügyi szükségleteit, fejlettebb technológiai háttérre van szükség. A hagyományos, extenzív tartásmód elsődleges funkciója az országban található legelőterületek kultúrállapotban tartásában rejlik, melyre az alacsony genetikai potenciállal rendelkező, illetve az őshonos fajták alkalmasak a leginkább. Azonban ez a koncepció is csak akkor működőképes, ha megfelelő támogatások kapcsolódnak hozzá, ez

pedig szintén nem áll jelenleg rendelkezésre. A piac kiterjesztése, az integráció, a hazai juhhús fogyasztás népszerűsítése, kettős hasznosításban, minőségjavításra ösztönző támogatásokban további fejlesztési potenciál rejlik, csak hogy néhányat említsek a SWOT elemzésben felsoroltak közül (Jávor et al. 2022).

3. JUHTARTÁSI RENDSZEREK – KITEKINTÉS

A juhok elhelyezésére többféle megoldás létezik. A földrajzi adottságok (domborzati viszonyok, éghajlat), az adott ország gazdasági fejlettsége, a termelés volumene és célja (hús, tej, gyapjú), a gazdálkodó anyagi lehetőségei, illetve az elérhető támogatások mind meghatározó tényezők az egyes tartási rendszerek elterjedtségének. Alapvetően háromféle tartási rendszert különböztetünk meg: a főként tejtermelő gazdaságokra jellemző intenzív, a hús és gyapjútermelésben gyakoribb extenzív és a hagyományos (nomád) pásztorkodás (Morris, 2017). Ezutóbbi főként a fejlődő országokra jellemző, önellátást biztosító, piaci termelésre kevésbé alkalmas gazdálkodási forma, így erre a későbbiekben nem térek ki.

Az intenzív rendszerek általános jellemzői a magas genetikai potenciállal rendelkező, nagy volumenű termelésre képes fajták alkalmazása, az akár egész éves zárt tartás, a koncentrált takarmányok etetése, a legeltetés teljes mellőzésével, illetve a sűrített elletés. Ezzel szemben extenzív tartásban az állatok az egész évet a legelőn töltik, esetleg télre, valamint az elletés, szoptatás idejére vannak elszállásolva, a takarmány szükségletüket alapvetően a legelőfü fedezi, melyet szükség esetén vásárolt takarmánnyal is kiegészíthetnek, az elletésre pedig csak évente egyszer kerül sor. Természetesen az intenzifikációnak különböző fokozatai léteznek a termelés minden területén, így számos átmeneti, félintenzív rendszer is működik, közepes szaporaságú fajtákkal, részben istállózott tartással, részben legelőre, részben koncentrátumra alapozott takarmányozással, az évi egyszerinél gyakoribb, de nem intenzíven sűrített elletéssel. Továbbá olyan rendszerek is léteznek, melyekben nagy szerepe van a legeltetésnek, azonban minden egyéb tekintetben intenzív jellemzőkkel rendelkeznek (Csernáné, 2018; Recktenwald és Ehrhardt, 2024).

Az intenzifikáció lényege a profit maximalizálás, melyhez a nagy mennyiségű termelés mellett a veszteségek minimálisra csökkentésére is szükség van. Ez egyfelől az extenzív termelésnél jóval nagyobb mértékű inputot igényel, másfelől pedig az állatokat érő környezeti behatások feletti minél nagyobb kontrollt, tehát termelési biztonságot. Ezt a célt szolgálja a kiegyensúlyozott tápanyagbevitelt biztosító koncentrátumokra alapozott takarmányozás, valamint az istállózott, tartás, amely lehetővé teszi a hőmérséklet és a páratartalom szabályozását. Az állatok egyedi megfigyelése szintén jobban biztosított, így az esetleges egészségügyi problémák hamarabb észlelhetők, amely hozzájárul az elhullás csökkentéséhez. Az intenzív termelésben alkalmazott fajtákra jellemző a tenyészettség korai elérése, így rövidebb az az időszak, amíg az állat csak „fogyaszt” és nem termel. A sűrített elletéshez

szükséges az ivarzás hormonkezeléssel történő indukciója, mely csak intenzív technológiai keretek között oldható meg. A szabályozott környezetben pedig alacsonyabb a bárányok elhullásának a mértéke. A juhok ápolásának alapvető munkálatai, mint a nyírás és körmölés szintén hatékonyabban és gyorsabban kivitelezhetők intenzív technológiai feltételek mellett (Csernáné, 2018).

Az extenzív rendszerekben jóval kevesebb a kibocsátott termékmennyiség, de ennek megfelelően a szükséges input is jelentősen alacsonyabb. A juhok természetesebb körülmények között élhetnek, jóval nagyobb mozgástérrel, a rájuk jellemző viselkedési formákat nagyobb szabadsággal gyakorolhatják, valamint a kisebb mértékű termelés kevésbé megterhelő számukra. Ezen túlmenően szakszerű gazdálkodás mellett az adott területre jellemző növénytakarmányszakaszok fenntartásában is fontos szerepet játszanak a legelőn tartott állatok. (Polgár et al. 2011) Az intenzív tartással ellentétben itt azonban a juhok egészsége, ezáltal a termelés biztonsága is nagy mértékben ki van téve a környezeti tényezőknek, így magasabb lehet mind a kifejlett állatok, mind a bárányok elhullása (Csernáné, 2018).

A takarmányozási módok közül a legegyszerűbb technológiát a legeltetési juhtartás jelenti. A legeltetési rendszerek is változatosak lehetnek intenzifikáció tekintetében. A legelő hozamának javítására számtalan megoldás létezik, pl. a gyepek öntözése, tápanyagutánpótlása, vagy növényvédelmi kezelése, továbbá vetett legelők kialakítása. Magyarországon az intenzív gyepterkezelés nem jellemző a jelenlegi támogatási rendszer miatt, amely a vegyszerhasználatmentes, környezetbarát gyephasználatot preferálja (Jávor et al. 2022).

Hazánkban a kizárólag legelőre alapozott juhtartás nem kivitelezhető, a kontinentális éghajlati jellemzők miatt az évben csak 150-180 napot lehet legeltetni. A legeltetési rendszerek elsősorban az óceáni éghajlatú területeken működőképesek, ahol sem az alacsony hőmérséklet, sem a csapadékhiány nem korlátozó tényező, pl. Egyesült Királyság, Írország, Új-Zéland. Azonban a magas termelésű állatokat még kiváló legelőviszonyok esetén sem érdemes legelőre alapozottan takarmányozni, a genetikai potenciáljuknak megfelelő termelési szint elérésére kizárólag intenzív tartás és koncentrált takarmányozás mellett képesek. A legelőre alapozott tejtermelés hozamai, még a legjobb legelőkön is jóval alatta maradnak az intenzívnek (Jávor et al. 2022). A kétfázisú takarmányozás megvalósításához féli zárt tartásmódra van szükség. Az állatok nyáron szabadtartásban legelnek, télen pedig, az intenzív rendszerekhez hasonlóan zárt tartásban, tömegtakarmányokat fogyasztanak (Jávor et al. 2022; Polgár et al. 2011).

4. LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK

Az állattenyésztési ágazat egyre fokozottabb mértékben kerül előtérbe az egyes légszennyező anyagok kibocsátásával összefüggésben. Napjainkban számos fórumon zajlik vita arról, hogy milyen mértékben tehetőek felelőssé az állattartó telepek és az állattermék-előállítás a környezetünk légszennyező anyagokkal való terheléséért. Ahhoz, hogy objektíven meg tudjuk határozni tevékenységünk ezirányú környezetterhelő hatását, illetve megfelelően tudjunk érvelni az egyik vagy másik álláspont mellett, vagy ellen, fontos, hogy tisztában legyünk a légszennyező anyagokkal és azok tulajdonságaival. Dolgozatom ezen fejezetében összefoglalom a legfontosabb tudnivalókat a légszennyező anyagokról, és azok állattenyésztési, valamint kérődző ágazati vonatkozásait.

A környezetszennyezés egyik jelentős formája a levegőszennyezés, amely a légszennyező anyagok jogszabályban meghatározott határértéknél nagyobb mértékű kibocsátását jelenti. Két típusát különböztethetjük meg, a természetes eredetű és az ember okozta légszennyezést. A természetes eredetű légszennyezés során az élővilágot károsító anyagok természeti katasztrófák következtében jutnak a levegőbe, az ember okozta szennyezésnél az ipar, a mezőgazdaság és a közlekedés a levegőszennyezés forrása (http2, 2022).

„A Központi Statisztikai Hivatal A nemzetgazdasági ágak üvegházhatásúgáz- és légszennyezőanyag-kibocsátása c. kiadványában az alábbiak szerint csoportosítja a szennyezőanyagok kibocsátását, és ezáltal határozza meg annak nemzetgazdasági ágankénti súlyát.” (http3, 2017):

1. Az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátása: szén-dioxid (CO_2), dinitrogén-oxid (N_2O), metán (CH_4), perfluorkarbon (HFC), fluorozott szénhidrogének (PFC), kénhexafluorid (SF_6)

Az üvegházhatású gázok, olyan gázok, amelyek elnyelik a föld felszínéről visszaverődő napsugarak hőjét, így az nem tud az űrbe távozni. Ez a folyamat a Föld hőmérsékletének melegedését idézi elő, (az üvegház üvegéhez hasonlóan, innen származik az elnevezés) mely az élet fenntartásához is szükséges. Ezen gázok nagyrésze természetesen is jelen van a légkörben, azonban az emberi tevékenység következtében mennyiségük jelentősen megnövekedett, ezzel a Föld éghajlatának megváltozását okozva (EP, 2023).

Az egyes légszennyező anyagok különböző mértékben és módon fejtik ki környezetkárosító hatásukat, ezért összehasonlíthatóságuk érdekében globális felmelegedési potenciáljuk segítségével CO_2 egyenértékre számítjuk át azokat és így fejezzük ki értéküket.

A globális felmelegedési potenciál (GFP) – angol nyelvű szakirodalomban, és hazai publikációkban eredeti megnevezéssel global warming potential (GWP) az a tényező, amely megmutatja, hogy egy adott tömegű ÜHG-nak meghatározott időszak alatt mekkora a sugárzási kényszere az ugyanakkora tömegű szén-dioxidhoz képest. Ennek a tényezőnek a segítségével az egyes üvegházhatású gázok és azok hatása átszámolható szén-dioxid egyenértékre (CO₂e, vagy carbon dioxide equivalent), ezáltal az adott ÜHG és a szén-dioxid sugárzási kényszere összehasonlítható. (A kiszámításhoz az adott ÜHG tömegét megszorozzák annak globális felmelegedési potenciáljával) (Gergely és Bezegh, 2019). A hagyományos GWP100 érték azonban nem tükrözi megfelelően az egyes ÜHG-ok élettartamából adódó különbségeket. Bár a metán felmelegítési potenciálja jóval meghaladja a szén-dioxidét, kb. 12 év alatt lebomlik a légkörben, így jelentősen rövidebb ideig fejt ki melegítő hatását. Kutatók ezért alkották meg a GWP* értéket, amely az ÜHG-ok felmelegítő hatásának számításánál figyelembe veszi azok légköri tartózkodásának idejét. (Lynch et al. 2020) A szén-dioxiddal ellentétben a metán kibocsátásnak nem kell nettó nullára csökkennie ahhoz, hogy megálljon a további felmelegedés, elég évtizedenként 3%-os csökkenést elérni (Borovka, 2023b).

A HungaroMet adatai szerint, 2021-ben a magyarországi összes ÜHG kibocsátás 64,2 millió tonna szén-dioxid egyenértéknek felelt meg. Az erdőgazdálkodás és a földhasználat által megkötött szén-dioxid mennyiséget levonva, a nettó kibocsátás 57,0 millió tonna, az egy főre jutó kibocsátás, pedig 5,8 tonna, ami alatta marad az Európai Unió átlagának.

A legjelentősebb emberi tevékenység által a légkörbe juttatott üvegházhatású gáz a szén-dioxid. 2021-ben a teljes ÜHG kibocsátás 76%-át tette ki. Természetes úton is a légkörbe jut, az élőlények légzése során, de az antropogén szennyezés következtében jelentősen megnövekedett a koncentrációja, mely túlnyomórészt a fosszilis tüzelőanyagok égetésére vezethető vissza. Annak ellenére, hogy a legnagyobb mennyiségben kibocsátott ÜHG, a szén-dioxid rendelkezik a legkisebb GWP értékkel. A teljes kibocsátás 72%-a az energiaszektorból származik, a mezőgazdasági szennyezés 11%-ot tesz ki. Ebből 56% a növénytermesztést, 44% pedig az állattenyésztést terheli. (http4, 2023)

A metán 14%-ban van jelen az ÜHG gázok között. A természetben szerves anyagok bomlásakor kerül a légkörbe, az ember okozta kibocsátás pedig a földgáz bányászatához, szállításához, elégetéséhez, a hulladékgazdálkodáshoz és a szennyvízkezeléshez köthető, de a kérődzők bendőfermentációja révén, az állattenyésztésnek is kiemelt szerepe van. GWP értéke mintegy 28-szorosa a szén-dioxidénak, így jóval alacsonyabb koncentrációja mellett is jelentős környezetszennyező hatással rendelkezik.

A dinitrogén-oxid (N_2O), melynek GWP értéke rendkívül magas, 265-ször nagyobb, mint a szén-dioxidé, 7%-ot képvisel és túlnyomórészt a mezőgazdasághoz köthető, a nitrogéntartalmú műtrágyák használata nagymértékben hozzájárul a kibocsátáshoz. (http4, 2023) Az üvegházhatású gázok közé tartoznak még a fluorozott szénhidrogének, perfluor-szénhidrogének, a kén-hexafluorid és a nitrogén-trifluorid, melyek főként ipari gyártási folyamatok következtében jutnak a levegőbe, a mezőgazdaságnak nincs meghatározó szerepe a kibocsátásukban (EP, 2023).

2. A savasodást okozó gázok kibocsátása: nitrogén-oxidok (NO_x), kén-dioxid (SO_2), ammónia (NH_3)

Az ammónia, mint savasodást okozó gáz jellemzője, hogy könnyen reakcióba lép egyes savakkal, például a kénsavval, salétromsavval, salétromossavval és a sósavval ammóniumsók képződését eredményezve. Továbbá a levegőbe jutott ammónia reakcióba lépve a kén-dioxiddal ammónium-szulfátot hoz létre, amely aeroszol részecskéként ködképződést okoz, rontja a látási viszonyokat és károsíthatja a tüdőt is, így közvetlen humánegészségügyi vonatkozása is van. A légkörben található ammónia részben leülepedve a földfelszínre a talajok savanyodását és a vizek eutrofizációját vonhatja maga után (Tóth et al. 2020).

A légtérbe került nitrogén-oxidok a kibocsátó forrástól nagy távolságra eljutva leülepednek, így szerepet játszanak a savasodásban, az algásodásban, és megnövekedett koncentrációjuk révén a szmog kialakulásában. A kibocsátott kén-dioxid felelős a téli szmog kialakulásáért, az ammóniakibocsátás során bemosódó nitrát és foszfát pedig a fokozott algásodásért. A savasodást okozó anyagok károsítják az ökoszisztémát, különösen a talajt, az erdőket és a vízkészleteket” (http3, 2017).

3. Az ózonprekursorok kibocsátása: nitrogén-oxidok (NO_x), nem metán illékony szerves vegyületek (NMVOC (non-methane volatile organic compounds)), szén-monoxid (CO), metán (CH_4)

Az ózonprekursorok, másnéven ózonelőanyagok olyan vegyületek, melyek a földfelszín közelében ózonképződést okozhatnak. Az ózon jelenléte a troposzférában hozzájárul a szmog kialakulásához, ezáltal az emberi egészségre is káros hatással van. A metán ÜHG mivolta mellett ózonprekursor is. A NO_x -ok kibocsátásának fő forrásai az ipari tüzelés, a közlekedés, illetve a nitrogéntartalmú műtrágyák használata. A NMVOC-ek főként a feldolgozóipari és mezőgazdasági tevékenységekből származnak, a CO a háztartási eredetű tüzelésből, illetve a belső égésű motorokkal rendelkező járművek általi kibocsátásból származik.

4. A szálló por kibocsátása

A részecskekibocsátás vagy szilárdanyagkibocsátás (PM) a mezőgazdaságból, a háztartási és ipari tüzelésből származik, valamint a dízelüzemű járművek használatából. A szálló porrészecskék belégzése légzőszervi betegségek kialakulását eredményezheti.

Magyarországon a mezőgazdaságnak nincsen kiemelkedő szerepe a szálló por kibocsátásban, a nagyobb frakciók (PM₁₀), a szántóföldi talajművelésből származnak, az állattenyésztés, illetve a tarlóégetés során pedig a kisebb frakciók (PM_{2,5}) képződnek. A hexaklór-benzol (HCB), egy gombaölő hatással rendelkező vegyület, melyet növényvédőszerként alkalmaztak. Nehezen lebomló szerves szennyezőként (POP-vegyület) a Stockholmi-egyezményben betiltották a gyártását és használatát, azonban szennyeződésként továbbra is jelen lehet egyes gombaölő növényvédőszer hatóanyagaiban, pl. a klorotalonilban (http5, 2023).

5. A KÉRŐDZŐ ÁLLATOK ÜHG KIBOCSÁTÁSBAN BETÖLTÖTT SZEREPE

A kérődzők által kibocsátott üvegházhatású gázok nagy mértékben hozzájárulnak a klímaváltozáshoz. A legfontosabb szerepe a szén-dioxidnak (CO_2), a metánnak (CH_4) és a dinitrogén-oxidnak (N_2O) van.

A FAO adatai szerint a világ teljes ember általi üvegházhatású gáz kibocsátásának 14,5%-a származik az állattenyésztésből (Borovka, 2023b). Míg a CO_2 jelentős része ipari tevékenységek révén jut a légkörbe, a jelentősen nagyobb GWP értékkel rendelkező CH_4 szennyezésért a hulladékgazdálkodást követően a második legnagyobb mértékben az állattartás felelős, azon belül is többnyire a szarvasmarhatartás, az állatok nagy létszámából és méretéből adódóan. Az ÜHG-ok között kis mennyiségben jelenlévő, azonban a CO_2 -hoz képest kiemelkedően magas GWP értéket képviselő N_2O túlnyomó többségében szintén az állattartás számlájára írható. A fentiek ismeretében az állattartás szerepének megértése rendkívül fontos a klímaváltozást kiváltó hatások mérséklésében, illetve az egyre szigorúbb környezetvédelmi szabályoknak való megfelelés érdekében.

Az állattenyésztés főként az állatok légzése révén járul hozzá a CO_2 kibocsátáshoz, ezen túlmenően a takarmánytermesztéshez tartozó földművelési munkák, a gépek működtetése és a műtrágyák használata járul hozzá az emisszióhoz (http4, 2023). A kérődzők közvetlen CO_2 kibocsátása a légzésből ered, ennek közel 60%-a szarvasmarháktól származik, ez azonban főként az állatállomány nagyobb létszámának tudható be, mert testtömegre vetítve a legnagyobb légzés általi CO_2 kibocsátással a kiskérődzők rendelkeznek (Zervas-Tsiplakou, 2012).

Az állattenyésztés – különösen a szarvasmarha- és juhtenyésztés – azért került az ÜHG-kibocsátáscsökkentési tervek középpontjába, mert az egyik legerősebb üvegházhatású gázt, a metánt bocsátják ki (Kaszab et al. 2023). A kérődzők bendőjében ugyanis az állat saját enzimei által nem emészthető tápanyagok és rostok mikrobák általi lebontása és fermentációja során rövid szénláncú illózsírsavak keletkeznek, amelyek az állati szervezet energiaellátásában játszanak fontos szerepet. Ez a folyamat elkerülhetetlenül metántermeléssel jár, amely mintegy 12%-nyi veszteséget jelent a takarmány bruttó energiatartalmát véve alapul (http6, 2024).

A CH_4 globális felmelegítő potenciálja jóval meghaladja a CO_2 -ét, továbbá az emisszióban kiemelkedő szerepe van az állattenyésztésnek, hiszen az összes ÜHG 5%-át képviseli. Magas

GWP* értéke ellenére, azonban a teljes antropogén ÜHG kibocsátásnak „csak” 14%-át képviseli, illetve 30%-ban járul hozzá a felmelegedéshez, továbbá a CO₂-nál jóval rövidebb a felezési ideje.

A bendőfermentáció metánkibocsátásban betöltött szerepe nem elhanyagolható ugyan, de a folyamat jelentősége, hogy a kérődzők az ember és a monogasztrikus állatok számára hasznosíthatatlan anyagokból nagy biológiai értékű, koncentrált energiatartalmú élelmiszertalanyagot állítanak elő, pl. tejtermékeket, melyre más állatfajok nem alkalmasak.

A gazdasági állatfajok közül kérődző állomány járul hozzá a legnagyobb mértékben az üvegházhatású gázok kibocsátásához. Az állattenyésztésből származó – enterális és trágya eredetű – ÜHG, ezen belül CH₄ és N₂O kibocsátásnak legnagyobb hányada a kiskérődzőktől származik (12,25%), amely CO₂ egyenértékben kifejezve évente 9,45 kg/testtömeg kg. Ez az érték szarvasmarha, sertés és baromfi esetében sorrendben 5,45Kg/kg, 3,97 kg/kg és 3,25 kg/kg (Zervas-Tsiplakou, 2012).

A kérődzők által termelt metán mennyiségét számos tényező befolyásolja, mint például a takarmány típusa, minősége, emészthetősége, illetve koncentrálttsága, továbbá az állat életkora, kondíciója és egyes környezeti tényezők, mint pl. a hőmérséklet, (Zervas-Tsiplakou, 2012), így gyakorlatilag a termelés minden folyamatában van lehetőség a kibocsátás-csökkentésre.

Fontos kiemelni, hogy az állatok által kibocsátott szénalapú vegyületek széntartalma mind az atmoszférából származik, egy szénatomot sem adnak ahhoz. A légzésből eredő CO₂ kibocsátás folyamatát a biogén szénciklus részének tekinthetjük, hiszen az állat légzésekor a légkörbe távozó CO₂-ot a fotoszintézis során a növények megkötik, ezáltal kivonják azt a légkörből. Ugyanez történik a bendőfermentációból származó CH₄-nal is, miután körülbelül 12 év alatt szén-dioxiddá bomlik a légkörben. Ezzel szemben a fosszilis energiahordozók égetése a szénciklusból évmilliókkal ezelőtt kivonódott, talajban lekötött szénvegyületeket széntartalmát bocsátja ki, ezáltal valódi többletet okozva az atmoszférában. (Borovka, 2023a)

A N₂O GWP értéke jelentősen nagyobb, mint a CO₂-é. A szennyezésért nagyrészt a növénytermesztés, azon belül is főleg a N-tartalmú műtrágyák használata felelős. A N₂O az állatok trágyájában is megtalálható, de kevésbé koncentráltan, így a szerves trágya ebben az összehasonlításban, megfelelő trágyakezelés mellett kevésbé terheli a környezetet. Bár a kiskérődzők trágyájában található a legkevesebb N₂O, a kibocsátásban még is nagy szerepük van feltehetően a juh- és kecskefarmok rossz trágyakezelése miatt (Zervas-Tsiplakou, 2012).

A kiskérődzők károsanyag kibocsátásának csökkentéséhez mindenképp szükség van az egy állatra jutó várható kibocsátás meghatározására, melyet számtalan tényező befolyásolhat, a fajtától és hasznosítási iránytól kezdve, a takarmányozáson át, a termelés intenzitásáig. Ebben nagy nehézséget jelent, hogy számos országban nem készülnek kellően részletezett statisztikai felmérések (Zervas-Tsiplakou, 2012). Ez a helyzet hazánkban is, ahol a juhtartás és termelés által kibocsátott légszennyező anyagok esetében csak közelítő adatok állnak érhetőek el. Sem országspecifikus, sem termelés specifikus adatbázis nem áll rendelkezésünkre.

Az állatok CH_4 kibocsátása elsősorban a takarmányozástól függ, ezen belül a szárazanyagbevitel a legjelentősebb mely pozitív korrelációban áll a CH_4 kibocsátással. A takarmány tápanyagtartalma, illetve emészthetősége szintén befolyásolja a várható értékeket, az etetett ADF és NDF mennyiség pozitív korrelációt mutat a CH_4 mennyiségével. Továbbá az optimális tartományon belül maradva, az alacsonyabb bendő pH érték (6,2) mellett kevesebb CH_4 termelődik.

Kibocsátás szempontjából fontos tényező az állatok testsúlya, ugyanis a nagyobb testtömeg mellett, nagyobb metán-kibocsátásra számíthatunk, valamint felnőtt állatok esetében nagyobb mértékű a kibocsátás, mint a fiatal állatoknál (szintén a testtömegbeli különbségek miatt). Az előbb említett befolyásoló tényezők azonban összefüggnek, így sok esetben komplexen kell azokat figyelembe venni (Belanche et al., 2023).

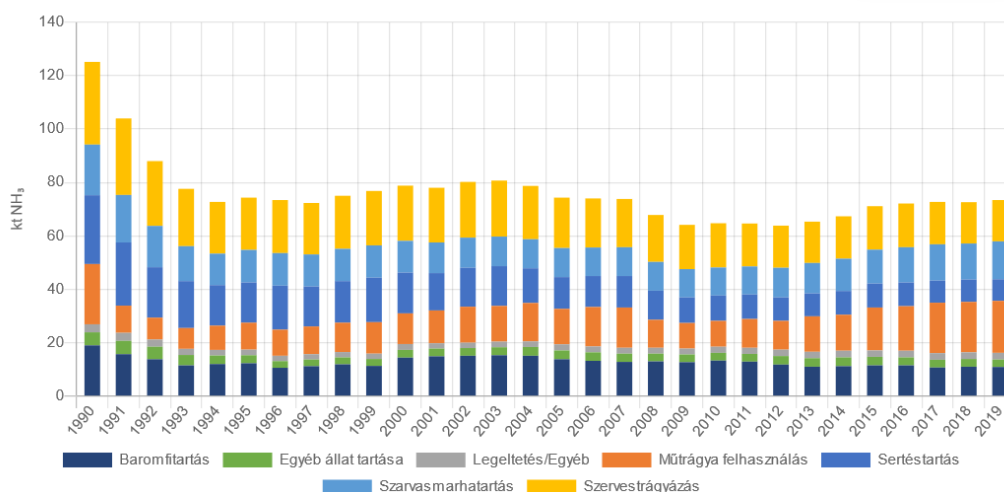
Jávor (2022) szintén kiemeli, hogy az állattenyésztési, ezen belül a juhtenyésztési ágazatot az ÜHG-kibocsátással kapcsolatosan ért támadásokat a jövő kihívásaiként kell kezelni. Véleménye szerint az, hogy hazánkban a juhágazatból származó ÜHG kevesebb, mint 1%, valamint a CH_4 kibocsátás 2,5%-ra tehető, nem ad okot kirívó mértékben az ágazat felelőssé tételére, környezethatás szempontjából ezek az értékek elfogadhatók. Ezzel párhuzamosan ugyanakkor kiemeli, hogy minden lehetőséget meg kell keresnünk és alkalmaznunk kell, amellyel segíthetjük a környezetszennyezés és az üvegház-hatású gázok kibocsátásának csökkentését.

A mezőgazdasághoz köthető savasodást okozó gázok közül a legjelentősebb az ammónia, mely több mint 90%-ban ebből az ágazatból származik (http7, 2023).

Az agrárágazaton belül az ammónia elsősorban az intenzív állattartás, azon belül is a trágyakezelés és -tárolás, valamint a szerves trágya kijuttatása során kerül a légkörbe. Ezeken túlmenően a karbamidtartalmú műtrágyák használata járul hozzá az ammóniakibocsátáshoz, amely a takarmánytermesztésen keresztül kapcsolható az állattenyésztéshez (http5, 2023).

Magyarországon napjainkra az ammóniakibocsátás az 1990-es szinthez képest 45%-kal, a 2005-ös szinthez képest pedig 5%-kal csökkent (1. ábra). Ezt a csökkenést elsősorban a sertés és a baromfiágazat visszaesése okozta, az állomány létszámának, illetve ennek következtében a szerves trágya termelés csökkenése által. A jelentős visszaesés oka a rendszerváltásra és a 2008-as gazdasági válságra vezethető vissza. A kibocsátás 2012-ben érte el a legalacsonyabb szintet, ezt követően enyhe növekedés történt, az utóbbi néhány évben pedig stagnálás tapasztalható. A kibocsátás csökkenése kismértékben a környezetbarátabb trágyatárolási és -kijuttatási módok szélesebb körű alkalmazásának is köszönhető. (http5, 2023).

1. ábra Mezőgazdasági tevékenységből származó NH₃ kibocsátás. Magyarország (1990-2019) (http5, 2023)

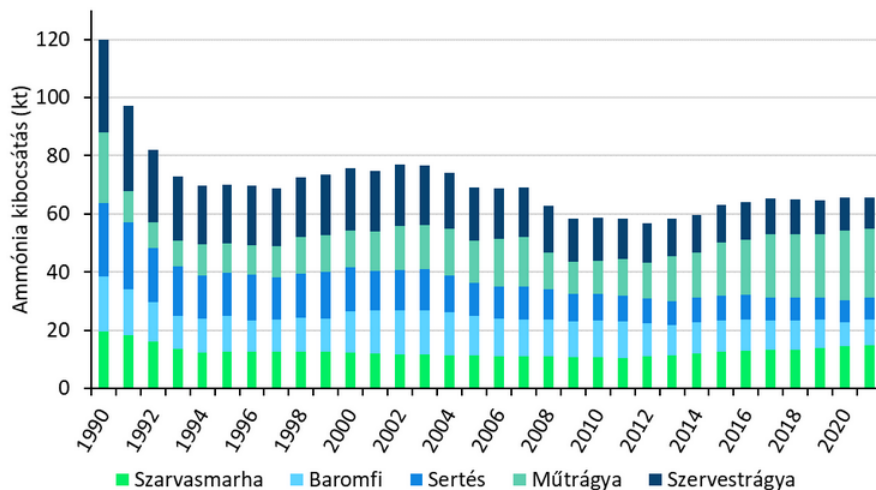


Az állattenyésztési ágazat ammónia kibocsátása főként a trágyakezelésből és a takarmánytermesztéshez kapcsolódó műtrágyahasználatból származik. A 1990-es évek elején az állatlétszám csökkenése következtében jelentősen lecsökkent a kibocsátás, majd 2013-tól az állatok számával együtt újra növekedésnek indult (2. ábra) (http3, 2017)

A HungaroMet oldalán közzétett adatok szerint 2021-ben a mezőgazdasági ammóniakibocsátás legjelentősebb forrása a műtrágyahasználat volt, mely az összes kibocsátás 34%-át jelenti. A második a szarvasmarhatartás 21%-kal, melyet harmadikként a 16%-ot képviselő szervestrágyahasználat követ. Negyedik helyen áll 13%-kal a baromfitartás, ötödik 11%-os

értékkel a sertéstartás, hatodik 4%-kal az egyéb állattartás, beleértve a juhtartást is, hetedik a 3%-os legeltetés, a tarlóégetés pedig elenyésző, nem éri el az 1%-ot sem (http5, 2023).

2. ábra: A mezőgazdasági eredetű NH₃ kibocsátás fő forrásainak trendje 1990-2021 (http5, 2023)



A nitrogén-oxidok (NO_x) légkörbe jutásáért elsősorban a közlekedés felelős, azonban ahogy javul a járművek károsanyag kibocsátása, aránylag egyre nagyobbá válik a mezőgazdaság szerepe ezen légszennyező anyag tekintetében. Az NVMOC mezőgazdasági eredetű kibocsátásának nagy részét az erjesztett takarmányok etetése teszi ki. A tárolás, és az etetés folyamán, illetve az állatok trágyájában megjelenve is kifejti szennyező hatását (http5, 2023).

6. ÜHG ÉS LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK EMISSZIÓJÁNAK BECSLÉSE KÜLÖNBÖZŐ SZINTEKEN

6.1. Országos szintű kibocsátás becslés - Üvegházhatású gázok kibocsátási nemzeti leltára

Magyarország az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény (UNFCCC) részes feleként, évről évre elkészíti az üvegházhatású gázok kibocsátási leltárát nemzeti szintre vetítve, amely az emberi tevékenységekkel összefüggő kibocsátásokat és elnyeléseket veszi számba, elsősorban a Kiotói Jegyzőkönyv által felsorolt üvegházhatású gázokra vonatkozóan. A leltár készítéséhez az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) által kidolgozott módszertant veszi alapul. Hazánkban a nemzeti kibocsátási leltárak készítését jelenleg az Országos Meteorológiai Szolgálat végzi, az elkészült leltárakat, valamint a leltár alapján készített jelentését (National Inventory Report) benyújtja az ENSZ számára. A leltár minőségét a hazai és nemzetközi szakértők rendszeresen ellenőrzik (Piecza, 2019; Lovas, 2018)

A leltárban vizsgált szektorok a következők: energia, ipar, mezőgazdaság, hulladék, valamint a földhasználat, földhasználat-változás és erdészet.

A mezőgazdaság legjelentősebb kibocsátott üvegházhatású gázai a CH₄ és az N₂O. Bár a karbonáttartalmú anyagokból származó CO₂-kibocsátás is szerepel a mezőgazdasági ágazatban, ezek a kibocsátások a nem CO₂-kibocsátásokhoz képest kevésbé jelentősek. A mezőgazdasági termeléshez kapcsolódó egyéb CO₂-kibocsátásokat, mint a mezőgazdasági tevékenységek energiafogyasztását (hőtermelés, mezőgazdasági járművek és gépek) az energia szektorban, míg a mezőgazdasági talajokból származó CO₂-kibocsátásokat a földhasználat-változás és erdészet szektorban számolják el (NIR, 2023)

A leltár elkészítéséhez különböző bonyolultságú emisszió számítási módszerek és emissziós faktorok állnak rendelkezésre. Az egyszerűsített modellben (TIER1) az adott emberi tevékenység mértékét számszerűsítik, majd ezt szorozzák az adott tevékenységre eső egységnyi kibocsátással. A fejlettebb modellben (TIER2) már lehetőség van figyelembe venni a technológiai fejlődést, annak elterjedtségét és időbeli alakulását is. Mindebből adódik, ha egy adott szektorról, vagy annak részéről kevés információnk van, az emissziós leltár átlagos körülményeket feltételezve, könnyen hozzáférhető statisztikai információk alapján készül, de ahogy több információ áll rendelkezésre, ez tovább finomítható (pl.: országspecifikus információk), részletesebb adatok felhasználásával és részletesebb számítások végzésével. A

legfejlettebb módszertanban (TIER3) már létesítmény adatok is szerepelnek ezekre épülő modellekkel (Piecza, 2019; Lovas, 2018).

Ahhoz, hogy gazdaság, régió, vagy ország szinten becsülni tudjuk az állományunk ÜHG kibocsátását, tudnunk kell az adott állatfajunkra (vagy fajon belüli termelési kategóriára) jellemző kibocsátási értékeket, továbbá azt, hogy ezt az értéket milyen tényezők befolyásolják, mekkora állománnyal gazdálkodunk országos szinten, és milyen mértékben állnak rendelkezésünkre információk az adott állatfajról és termelési környezetéről.

6.1.1. Juh ágazat hozzájárulása a hazai ÜHG kibocsátáshoz

A nemzeti leltárban a juh-ágazat üvegház hatású gáz kibocsátását a mezőgazdaság szektorban számolják el (CRF sector 3). Alapvetően - ahogyan az a leltárjelentésből is kiolvasható - a kérődzők esetén emésztésből és trágyakezelésből származó ÜHG-kibocsátásról beszélhettünk: *3.A. gazdasági állatok emésztésből eredő kibocsátása (CH_4) és 3.B trágyakezelésből eredő kibocsátás (CH_4 és N_2O)* (NIR, 2023). Mivel kérődzők esetében ebből a két forráskategóriából jelentős kibocsátás származik, így alapvető elv, hogy törekedni kell a minél magasabb módszertani szintű megközelítések alkalmazására (Tóth, 2024).

6.1.2. Juhok emésztésből származó üvegház hatású gáz kibocsátása (Emissziós leltár)

A juhok bendőfermentációjából származó üvegházhatású gázkibocsátás esetében tehát a CH_4 -emisszió egy részét számolja el. A számolás elve nagy vonalakban az, hogy az országban lévő juhállomány létszámát szorozzuk egy adott emissziós faktoral.

Az emésztésből származó metántermelés regionális, nemzeti és globális szintű becslései olyan kisléptékű vizsgálatok eredményein alapulnak, amelyek egyrészt meghatározzák azt az energiahányadot, amelyet az állati szervezet a takarmány bruttó energiájából a metántermelésre fordít – ez a metán konverziós faktor - másrészt a takarmány és az állatok jellemzőinek erre a konverziós faktorra gyakorolt hatását. A metán konverziós faktor mérésének hagyományos módszerei közé tartozik az egyedi mérésekre alkalmas respirációs kamrákban végrehajtott kaloriméteres meghatározás (Johnson és Johnson, 1995). Az SF_6 -ot használó nyomjelző technika lehetővé teszi az egyes állatok metánkibocsátásának becslését mind istállózott, mind legeltetési tartás mellett (Johnson és mtsai., 1994). A mérések eredményeit Lassey (2007) elemezte, aki az ezen mérések nemzeti és globális leltárakra történő „átszámításával” is foglalkozik.

Hazánk esetében az állatállomány adatokat a KSH bocsátja a leltár rendelkezésére, amely adatokból meghatározott metodika szerint éves állományátlagot számolnak. A legutóbbi leltárban feldolgozott 2021-es adatok alapján ez a juhok esetében 936,9 ezer egyed volt.

A tejelő szarvasmarha és a nem tejelő egyéb szarvasmarha kategóriák esetében igen részletes, a termeléssel összefüggő adatbázis áll rendelkezésre, így esetükben az emissziós faktor megállapítása TIER2 szinten megvalósítható. Ezen a két kategórián kívül más fontosabb gazdasági állat kategóriát illetően nem áll rendelkezésre olyan mértékű részletes információ, amelyből ezen a szinten lehetne emissziós faktort kalkulálni. Ez a helyzet áll fenn a juhokra vonatkozóan is, így esetükben is TIER1-es szintű meghatározást alkalmaznak az emésztésből származó emissziós faktor meghatározásakor, amelynek az előzőekben ismertetett fő jellemzője, hogy nem országspecifikus, és nem vesz figyelembe termelési típusokra, fajtákra, tartástechnológiára stb. vonatkozó jellemzőket. Hazánk ÜHG emissziós leltárának elkészítéséhez használt emissziós faktort az IPCC 2006. évi iránymutatásában találjuk: juhoknál 8 kg emésztésből eredő CH₄ kibocsátással számol egyedenként (NIR, 2023; IPCC, 2006) a modellekben takarmány energiaértékkel és metán konverziós faktorról nem számol (1. táblázat).

1. táblázat: Az emésztésből származó ÜHG kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében, Magyarország, 2023 (NIR, 2023; CRF 2023)

ÜHG Forrás-kategória	Állományadatok és egyéb információk			Emissziós faktor CH ₄
	Állomány nagyság (1000 db)	Átlagos bruttó energiabevitel (BE) (MJ/egyed/nap)	átlagos CH ₄ konverziós ráta (Y _m) (%)	(kg CH ₄ /egyed/év)
Juh	936,85			8,00

6.1.3. Juhok trágyakezeléséből származó üvegház hatású gáz kibocsátása (Emissziós leltár)

Gazdasági állataink trágyája jelentős forrása a légkörbe emittálódó metánnak és dinitrogén-oxidnak. Hogy mennyi szennyező gáz keletkezik ezen forrásból, az függ a trágyakezelés és -felhasználás körülményeitől, valamint a kibocsátott ürülék összetételétől. A leltárban a CRF 3.B kategória a trágya tárolása és kezelése során a talajra történő kijuttatás előtt keletkező közvetlen és közvetett kibocsátásokat foglalja magában.

Ennél a forráskategóriánál már a juhok esetében is van lehetőség magasabb módszertani szint alkalmazására, mivel a NÉBIH Nitrát adatszolgáltatásából ismertek a hazai juhtartásra jellemző

tartástechnológiák. Ez esetben a CH₄ emissziós faktort a tartástechnológia (vagy trágyakezelési mód) figyelembevétele mellett a IPCC 2006-os ajánlásban szereplő értékekkel számítják a leltárban évről évre.

A felhasznált adatforrások sok esetben nem a trágyatárolás, hanem az állattartás módjáról tartalmaznak információkat, ezért további mennyiségi információkra volt szükség az állattartási és trágyakezelési rendszerek közötti kapcsolat meghatározásához (NIR, 2023). A további információkat Mészáros (2005), valamint Pazsiczky et. al. (2006) tanulmányainak eredményeiből vonták be a kalkulációhoz. A juhokra és kecskékre vonatkozó adatokat Borka et al. (2010) felmérésével frissítették.

A Nitrát adatbázisból bevont adatokból az látható, hogy a hazai juhállomány esetében a tartásmódok között közel fele-fele arányban az almos istállózott tartás (55,26%) és a legeltetés (44,71%) részesedik (2. táblázat).

2. táblázat: A trágyakezelésből származó N₂O kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében –, Magyarország, 2023 (NIR, 2023; CRF 2023)

	Egyedszám ezer db	Jellemző élő súly (kg)	N kiválasztás (kg N/egyed/év)	Tartásmód arány %		Összes N kiválasztás (kg/egyed/év)	emissziós faktor/egyed (közvetlen) (kg/egyed/év)
				Almos istállózott	Legelő és kifutó		
hűvös regionális klíma	936,85	48,50	16	55,29	44,71	14926128,41	0,07
Metán konverziós faktor				2	1		

Az ország specifikus emissziós faktorok kidolgozásához első lépésként az állatok által kiválasztott illékony szilárd anyag (volatile solids, VS) adatok (azaz az állati trágyában lévő szerves anyag becsült mennyisége) felhasználásával meghatározták a trágyatárolási rendszernek megfelelő súlyozott átlagos metán konverziós faktort. A CH₄ emissziós faktor függ az állattartási kategória maximális metántermelő kapacitásától (B0) is. (NIR, 2023; CRF, 2023). Az trágyakezelésből származó, juhtartásra jellemző CH₄ emisszió becsléséhez felhasznált adatokat a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A trágyakezelésből származó CH₄ kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében, Magyarország, 2023 (NIR, 2023; CRF 2023)

jellemző testtömeg	Állományadatok és egyéb információk			alkalmazott emissziós faktor CH ₄
	régió klíma	Átlagos illékony szárazanyag kiválasztás (VS) (kg szá/egyed/nap)	Átlagos metántermelő kapacitás (B0) (m ³ CH ₄ /kg VS)	(kg CH ₄ /egyed/év)
48 kg	hűvös	0,40	0,19	0,29

Hűvös klimatikus tényezők mellett egy átlagosan 48 kg élősúlyú juh egyed naponta 0,4 kg illékony szárazanyagot bocsát ki, és évente 0,29 kg CH₄ emisszió forrása.

Fontosnak tartom még megjegyezni a CRF (2023) táblázatában található nitrogén emisszió adatsorát, amely éves szinten, tartásmódra bontva összegzi a juhok N kibocsátását (4. táblázat)

4. táblázat: Juhok éves N kibocsátása, tartásmód szerint, Magyarország, 2021 (CRF,2023 alapján)

állomány létszám (1000 db)	Nitrogén kibocsátás az adott trágyakezelés mellett (kg N/év)		Összes N kiválasztás (kg/egyed/év)
	Almos istállózó	Legelő és kifutó	
936,85	8251947,80	6674180,61	14926128,41

A leltárban a N₂O kibocsátás számítása esetén szintén az IPCC 2006-os ajánlás a mérvadó, ahol is a jellemző élőtömeget testtömeget 48,5 kg veszik alapul (5. táblázat).

5. táblázat: Juhtartás trágyakezeléséből származó éves N₂O emisszió becslésének alapadatai, Magyarország, 2021 (CRF,2023 alapján)

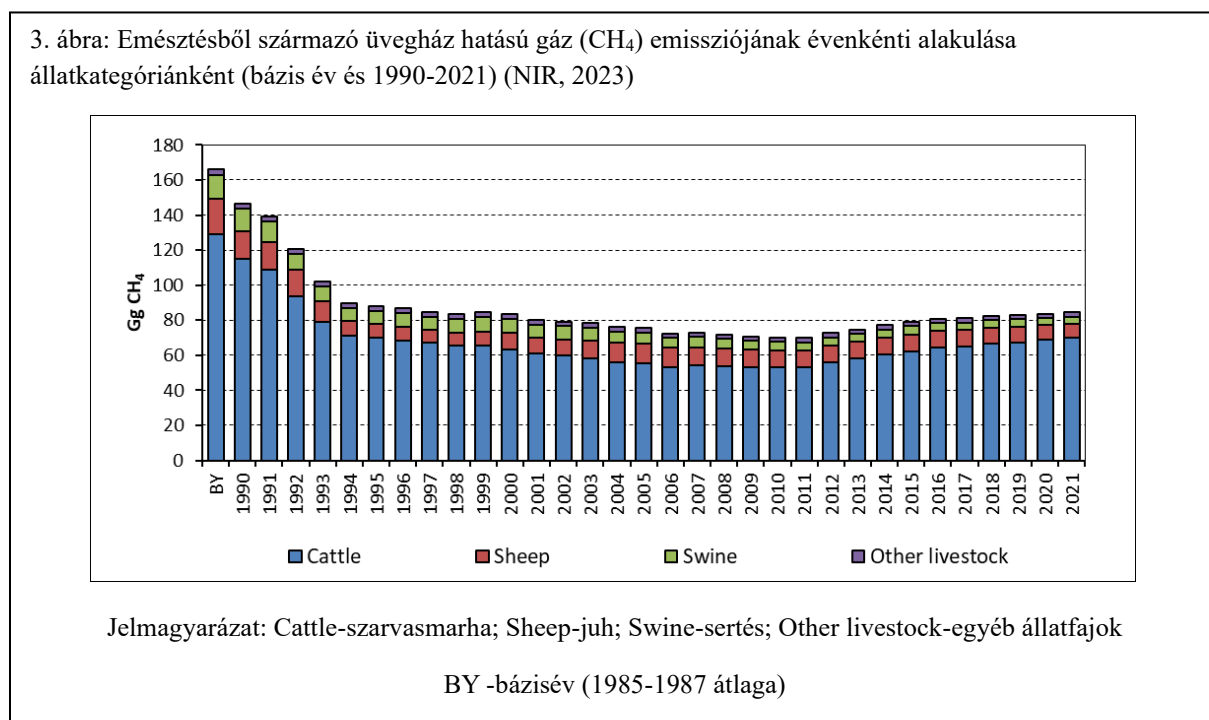
Jellemző élősúly (kg)	állomány létszám (1000 db)	N exkréciós ráta (kg N/ egyed/év)	NO ₂ emissziós faktor/egyed (közvetlen) (kg/egyed/év)
48,50	936,85	15,93	0,07

6.1.4. Állattartásból származó üvegházhatású gáz kibocsátás Magyarországon (2021)- eredmények

A fenti értékek felhasználásával az üvegházhatású gázok leltára 2021-re az alábbi emissziókat becsülte hazánk vonatkozásában (6. táblázat)

6. Juhattartásból származó ÜHG kibocsátás, Magyarország, 2021,(NIR, 2023 és CRF.2023 alapján)						
ÜHG Forrás-kategória	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC
	(kt)					
Mezőgazdaság összesen	236,24	112,23	14,43	23,15	0,00	28,19
Állattenyésztés összesen		111,49	1,45			24,72
Emésztésből származó emisszió		84,43				
ebből juhtartásra eső		7,49				
Trágyakezelésből származó emisszió		27,06	1,45			24,72
ebből juhtartásra eső		0,27	0,06			0,20
5. Indirekt N ₂ O emisszió			0,45			

Az 3. ábra az egyes állat kategóriák emésztésből származó ÜHG emissziójának leltár szerinti becslését szemlélteti idősorosan, állattartási kategóriák szerint.



A kibocsátás a bázis évben (1985, 1986 és 1987 átlaga) 166 Gg (kt) volt, mely 49,2%-kal 84 Gg-ra csökkent 2021-re. A csökkenő trendet elsősorban a szarvasmarha állomány (tejhasznú) létszámában történő változás határozza meg annak volumene miatt, hiszen pl. 2021-ben az

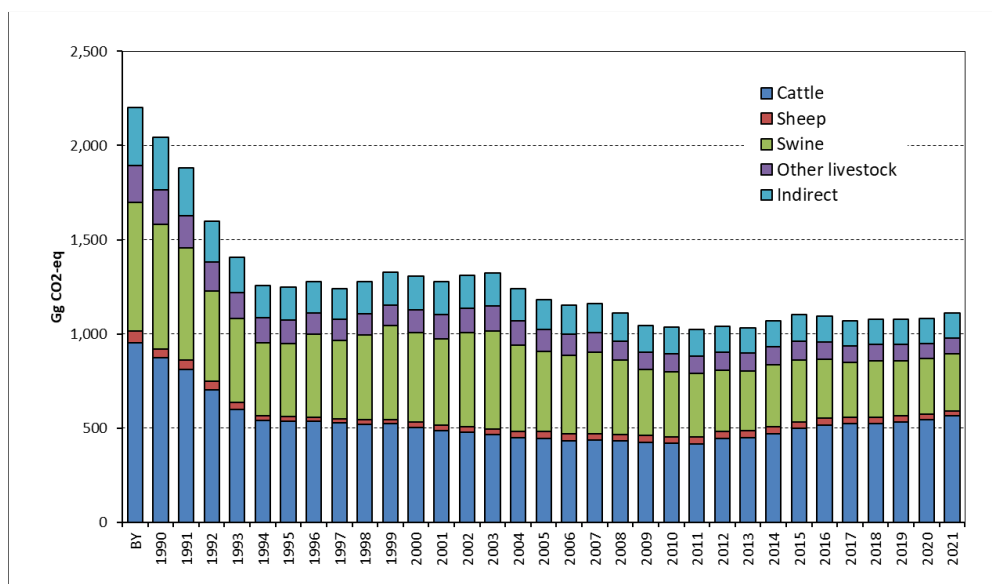
állatállomány emésztésből származó emisszió értékéhez a szarvasmarha állomány bendőfermentációjából származó ÜHG a kibocsátás 83%-ban járult hozzá.

A csökkenés nagy része 1985 és 1994 között következett be, amikor Magyarországon a mezőgazdasági termelésben példátlan mértékű visszaesés történt, ami az állatállomány drámai csökkenéséhez vezetett.

Az állatállomány folyamatos csökkenése ellenére a kibocsátás az 1995 és 2000 közötti években stagnált, mivel a tehenek javuló termelékenysége ellensúlyozta a csökkenő szarvasmarha-állomány hatását. A 2000 és 2010 közötti időszakban a kibocsátások ismét enyhén csökkentek, és 2010-ben érték el a legalacsonyabb szintet. Ez a csökkenés a szarvasmarha-állomány további csökkenését tükrözi, majd a szarvasmarha-állomány és a tejtermelés enyhe növekedését követően 2011 óta a kibocsátások ismét növekedni kezdtek (NIR, 2023).

Az 4. ábra az egyes állat kategóriák tartástechnológiájából és trágyakezeléséből származó ÜHG (CH_4 és N_2O) emissziójának leltár szerinti becslését szemlélteti idősorosan, állattartási kategóriák szerint.

4. ábra: Állattartásból és trágyakezelésből származó üvegház hatású gáz (CH_4 és N_2O) emissziójának évenkénti alakulása állatkategóriánként (bázis év és 1990-2021) (NIR, 2023)



Jelmagyarázat: Cattle-szarvasmarha; Sheep-juh; Swine-sertés; Other livestock-egyéb állatfajok; Indirect-indirekt emisszió

BY -bázisév (1985-1987 átlaga)

A trágyakezelésből származó ÜHG emisszió a bázisév óta felére csökkent. A ammónia- és a dinitrogén-oxid-kibocsátást külön-külön vizsgálva, azok sorrendben 47%, illetve 53%-kal csökkentek a leltáridőszakban. Mivel a kibocsátások nagy része a szarvasmarha- és sertéstartásból származik (2021-ben a trágyakezelésből származó teljes ÜHG-kibocsátás 51%-a, illetve 27%-a) a mélyalmos és a hígtrágya jelentős részaránya miatt, úgy a kibocsátások ezen állatkategóriák állománylétszámának változásait követi.

A bázisévet követően a kibocsátások jelentős csökkenése a sertés- és szarvasmarha-állomány létszámának 1985 és 1994 közötti visszaesését tükrözi. Az 1995-2003 közötti időszakban a kibocsátások éves szinten a sertésállomány létszámának éves változásait követve bizonyos mértékben ingadoztak, majd az állomány létszámának csökkenése miatt 2004 és 2010 közötti időszakban a kibocsátások ismét csökkentek. 2011 óta a trágyakezelésből származó kibocsátás kissé nőtt, melynek hátterében a nem tejelő szarvasmarha-állomány növekedése áll.

A kimosódásból származó közvetett N_2O -kibocsátás az idősorok során folyamatosan csökkent, amely az állatállomány létszámának csökkenését és a trágyatárolás során a nitrát kimosódását csökkentő intézkedések hatását tükrözi.

6.1.5. Juhtartásból származó üvegházhatású gáz kibocsátás Magyarországon (2021)-eredmények

A juhok általi emisszió értéke bármennyire is elenyészőnek tűnik a fő forráskategóriában, a leltár minden esetben tartalmaz minden emissziót, amit adott módszertannal becsülni lehet (Tóth, 2024).

A juhtartásból származó ÜHG kibocsátás leltár szerint becsült értékei a következőképpen alakultak 2021-ben: Az emésztéséből származó metán-kibocsátás 7,49 Gg volt (209,85 kt CO_2 -eq). A trágyakezelés 0,27 kt metán-emissziót valamint 0,085 kt dinitrogén-oxid emissziót eredményezett (ebből 0,06 kt/év a direkt N_2O kibocsátás).

Így összesen a hazai juh állománynak 2021-ben a két forráskategóriából 209,85+30,07 kt CO_2 -eq./év volt az ÜHG-kibocsátása. (CO_2 -eq átszámítás esetén a leltár a jelenleg érvényes GWP szerint kalkulál: $CO_2\text{-eq} = CH_4 \cdot 28 + N_2O \cdot 265 + CO_2$) (NIR,2023; Tóth, 2024)

6.2. Gazdaságszintű ÜHG kibocsátás becslés

Amint azt Samsonstuen et al. (2019) megállapította, a jövőbeni állattenyésztésnek a kibocsátási intenzitás – úgymint pl. egy termékegység előállításából származó ÜHG-kibocsátás – jelentős

mértékű csökkentésére kell összpontosítani. Az emisszió intenzitásának csökkentése érdekében a kibocsátás-csökkentési intézkedéseket a gazdaságok szintjén kell végrehajtani, és magának a csökkentés hatékonyságának értékeléséhez egész gazdaságokra kiterjedő modellekre van szükség. A teljes gazdaságra kiterjedő modellek segítségével meg lehet becsülni a különböző mezőgazdasági tevékenységekből - közvetlen és közvetett forrásokból - származó üvegházhatásúgáz-kibocsátást, és betekintést lehet nyerni a csökkentési stratégiák végrehajtásának hatásaiba (Crosson et al., 2011).

Ezek a gazdaság szintű modellek vagy rendszer-elemzési - mérleg elvű - modellek, vagy életciklus-értékelési (LCA) modellek kategóriájába sorolhatók (Crosson et al., 2011). Bár a két megközelítés számos hasonlóságot mutat egymással, azonban a rendszerhatárokból különbségek vannak. Az életciklus-értékelési modellek a környezeti hatásokat a termék, vagy szolgáltatás életciklusának teljes időtartamára számítják ki, míg ezzel szemben a rendszerelemzési modellek a kibocsátásokat gyakran csak addig veszik figyelembe, amíg a termék el nem hagyja a gazdaságot (Crosson et al., 2011; McClelland et al., 2018).

A rendszerelemzési, vagy farm ÜHG mérleg modellek a különböző ÜHG-források közötti kölcsönhatásokat és azok egymással ellentétes irányú hatásait is figyelembe veszik, ezért ezek a modellek a gazdaság teljes ÜHG-kibocsátásának becslésére hatékony eszköznek bizonyulnak. Ezek a farm ÜHG mérleg modellek általában az IPCC (IPCC, 2006, 2019) módszertanán alapulnak, a kalkulációk az adott termelési és környezeti feltételek szerint finomíthatóak, valamint az eredmények helyi, regionális vagy nemzeti szinten számíthatók és értelmezhetők (Samsonstuen et al., 2019). Segítséget nyújthatnak a kibocsátás-csökkentési stratégiák hatékonyságának gazdaság-szintű értékeléséhez, továbbá ahhoz, hogy az emisszió-csökkentési stratégiákat adott gazdasághoz vagy termelési rendszerhez igazítsuk (Schils et al., 2005).

A fentiekből kiindulva tehát az IPCC 1996-2006 között javasolt módszertani útmutató szerint az állattartó gazdaságok ÜHG kibocsátásába kizárólag az állattartó gazdaságokban keletkezett ÜHG gázok CO₂E értéket kell figyelembe venni, az inputanyagok gyártása, szállítása, a mezőgazdasági gépek működése, épületek energiafogyasztása során keletkező CO₂E kibocsátást más szektoroknál kell elszámolni (IPCC, 2019).

Az életciklus-elemzés ezzel szemben tartalmazza a mezőgazdaság közvetett kibocsátását is az inputanyagokon és más, az élelmiszerláncban belül felhasznált anyagokon keresztül (FAO, 2006). Az LCA modellek az üvegházhatású gázok kibocsátásán túl további hatáskategóriákat is tartalmazhatnak (pl. savasodás, eutrofizáció, biodiverzitás), bár az állati termékek esetében túlnyomórészt olyan „egyszerűsített LCA” modelleket alkalmaznak, amelyek csupán pár (1-3)

hatáskategóriára összpontosítanak (McClelland et al., 2018). Az LCA modellek igazodnak a hivatalos ISO-szabványhoz (ISO, 2006).

Az állattenyésztő üzemek ÜHG emisszióját tehát különböző szempontok szerint vizsgálhatjuk (pl. farm ÜHG mérleg, életciklus elemzés), és a kibocsátás mértékét is sokszor eltérő egységekben kaphatjuk meg (pl. egységnyi termőföldre vonatkozó kibocsátás, állategységre vonatkozó kibocsátás, egységnyi állati termékre vonatkozó kibocsátás (Schils et al., 2007).

Répás (2022) gondolatmenete azonban jól rávilágít, hogy az egyes eredmények összehasonlítása és megítélése során miért fontos, hogy tisztában legyünk az ÜHG elemzés módszertanával. Véleménye szerint a mérleg modell segítségével egy üzem klimatikus hatásáról csak közelítő adatokat kaphatunk, azonban semmiféle támpontot nem nyújt arról, hogy egy adott termék elkészítése összességében milyen klimatikus hatással jár. Ezen számítási mód meglehetősen ellentmondásos eredményekre vezethet, ha különböző típusú mezőgazdasági üzemeket próbálunk meg összehasonlítani. Egy nagyméretű, intenzív állattartó telep rengeteg inputanyagot (vásárolt takarmány, gázolaj stb.) vásárol, továbbá a nyers állati termékeket vagy élő állatokat a telepről feldolgozás céljából nagyipari üzemekbe szállítják el. Az IPCC 1996-2006 között javasolt módszertana a fent felsorolt termékek és tevékenységek ÜHG kibocsátását mind figyelmen kívül hagyja. Ezzel szemben egy egészen kisméretű tanyasi gazdaság szinte minden takarmányát maga állítja elő, nagyon kevés inputanyagot vásárol és termékeit legtöbbször közvetlenül értékesíti a végső fogyasztónak. A fentieket tekintve a tanyasi gazdaság tevékenysége sokkal komplexebb, és szinte az egész termékpályát lefedi. Így tehát, ha kizárólag az állattartó gazdaságon belül keletkezett ÜHG kibocsátást vesszük számításba, ezen elvek mentén úgy tűnik, mintha a tanyasi gazdálkodás több ÜHG kibocsátással járna, mint az intenzív állattartó telepek működése.

A példáján túlmenően azonban az LCA korlátaira is felhívja a figyelmet: az LCA segítségével elsősorban egyszerű termékpályák esetében kalkulálhatjuk, hogy egy adott állati eredetű termék előállítása összességében mennyi ÜHG kibocsátással járt. Egyszerű termékpályákkal azonban ritkán találkozunk, legtöbbször egy haszonállat élelemiszerré és más állati eredetű termékekké való feldolgozása során számtalan különböző termék keletkezik, továbbá egy termék több állatfaj felhasználásával készülhet. Az ilyen összetett termékek esetében nem tudjuk elosztani a termelési folyamatok teljes ÜHG kibocsátását a termékek között Répás (2022).

7. A LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK KIBOCSÁTÁSÁNAK CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGEI A JUHTARTÁSBAN

A juhok által kibocsátott ÜHG és ammónia mennyiségének csökkentésére számtalan lehetőség áll rendelkezésre a termelési folyamat egyes fázisaiban. Az intenzív termelésre alkalmas fajták megválasztása, illetve a tudatos tenyésztői munka, a megfelelő takarmányozás és a megfelelő tartástechnológia alkalmazása mind hozzájárulhatnak a szennyezés mérsékléséhez.

A metán kibocsátás csökkentése történhet közvetlenül, tehát a bendőben termelődő gázok mennyiségét csökkentve, illetve közvetetten, a fajták és a tartástechnológia megváltoztatásával. A takarmányozás terén két csoportba lehet sorolni a módszereket: a takarmányok összetételének módosítása és az adalékanyagok hozzáadása (Hristov, 2024). Az emészthetőség növelése alacsonyabb metánkibocsátással hozható összefüggésbe, ezen túlmenően a bendőmikrobák számára kevésbé fermentálható takarmányok etetése szintén segíthet. További megoldást jelenthetnek a bendő pH-ját csökkentő anyagokat tartalmazó takarmányok is (pl. silókukorica szilázs), hiszen az alacsonyabb pH kevésbé kedvez ezen baktériumok működésének és ezáltal a fermentációnak. A jó minőségű szilázsok etetése, magasabb szárazanyag-bevitelt eredményez, alacsonyabb metán-kibocsátás mellett, a gyengébb minőségűekkel összehasonlítva (Åby et al. 2023). A pillangósnövények (különösen a meleg éghajlaton honos fajaik) etetése, magas tannintartalmuk miatt kevesebb metán termelődését eredményezi a pázsitfűfélékhez képest (Marino et al. 2016).

A takarmány-kiegészítők közül a lipidekről elmondható, hogy csökkentik a mikrobák aktivitását és a metán képződést. A középhosszú láncú növényi zsírsavak, pl. a kókuszolaj szintén hatékonyak bizonyultak a bendőfermentáció csökkentésében, akárcsak a telítetlen zsírsavak. Egyes növények másodlagos anyagcseretermékei, így a már fentebb említett tanninok, valamint a szaponinok és az esszenciális olajok ígéretesnek mutatkoztak a metánképződés visszafogásában. Ez részben a metanogénekre kifejtett közvetlen hatásuknak, részben a protozoák aktivitását korlátozó hatásuknak tudható be (Marino et al. 2016).

Szintén a takarmányozáshoz kapcsolódó megoldási lehetőséget jelent a bendőfermentációt csökkentő adalékanyagok használata. Egyes antibiotikumok, (pl. a monensin) metánképződést csökkentő hatása régóta ismert, azonban a fogyasztói elvárások éppen az antibiotikum-használat csökkentésének irányába mutatnak, így várhatóan ez nem lesz elterjedt gyakorlat a jövőben. A sütőélesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) takarmányba keverése régóta bevett gyakorlatnak számít az emésztést segítő hatása miatt, ugyanakkor nem áll rendelkezésre

egyértelmű bizonyíték a metánképződést csökkentő hatásáról. Ezeken túlmenően számtalan szintetikus hatóanyag rendelkezik anti-metanogén hatással, azonban az antibiotikumokhoz hasonlóan ezek alkalmazása is ellenérzéseket válthat ki a fogyasztókból (Marino et al. 2016).

A trágyakezelés terén napjainkban ugyan még nem megoldott, de a jövőben működőképes csökkentési módszerré válhat a metán elszívása és energetikai hasznosítása, komposztálásban vagy biogáz termelésben történő felhasználása, illetve a trágya érlelésének befolyásolása. A fedett trágyatárolók alkalmazása pedig már jelenleg is megoldható. Természetesen a korszerű trágyakezelés megvalósítás költségekkal jár, így szükséges lehet a környezetvédelmi támogatásokba belevonni ezeket, hogy ezen módszerek széles körben elterjedtté válhassanak a kiskérődző ágazatban (Jávor, 2022).

Hazánk 2023-2027-es KAP Stratégiai Terve szükségletként fogalmazza meg a mezőgazdasági eredetű (90%-ban az állati trágyából származó) ammónia-emisszió csökkentését. Ennek megoldásaként a trágyakezelési és kijuttatási eljárásokat, teljes nitrogén-körforgás menedzsmentet, a szerves trágya használatának ösztönzését a karbamid típusú műtrágyák kiváltását alacsony fehérjetartalmú takarmányozási rendszerek bevezetésével, illetve a hígtrágyatárolók fedését és az istállótechnikák fejlesztését sorolja fel (KAP Stratégiai terv, 2023).

A fajtaválasztás szerepe abban nyilvánulhat meg, hogy az intenzív termelésre képes fajták használatával kevesebb lesz az 1 kg termék előállítására jutó emisszió, illetve csökkenthető a veszteség (vetélés, bárányelhullás, gyenge termékenység, egészségügyi problémák). Fajtanként változó lehet a testméret és a bendőméret aránya, a fermentáció ideje és a mikroba-összetétel, amely különböző mértékű emissziót eredményezhet (Aby et al. 2023). Egyedi különbségek mutatkozhatnak azon a téren, hogy az állatok a legeléskor mely növényeket preferálják, valamint további eltérések lehetnek a bendőfermentáció határfoka és a mikrobák aktivitása terén. Amennyiben a fent említett tulajdonságok öröklődnek, akkor lehetőség nyílik ennek megfelelően végezni a szelekciót a tenyészállat utánpótlást illetően, azonban az egyedre jellemző metánemisszióknak igen nagy a variabilitása, valamint az adatgyűjtés sokszor nehezen megismételhető, így még további kutatásokra van szükség, hogy ezek a módszerek kellően megbízhatóvá váljanak (Marino et al. 2016).

A juhtartás kombinálása egyéb mezőgazdasági tevékenységekkel szintén tartogat magában emisszió csökkentési lehetőségeket. Egy észak-írországi kutatás eredménye szerint környezetvédelmi és állattjóléti szempontból is előnyös lehet a juh legelőre fákat telepíteni, ugyanis ezek jelenléte növeli a légkörből kivont szén-dioxid mennyiségét, csökkenti az

ammónia kibocsátást és menedéket jelent az állatoknak a legelőn extrém időjárási körülmények esetére (McAdam, 2023). Egy 2024-es brazil tanulmány, mely egy olajfák és juhok tartásával együttesen foglalkozó gazdaságot vizsgált LCA módszerrel, azt állapította meg, hogy 27,7%-kal csökkent a kibocsátott ÜHG, a különálló termeléshez képest. A szerzők szerint ez annak tudható be, hogy a két tevékenység integrálásával kevesebb földterületen állították elő ugyanazt a termékmennyiséget, amely csökkentette az elvégzendő talajmunkákat, ezáltal az üzemanyag-fogyasztást, a juhoknak köszönhetően ritkábban volt szükség fűnyírásra, a szerves trágya kiváltotta a műtrágyahasználatot, a fák pedig védelmet biztosítottak a juhoknak, a kedvezőtlen időjárási körülmények elől (Guimarães da Silva et al. 2024). Érdekesnek tartom itt felhívni a figyelmet arra, hogy a két tevékenység kölcsönösen kedvező hatással volt egymásra, mely rávilágít, hogy a saját kibocsátásai csökkentésének szükségessége mellett a juhtartás is rendelkezik környezetvédelmi potenciállal.

8. A KÜLÖNBÖZŐ INTENZITÁSÚ TERMELÉSI RENDSZEREK ÜHG KIBOCSÁTÁSA

A juhtartás által okozott környezetszennyezés csökkentésének fontos eleme az egyes termelési rendszerek ÜHG kibocsátása közötti különbségek meghatározása, melyről az elmúlt években számos tanulmány született. Az intenzív tartási és takarmányozási rendszerek jellemzője, hogy szapora fajtákat tartanak, az állatokat istállóban helyezik el és koncentrált takarmányokkal etetik, akár teljesen mellőzve a legeltetést. Ezzel szemben az extenzív rendszerekben közepes vagy alacsony szaporaságú fajtákkal dolgoznak és alapvetően a legelőn tartják az állatokat, akár egész évben, a teljes takarmányszükségletet a legelőfűvel biztosítva. Természetesen a felsorolt különbségek a szennyező anyagok kibocsátásában is megmutatkoznak az egyes rendszerek között.

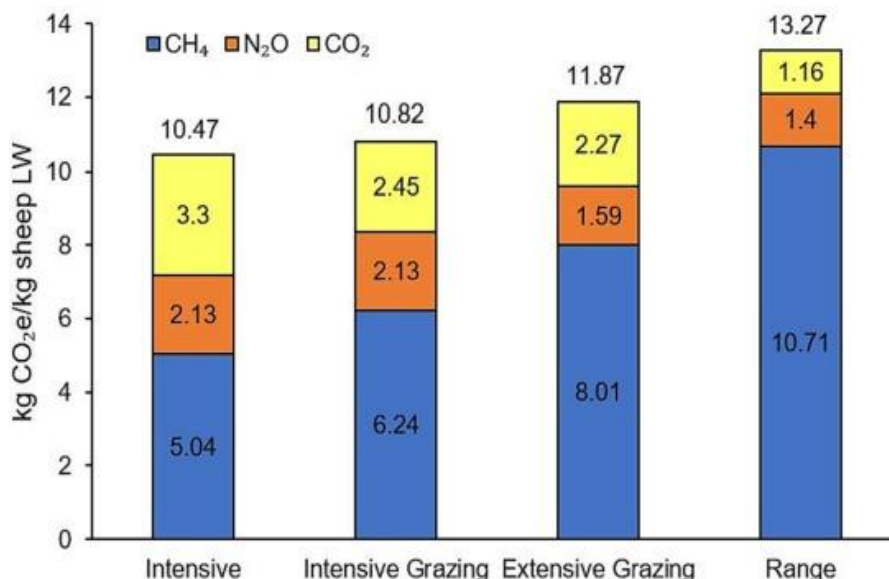
Az Amerikai Egyesült Államokban számos juhtartási és termelési rendszer terjedt el, az intenzív, egész éven át abraktakarmányon alapuló iparszerű tartástól a minimális ráfordítást igénylő vándorló legeltetést folytató külterjes állattartó üzemekig. Recktenwald és Ehrhardt 2024-ben publikált tanulmányának fő célja az volt, hogy számszerűsítsék az üvegházhatású gázok kibocsátásának mennyiségét és varianciáját az amerikai (USA) juhtenyésztésre jellemző különböző termelési rendszerekben, valamint, hogy összehasonlítsák a különböző becslési módszerekkel meghatározott a metántermelés és nitrogénkiválasztás eredményeit.

Tanulmányukban az alábbi négyféle tartási és takarmányozási rendszert és az azokra jellemző genotípusokkal történő termelés kibocsátását elemezték: 1. Intenzív, iparszerű istállózott tartás szapora fajtákkal, 2. Intenzív legelőre alapozott tartás közepesen szapora fajtákkal, 3. Extenzív legelőre alapozott legeltetés, közepesen szapora fajtákkal 4. Extenzív szabadlegeltetés alacsony ráfordítással működő rendszerben, alacsony szaporasági rátával rendelkező genotípusokkal.

A termelés környezetre gyakorolt hatását termelési életciklus-értékeléssel (LCA) elemezték a vizsgálatban résztvevő üzemek termelési adatai alapján. Eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a juhtelep károsanyag-kibocsátásának fő meghatározó tényezői az anyajuhok produktivitása, a tenyésztésbevitel ideje és az utánpótlás aránya.

Mindegyik termelési rendszerben a bendőfermentációból származó CH₄ volt a legnagyobb mennyiségben kibocsátott ÜHG, mely a legextenzívebbtől a legintenzívebb technológia felé haladva jelentősen csökkent. Ugyanakkor az intenzív rendszerek N₂O kibocsátása nagymértékben meghaladta az extenzívékét (Recktenwald és Ehrhardt, 2024) (5. ábra).

5. ábra: A metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O) és a szén-dioxid (CO₂) emissziós intenzitása (CO₂e/kg élő súly) négy különböző juhtartási rendszerben az Amerikai Egyesült Államokban. (Recktenwald és Ehrhardt, 2024)



Jelmagyarázat: Intensive=intenzív; Intensive Grazing=intenzív legelőre alapozott tartás; Extensive Grazing=extenzív legelőre alapozott tartás; Range=extenzív szabadlegeltetés

Eredményeiket azzal magyarázzák, hogy az intenzív termelési rendszerekben kevesebb a bendőfermentációból származó károsgáz-kibocsátás, mert azonos mennyiségű állati termék előállításához, kevesebb állatra van szükség, az extenzív rendszerekhez képest. Ezért a magas genetikai potenciállal rendelkező fajták használata és a termelési rendszerek intenzifikálása hozzájárulhat a kibocsátások csökkentéséhez.

Az intenzív rendszerekben az anyajuhok tenyésztésbevétele hamarabb történik, ami szintén növeli a hatékonyságot, csökkentve ezáltal a kibocsátásokat. CO₂ egyenértékre átszámolva az intenzív rendszerek kibocsátása alacsonyabb, mint az extenzívéké, azonban a CH₄-nál kisebb mennyiségű CO₂ és N₂O kibocsátása az intenzív rendszerekben nagyobb. (Recktenwald és Ehrhardt, 2024) Ugyanakkor az intenzív technológiák alkalmazása jelentős energiafelhasználással, ezáltal CO₂ kibocsátással járhat (pl. az extenzív rendszereknél nagyobb mértékű áramfogyasztás, gépek működtetése, szállítás, stb.)

Hasonló megállapításra jutottak egy Ausztráliában végzett tanulmány készítői (McPhee et al, 2024), akik a különböző intenzitású legelőre alapozott termelési rendszerek ÜHG kibocsátása közötti különbségek mérését és számszerűsítését tűzték ki célul. Eredményeik szerint az intenzívebb rendszerekben nagyobb mennyiségű állati terméket állítottak elő, kevesebb

kibocsátás mellett. A magas produktivitású rendszerekben 16,5%-kal alacsonyabb emissziós intenzitást mértek az alacsony produktivitásúakhoz képest. Kiemelték, hogy a legelőre alapozott termelési rendszerek intenzifikálása hatékony módszer a kibocsátások csökkentésére.

Maradva a legelőre alapozott termékelőállításnál, szintén az intenzív rendszerek környezetbarátabb mivoltát támasztja alá Morgan-Davies és munkatársai 2021-es észak-európai gyepre alapozott tartási rendszereket összehasonlító tanulmánya. A szerzők Skócia, Franciaország, Írország és Norvégia területén található 14 legeltetési tartási rendszer kibocsátási értékeit veti össze. A tanulmányban azt elemzik, hogy milyen hatást gyakorolnak egyes precíziós technológiák (PLF) bevezetése, az anyajuhok teljesítményvizsgálati eredményeinek felhasználása, a mesterséges termékenyítés, valamint a szapora fajták alkalmazása a munkaerő-igényre, a gazdaságosságra és a környezetre.

A PLF technológia ebben az esetben egy elektronikus egyedazonosítóval összekapcsolt automata mérleg használatát jelentette az állománymenedzsment munkákhoz, illetve a nagyobb kezelésekkel egybekötött mérlegelésekhez. A PLF rendszerű telepeken az anyajuhok egyedi teljesítményük alapján kerültek selejtezésre, míg a PLF technológiát nem alkalmazó telepeken 4 ellést követően selejtezték őket.

Az egyes menedzsmentstratégiák karbonlábnyomát a Scotland's Rural College SAC Consulting részlege által kifejlesztett karbonkalkulátor segítségével értékelték (www.agrecalc.com).

Habár a dolgozat témája a juhtartás környezetre gyakorolt hatásának vizsgálata, mégis érdemes a szerzők eredményeit azok komplexitásában elemezni.

A fent említett vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy az extenzív telepekre bevezetett PLF technológia növelte a karbon emisszió intenzitását (CO₂e/előállított hús kg). Ez egy igen érdekes és kevésbé várt eredmény. A szerzők ezt az eredményüket a PLF-technológiát alkalmazó állományoknál az anyajuh-selejtezési, azaz visszatartási stratégiával magyarázzák, mint lehetséges ok, amely szerint az idősebb, nagyobb élősúlyú anyajuhokat tovább tartják termelésben, és ez idő alatt tőlük több, de arányaiban alacsonyabb súlyú bárányt értékesítenek, amely így befolyásolja az állomány által megtermelt vágott test (hús) össztömegét. Ez azonban ellentmondásos, és a kalkulátor torzítása kerülhet előtérbe, hiszen az anyajuhok továbbtartása alacsonyabb pótlási arányt eredményez, ami csökkenti az állomány szénlábnyomát.

Mindemellett a PLF extenzív telepekre történő bevezetése csökkentette az élőmunka igényt és növelte a gazdaságosságot.

A genetikai érték (tenyésztérték) növelése érdekében történő teljesítményvizsgálat bevezetése csökkentette a karbonemissziót, növelte a gazdaságosságot és egyben valamelyest az élőmunkaerő igényt is.

A mesterséges termékenyítés alkalmazása növelte a karbonlábnyomot, növelte a gazdaságosságot, azonban nem hatott az élőmunka-igényre.

A szapora fajták alkalmazása nem növelte jelentős mértékben az élőmunkaigényt, növelte azonban a gazdaságosságot, mindezt úgy, hogy nem növelte az emisszió intenzitását.

Ez a tanulmány az találta, hogy a teljesítmény adatokat nem regisztráló menedzsmenttel szemben a teljesítmény vizsgálati eredményeken alapuló tenyésztéssel a vágott test tömegre vetített emisszió intenzitás csökkenthető (jelen esetben ez 5,6 kg CO₂e/kg előállított hús kg), és ugyanez a tendencia mutatható ki a mesterséges termékenyítés használata esetén is.

Toro-Mujica et al. (2017) mindezt alátámasztják, akik azt a megállapítást tették, hogy az egyedek termelési hatékonyságának növelése (az előállított bárányok számának növelésével – akár teljesítmény-nyilvántartással, akár mesterséges megtermékenyítéssel) megoldást jelent az élősúly- vagy vágott test-kilogrammra vetített emisszió csökkentésére.

Morgan-Davies és munkatársai (2021) eredményeinek fontosságát jelzi, hogy habár esettanulmány szinten, de rámutattak arra, hogy korszerű technológiák bevezetésével, tenyésztési stratégia váltással, egy megfelelő fajtaválasztással növelhető a karbonhatékonyság és a munkaerő hatékonysága a juhtenyésztő gazdaságokban

Az intenzifikálás kedvező hatásaival ellentmondani látszik egy 2022-es tanulmány (Yetişgin et al), amely 10 legelőváltó pásztoroló és 15 félintenzív telepet hasonlított össze Törökországban nyolc különböző kibocsátási érték vizsgálatával, melyek a következők voltak: 1.: a teljes CO₂ kibocsátás, 2.: a teljes CO₂ egyenértékre átszámított CH₄ kibocsátás, 3. a teljes CO₂ egyenértékre átszámított N₂O kibocsátás, 4. az egész farmra vonatkoztatott teljes CO₂ egyenértékben kifejezett ÜHG kibocsátás, 5. a földhasználatból származó nettó kibocsátás, 6. a teljes CO₂ egyenértékben kifejezett kibocsátás 1 kg termékre vetítve, 7. CO₂ egyenértékben kifejezett kibocsátás 1 kg élősúlyra vetítve, 8. juh (kg).

Az eredmények azt mutatták, hogy a földhasználatból származó nettó kibocsátás értéket leszámítva, mindenhol a legelőváltó pásztoroló rendszer kibocsátása volt alacsonyabb, azonban a teljes terület helyett hektárra vetítve már ez az arány is megfordult. Figyelembe kell vennünk azonban, hogy ebben a kutatásban az extenzív technológiával szemben itt nem egy valódi intenzív, hanem egy félintenzív rendszer szerepelt, így az is feltételezhető, hogy az ennél

nagyobb fokú termelési hatékonyság növelés mellett már kedvezőbbek lennének a kibocsátási értékek az extenzív rendszerhez viszonyítva.

Egy 2018-ban, az Egyesült Királyságban végzett kutatás eredményeképp Marsden és munkatársai megállapították, hogy gyepre alapozott tartásban a juhok vizeletéből származó N₂O kibocsátás mértéke az extenzív rendszerekben alacsonyabb, mint az intenzívekben. Természetesen ebben az esetben az eredményeket nagy mértékben befolyásolja az adott talaj típusa, illetve egyéb időjárási és éghajlati tényezők is szerepet játszanak az értékek alakulásában, amire maguk a szerzők is felhívják a figyelmet. Bár ezen adatok az extenzív rendszerek mellett szólnak, legeltetés nélküli, egész évben zárt tartásnál ez a probléma nem merülne fel.

A három különböző spanyolországi rendszert életciklus-értékeléssel (LCA) vizsgáló 2013-ban készített tanulmányában Ripoll-Bosch és munkatársai megmutatták, miért fontos figyelembe venni az extenzív legeltetési rendszerek által nyújtott, az állati termék előállításán túlmutató egyéb ökoszisztéma szolgáltatásokat.

A kutatásukban szereplő extenzív gazdaságban legelőre alapozott állattartás volt téli abrakkiegészítéssel, az évente egyszeri elletés és a laktáció idején a félistálló tartást leszámítva, a juhok szabadon legeltek. A félintenzív rendszerben az állatok naponta legeltek pásztor felügyeletével, éjszaka pedig istállóban voltak elszállásolva, két évente háromszori, sűrített elletést alkalmazva. A gazdaságban növénytermesztést is folytattak, amelyet részben az állatok takarmányozására fordítottak. Az intenzív rendszerre abrak takarmányra alapozott istállózott tartás volt jellemző egész évben, három évenként ötszöri elletés mellett.

A szerzők megjegyzik, hogy általánosan elfogadott, hogy az állati termék előállításban az intenzifikáció hozzájárul a kibocsátás csökkentéséhez. Ezt az állítást támasztják alá az általuk mért egységnyi termékre vetített kibocsátási értékek, amennyiben csak a hústermelést vették figyelembe, azaz az emisszió intenzitása (1 kg termékre vetített ÜHG kibocsátás) a tartás/takarmányozás intenzitásával negatív korrelációban állt. Azonban, amikor az extenzív rendszerek multifunkcionalitást is bevonták az értékelésbe, az arányok megfordultak, hiszen a legextenzívebb rendszerben volt a legalacsonyabb az 1 kg bárány élősúlyra jutó szennyezés.

Érdemes említést tenni a legelő állományok tájmegőrzésben és a természetes gyepék fenntartásában játszott szerepéről, valamint a más mezőgazdasági célra alkalmatlan füves területek hasznosításában rejlő potenciáljáról is, melyek intenzív, istállózott tartás esetén kevésbé tudnak érvényesülni. Ezeken túlmenően éppen a kevésbé fejlett régiókban biztosít sok ember

számára megélhetést az állattartás, illetve némely területeken a kulturális jelentősége sem elhanyagolható. A legeltetési rendszerek előnyei közé tartozik még, hogy nem vesz igénybe olyan földterületet takarmánytermesztés céljára, amely emberi táplálékként szolgáló növények termesztésére is alkalmas lenne. (Gyakran hozzák fel érvként az állattenyésztés korlátozása, visszaszorítása mellett, hogy a takarmánytermesztésre használt területeken emberi élelmiszert is lehetne termelni.) Jelenleg a kiskérődzők világszinten 782 millió ha-nyi feltétlen legelőt hasznosítanak, ezáltal értékes élelmiszert állítanak elő, olyan területeken, ahol ez más módon (növénytermesztéssel vagy más állatfajok legeltetésével) (Jávor et al. 2022).

Az intenzív legeltetési rendszerben szükség van az állomány folyamatos felügyeletére, illetve a szakszerű gyepgazdálkodásra, ami ezen a téren szakértelemmel rendelkező munkaerőt is igényel. Természetesen intenzív termelést nem lehet kizárólag gyepre alapozva folytatni, mert az nem biztosít folyamatos (egész éves) és egyenletes takarmányellátást, időnként szükséges termelt vagy vásárolt takarmánnyal történő kiegészítés a termelés intenzitásának fenntartása érdekében. Az intenzív és intenzív legeltetési rendszerek között nincs jelentős eltérés a kibocsátásban, így a legelőn töltött idő hossza közötti, valamint a vásárolt takarmány mennyisége közötti különbség feltehetően nincs közvetlen összefüggésben a kibocsátott ÜHG-ok mennyiségével (Recktenwald és Ehrhardt 2024).

A megfelelő trágyakezelés szintén elengedhetetlenül fontos része az állattenyésztés káros környezeti hatásainak csökkentésében, hiszen a N_2O nagy része a trágyából jut a légkörbe (Zervas-Tsiplakou, 2012). Összességében az mondható el, hogy a CH_4 kibocsátása az intenzív, míg a CO_2 és a N_2O kibocsátása az extenzív rendszerekben alacsonyabb. Az intenzív rendszerekre jellemző hatékonyabb termelés a metánkibocsátás szempontjából környezetkímélőbb, mint az extenzív, azonban ennek a megvalósítása jóval nagyobb technológiai kapacitást, ezáltal energiafelhasználást igényel, amely a CO_2 kibocsátás nagyobb mértékében mutatkozik meg (Recktenwald és Ehrhardt 2024).

9. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Hazánkban a juhtartás környezetkárosító hatása más ágazatokhoz viszonyítva csekély mértékű ugyan, az ország összes ÜHG kibocsátásának 1%-a. Amennyiben a cél az ágazat bővítése a jövőben, akkor mindenképpen érdemes komolyabban foglalkozni a juhágazat környezetterhelő hatásával és annak kérdéseivel. Mindemellet az Európai Unió által támasztott egyre szigorúbb szabályozásnak is meg kell felelni. Mint már azt korábban említettem, Jávör (2022) szerint a magyar juhágazat fejlesztésének útja az intenzifikáción át vezet, ehhez pedig szükséges a jelenleginél hatékonyabban és részletesebben felmérni az aktuális helyzetet, különösképpen, ha a kérődzők tartásának visszaszorítása ellen akarunk érvelni. Ehhez a jövőben részletesebb adatbázisra lenne szükségünk, mint ami most rendelkezésre áll.

A kibocsátás csökkentésére számtalan lehetőség áll rendelkezésre, mindenekelőtt azonban fel kell mérni ezek bevezetésének jelenlegi realitását és megvalósíthatóságuk feltételeit. A környezetvédelmi és állatjóléti szabályoknak való megfelelés jobban biztosítható intenzív termelési rendszerekben. Azonban hazánkban az extenzív és félintenzív tartásrendszerek vannak túlnyomó többségben, tehát az ágazatban jelentős technológiai fejlesztésekre van szükség. Ez nem feltétlenül a legeltetés elvetését jelenti, inkább a technológiai elemek fejlesztését. A különböző termelési típusok, illetve tartástechnológiai rendszerek különböző mértékű kibocsátással járnak, így különböző csökkentési módszerek alkalmazására lehet szükség. Ezért érdemes gazdaság szinten mérni a szennyezést, a jelenleginél, pedig részletesebb adatokat gyűjteni és pontosabb becslést végezni.

Jelenleg Magyarországon a juhágazat bendőfermentációból eredő kibocsátásának becslésére csak a legegyszerűbb, legkevesebb tényező számbavételével készülő TIER1-es modellel van lehetőség. A TIER2-es szintű becslés megvalósításához átfogó adatgyűjtésre lenne szükség a tartástechnológiát, termelési típusokat, fajtákat, illetve takarmányozási adatokat illetően. Egyelőre csak a tartásmódok (istállózott, legeltetett) megoszlásáról érhetőek el adatok. A hatékony kibocsátás csökkentéshez nem elég országszinten intézkedéseket hozni, hanem az egyes gazdaságokban is fel kell tudni mérni a kibocsátott ÜHG-ok mértékét. A gazdaságok egymástól eltérő, szennyezés mértékét befolyásoló jellemzőinek figyelembevételére a TIER1-es modell nem alkalmas.

Annak ellenére, hogy az intenzív tartás egységnyi termékre vetített kibocsátása alacsonyabb, természetesen az extenzív tartásnak is van létjogosultsága, hiszen segíthet a természetes gyep társulások megőrzésében, kultúrállapotban tartásában. A juhok metán kibocsátásának

tényével ellentétben, sajnos egyáltalán nem közzismertek az imént felsorolt előnyök, pedig ez hozzájárulhatna az ágazat megítélésének javításához. Amikor a juhtartás környezeti hatásait értékeljük mindenképpen érdemes figyelembe venni, hogy az ágazat azontúl, hogy még bőven rendelkezik kibocsátás csökkentési potenciállal, aktívan is hozzájárulhat a környezetvédelemhez.

10. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban hazai és nemzetközi szakirodalmak alapján tekintetem át a juhtartás környezetre gyakorolt hatását, ezen belül az ÜHG kibocsátására fókuszáltam. Kitértem a világ, az Európai Unió és Magyarország juhállományának létszám adataira, a hazai juhtenyésztés jelenlegi helyzetére, a különböző termelési rendszerek jellemzőire, a kibocsátás mértékének becslésére szolgáló modellekre, illetve a csökkentési lehetőségekre.

Napjainkban a világ juhállománya megközelítőleg 1,2 milliárd egyed számolható, az Európai Unióban mintegy 59 millió juh található, Magyarországon pedig 907,1 ezer a legújabb statisztikai adatok szerint. Jelenleg hazánkban az állatok tartásmódja körülbelül 55%-ban almos istállózott tartás és 45%-ban legeltetési, az intenzifikáció fokáról, illetve az egyes gazdaságok tartástechnológiai jellemzőiről azonban nem érhető el hivatalos statisztika.

Az ÜHG-ok koncentrációja az emberi tevékenységek révén jelentősen megnövekedett a légkörben, a Föld éghajlatának felmelegedését és szélsőségesse válását eredményezve. Az iparhoz és a közlekedéshez hasonlóan a mezőgazdasági termelés is ÜHG-ok kibocsátásával jár. Az állattenyésztés, azon belül a kérődző állatok tartása, egy a szén-dioxidnál jóval erősebb hatású ÜHG, a metán kibocsátását okozza, a bendőfermentáció elkerülhetetlen velejárójaként. Ennek következtében az ágazat korlátozása, visszaszorítása a környezetvédelmi intézkedések fókuszába került.

A kibocsátások csökkentéséhez mindenképp szükség van azok minél pontosabb becslésére. Magyarországon az ÜHG-ok nemzeti leltárát az Országos Meteorológiai Szolgálat készíti el minden évben, az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) által kidolgozott módszertannak megfelelően, ezt pedig benyújtja az ENSZ számára. A juhágazatból származó kibocsátásokat a mezőgazdaság szektor részeként számolják el, emésztés és trágyakezelés kategóriában. Előbbi esetben sajnos csak a legegyszerűbb modell alkalmazására van lehetőség, utóbbinál már a tartásrendszer figyelembevételével történik a becslés. Jelenleg 1 juh esetében évi 8 kg emésztésből, 0,29 kg trágyából származó metán kibocsátással számolnak.

A kibocsátás csökkentésének lehetséges módszerei közé tartozik a takarmányok, emészthetőségének növelése, a bendőmikrobák számára nehezen bontható anyagokat tartalmazó takarmányok etetése, vagy az azok aktivitását csökkentő adalékanyagok hozzáadása. A metánkibocsátásban az egyedenkénti különbségek vizsgálata és a kedvezőbb értékeket

mutató egyedek továbbtenyésztése is hatékony megoldást jelenthet a jövőben. A megfelelő trágyakezelés szintén elengedhetetlen része a termelés környezetbarátabbá tételének.

A termelési rendszerek jelentőséget több esettanulmány feldolgozásán keresztül mutattam be, melyekből általánosan azt a következtetést lehet levonni, hogy az intenzív rendszerek kibocsátási adatai kedvezőbbek 1 kg termékre vetítve. Ugyanakkor az extenzív rendszerek értékelésénél nem érdemes figyelmen kívül hagyni, az általuk nyújtott ökoszisztéma szolgáltatásokat, ugyanis ezeknek jelentős szerepe lehet a környezetvédelemben.

A hatékony kibocsátás csökkentést, mindenekelőtt a gazdaságok szintjén lehet végrehajtani, hiszen az intenzifikáció foka, illetve a tartástechnológiai jellemzők terén jelentős különbségek lehetnek. A fajtaválasztás, az állatok elhelyezése, a takarmányozás, illetve trágyakezelés mind befolyásolják a kibocsátás mértékét, ezáltal pedig a szükséges és lehetséges csökkentési módokat is. Ehhez gazdaság szintű becslésekre van szükség, minél pontosabb modellekkel. Magyarországon a pontosabb becslések megvalósításához jelentős mennyiségű adatgyűjtés lenne szükséges.

11. IRODALOMJEGYZÉK

Agroinform (2021): 15 év alatt jelentősen csökkent a juhállomány hazánkban. <https://www.agroinform.hu/allattenyesztes/csokkent-a-juhallomany-hazankban-48089-001> (Letöltés dátuma: 2024.11.04.)

Belanche, A., Hristov, A. N., van Lingen, H. J., Denman, S. E., Kebreab, E., Schwarm, A., Kreuzer, M., Niu, M., Eugène, M., Niderkorn, V., Martin, C., Archimède, H., McGee, M., Reynolds, C. K., Crompton, L. A., Bayat, A. L., Yu, Z., Bannink, A., Dijkstra, J., Chaves, A. V., Yáñez-Ruiz, D. R. (2023): Prediction of enteric methane emissions by sheep using an intercontinental database. Journal of Cleaner Production. Volume 384. 2023. 135523 ISSN 0959-6526 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135523>.

Borka, G., Németh, T., Kukovics, S. (2010): Analysis of GHG emissions from sheep sector compared with the features of cattle sector. In: Kukovics, S. – Jávör, A. (edited) (2010): Possibilities for development in sheep sector. JUHINNOV PLATFORM, K-OVI-CAP Bt. – University of Debrecen Centre for Agricultural Sciences, Érd-Debrecen, 553 p. (ISBN 978-963-08-0624-4), pp. 315-354, pp. 532-546. (In Hungarian).

Borovka, Zs. (2023a): Amiről az állattenyésztés ÜHG kibocsátása kapcsán ritkán beszélnek. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalattas/mezogazdasagi-termeles/105444-amirolo-az-allattenyesztes-uhg-kibocsatasa-kapcsan-ritkan-beszelnek> (Letöltés dátuma: 2024.11.04.)

Borovka, Zs. (2023b): A különböző üvegházhatású-gázok különböző hatással vannak az éghajlatra. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalattas/mezogazdasagi-termeles/106262-a-kulonbozo-uveghazhatasu-gazok-kulonbozo-hatassal-vannak-az-eghajlatra> (Letöltés dátuma: 2024.11.04.)

CRF, 2023: 2023 Common Reporting Format (CRF) Tables for GHG inventories, Hungary, 2023. <https://unfccc.int/documents/627846>

P. Crosson, L. Shalloo, D.O. O'Brien, G.J. Lanigan, P.A. Foley, T.M. Boland, D.A. Kenny: A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. Anim. Feed Sci, Technol. (2011), pp. 29-45, 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001

Csernáné Nagy, Zs., Mikó J. (szerk) (2018): Modernizáció lehetősége a juhágazatban. SZTE elektronikus Tananyag Archivum. Szegedi Tudományegyetem. https://eta.bibl.u-szeged.hu/643/1/EFOP343_AP2MGK_CSERNANE_NAGY_ZSUZSANNA_OKTATASI%20SEGEDLET.pdf (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

EP (2023). Klímaváltozás: A globális felmelegedést okozó üvegházhatású gázok, European Parliament, [europarl.europa.eu, https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20230316STO77629/klimavaltozas-a-globalis-felmelegedest-okozo-uveghazhatasu-gazok](https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20230316STO77629/klimavaltozas-a-globalis-felmelegedest-okozo-uveghazhatasu-gazok) (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

EUROSTAT, 2023: Number of sheep. DOI: 10.2908/tag00017. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00017/default/table?lang=en>. (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

Gergely, E., Bezegh, A. (2019): Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására. Budapest: Magyar Mérnöki Kamara. <https://www.mmkkornyezetvedelem.hu>

Guimarães da Silva, M., Soares, L. R., Marques, G. R., Pacheco da Costa, T. (2024): Integration between olive cultivation and sheep farming in Brazil: Carbon footprint mitigation potential. *Journal of Cleaner Production*. Volume 450. April 2024. 141776 ISSN 0959-6526 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141776>.

Hristov, A. N. (2024): Invited Review: Advances in nutrition and feed additives to mitigate enteric methane emissions. *Journal of Dairy Science*. Volume 107. Issue. 7. 2024. pp: 4129-4146. ISSN 0022-0302 <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24440>.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme Vol. 4., Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Jávor, A., Kukovics, S., Oláh, J., Bodó, Sz., Egerszegi, I., Kusz, Sz., Monori, I., Cehla, B., Jávor, B., Buzás, F., Nábrádi, A. (2022): *Juhtenyésztés haladóknak az extenzívtől a precíziósig*. Debrecen: Debreceni Egyetem. ISBN 978-963-490-408-3

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. and Zimmerman, P. (1994). Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environmental. Sci. Tech.*, 28: 359-362.

Johnson, K.A. and Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73: 2483-2492

KAP Stratégiai terv, 2023: Magyarország KAP stratégiai terve, 2023-2027. 2023HU06AFSP001. <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/2/20/202/202eda8cd844bc1104289d07d76c1220652a3da5.pdf> (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

Kaszab L. – Morvay E. – Világi B. – Vonnák B. (2023): Élelmiszer-ellátás: természeti kincsek, kizsákmányolás és potenciál. In: Halmai Péter (szerk.): *Fenntarthatóság a közgazdaságtudományban*. Budapest: Akadémiai Kiadó. <https://mersz.hu/halmai-fenntarthatosag-a-kozgazdasagtudomanyban/> DOI: 10.1556/9789634549475

KSH, 2023: 19.1.2.22. Juhállomány vármegye és régió szerint, december 1. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0089.html (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

Lassey, K.R. (2007): Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 142, Issues 2–4, 2007, pp 120-132, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.028>.

Lovas K. (2018): Országos Meteorológiai Szolgálat, Nemzeti Emissziós Leltárak Osztálya, https://nimbus.elte.hu/oktatas/nyarigyak/bsc_nyari_gyakorlat_2018/OMSZ_20180730_1000_NELO.pdf

Lynch, J., Cain, M., Pierrehumbert, R., Allen, M. (2020): Demonstrating GWP*: a means of reporting warming equivalent emissions that captures the contrasting impact of short- and long-lived climate pollutants. *Environmental Research Letters*, Volume 15, Number 4. DOI 10.1088/1748-9326/ab6d7e

Marino, R., Atzori, A. S., D'Andrea, M., Iovane, G., Trabalza-Marinucci, M., Rinaldi, L. (2016): Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research*. Volume 135. February 2016. pp: 50-59. ISSN 0921-4488 <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012>.

Marsden, K. A., Holmberg, J. A., Jones, D. L., Chadwick, D. R. (2018): Sheep urine patch N₂O emissions are lower from extensively-managed than intensively-managed grasslands.

Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 265. 1 October 2018. pp: 264-274. ISSN 0167-8809 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.025>.

McAdam, J. (2023): Silvopasture as a sustainable sheep production system option. Animal – science proceedings. Volume 14. Issue 2. April 2023. pp: 367. ISSN 2772-283X <https://doi.org/10.1016/j.anscip.2023.01.488>.

S.M. McClelland, C. Arndt, D.R. Gordon, G. Thoma: Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: a systematic review of Livest. Sci., 209 (2018), pp. 39-45, 10.1016/j.livsci.2018.01.008

McPhee, M. J., Edwards, C., Harden, S., Naylor, T., Phillips, F. A., Guppy, C., Hegarty, R. S. (2024): GrassGroTM simulation of pasture, animal performance and greenhouse emissions on low and high sheep productivity grazing systems: 1-year validation and 25-years analysis. animal. Volume 18. Issue 3. March 2024. 101088 ISSN 1751-7311 <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101088>.

Mészáros, Gy. (2005): Tanácsadási füzetek a nemzeti vidékfejlesztési terv intézkedéseihez. I-II. A környezetterhelés csökkentési lehetőségei. [Guidebooks to the implementation of the National Rural Development Plan I.-II. Potential to the reduce the environmental pressure] (in Hungarian) Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő.

MJKSZ, 2023: Statisztikai adatok a magyarországi juhállományokról. in.: Juhtenyészetek és kecsketenyészetek Magyarországon – Tényleges adatok tükrében. 2023. Október. pp. 108-115. Magyar Juh- és Kecsketenyésztő Szövetség 28. Időszaki Tájékoztató. 2023. https://mjksz.hu/sites/default/files/media/files/mjksz_eves_2023_2.pdf (Letöltés dátuma: 2024.11.04)

Morgan-Davies, C., Kyle, J., Boman, I. A., Wishart, H., McLaren, A., Fair, S., Creighton, P. (2021): A comparison of farm labour, profitability and carbon footprint of different management strategies in Northern European grassland sheep systems. Agricultural Systems. Volume 191. June 2021. 103155 ISSN 0308-521X <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103155>.

Morris S. T. (2017): Overview of sheep production systems. in Advances in Sheep Welfare, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Szerk.: Drewe M. Ferguson, Caroline Lee, Andrew Fisher, Woodhead Publishing, 2017. pp.: 19-35. ISBN 9780081007181. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100718-1.00002-9>.

NIR (2023): National Inventory Report for 1985-2021, Hungary. Szerk: Kis-Kovács G., <https://unfccc.int/documents/627849>

Pazsiczki, I. et al (2006): Trágyatárolással összefüggő technikai ismeretek a Nitrát Direktívában (ND) megfogalmazott kritériumok alapján és elvárások figyelembevételével. [Technological knowledge referring to manure management in light of requirements of Nitrates Directive] Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő. On behalf of Ministry of Agriculture and Rural Development (in Hungarian).

Piczka I. (2019): Honnan tudjuk, hogy mennyi üvegházhatású gázt bocsátunk ki a légkörbe? Merre tart Magyarország? Kis magyar ÜHG leltár <https://masfelfok.hu/2019/05/22/uveghazhatasu-gaz-kibocsatas-magyarorszag-uhg-leltar/>

Polgár J., P., Toldi, Gy. (2011): Juh- és Kecsketenyésztés. Magyar nyelvű felsőoktatási tankönyv. Pannon Egyetem – Kaposvári Egyetem. Pannon Egyetem, Kaposvári Egyetem, Keszthely, Magyarország, 195 p.

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0059_juh_es_kecsketenyesztes/adatok.html

Recktenwald, E. B., Ehrhardt, R. A. (2024): Greenhouse gas emissions from a diversity of sheep production systems in the United States. *Agricultural Systems*. Volume 217. 2024. ISSN 0308-521X <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.103915>.

Répás, M. (2022): A gyepgazdálkodásra alapozott állattartás ÜHG kibocsátásának számítási módszerei. *Gyepgazdálkodási közlemények*. 20.évf. (1.szám) 2022 (GS-24). <https://ojs.lib.unideb.hu/gygk/article/view/11142/9874>

Répás M.I., Répásné M.R. (2023): Teljes ÜHG mérleg, egy új módszer a külterjes állattartó és vegyes gazdaságok ÜHG kibocsátásának meghatározásához. *Gyepgazdálkodási közlemények*. 21. ÉVF. (1. SZÁM) 2023 (GS-26)

Ripoll-Bosch, R., de Boer, I. J. M., Bernués, A., Vellinga, T.V. (2013): Accounting for multifunctionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: A comparison of three contrasting mediterranean systems. *Agricultural Systems*. Volume 116. March 2013. pp: 60-68. ISSN 0308-521X <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.11.002>.

S. Samsonstuen, B.A. Åby, P. Crosson, K.A. Beauchemin, H. Bonesmo, L. Aass Farm scale modelling of greenhouse gas emissions from semi-intensive suckler cow beef production *Agric. Syst.*, 176 (2019), Article 102670, 10.1016/j.agry.2019.102670

Schils R. L. M., Olesen J. E., del Prado A., Soussana J. F. (2007): Review of a farm-level modelling approach for mitigating greenhouse gas emissions from ruminant livestock systems. *Livestock Science*, Volume 112, Issue 3, December 2007, Pages 240-251.

Szedlák, L. (2022): Vészesen fogy a juhállomány Magyarországon: drasztikusan csökken a számuk. *Agrárszektor*. <https://www.agrarszektor.hu/allat/20220228/veszesen-fogy-a-juhallomany-magyarorszagon-drasztikusan-csokken-a-szamuk-36107> (Letöltés dátuma: 2024.11.04.

P. Toro-Mujica, C. Aguilar, R.R. Vera, F. Bas: Carbon footprint of sheep production systems in semi-arid zone of Chile: a simulation-based approach of productive scenarios and precipitation patterns *Agric. Syst.*, 157 (2017), pp. 22-38)

Tóth, E., Dencső, M., Pirkó, B., Bakacsi, Zs. (2020): A talaj ammónia kibocsátásából adódó környezetterhelés és annak monitorozási, mérési lehetőségei. *Agrokémia és Talajtan* 69(1-2):107-126 DOI:10.1556/0088.2020.00062

Tóth P., HCSO (2004). Expert judgement, verbal communication. in National Inventory for 1985-2021.

Tóth, V. (2024): Írásbeli személyes közlés. Szakértői közlés (AKI)

Yetişgin, S. O., Morgan-Davies, C., Önder, H. (2022): Comparison of farm-level greenhouse gas emissions in transhumance and semi-intensive sheep production systems in continental rangelands. *animal*. Volume 16. Issue 8. August 2022. 100602 ISSN 1751-7311 <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100602>.

Zervas, G., Tsiplakou, E. (2012): An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. *Atmospheric Environment*. Volume 49. 2012. pp: 13-23. ISSN 1352-2310 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.039>.

Åby, B. A., Dønnem, I., Jakobsen, J., Steinheim, G. (2023): Effects of sheep breed and grass silage quality on voluntary feed intake and enteric methane emissions in adult dry ewes. Small Ruminant Research. Volume 227. October 2023. 107081 ISSN 0921-4488, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107081>.

Internetes hivatkozások:

http1 (2024): World Population Review honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/sheep-population-by-country>

http2 (2022): MET Group honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/levegoszennyezés>

http3 (2017): KSH honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: (<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/uveghazhatas15.pdf>)

http4 (2023): HungaroMet honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/trendek/uveghazhatasu-gazok>

http5 (2023): HungaroMet honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/mezogazdasag>

http6 (2024): FAO honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://www.fao.org/in-action/enteric-methane/background/en>

http7 (2023): HungaroMet honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.04. forrás: <https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok>

12. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

Táblázatok:

1. táblázat: Az emésztésből származó ÜHG kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében, Magyarország, 2023 (22. oldal)
2. táblázat: A trágyakezelésből származó N₂O kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében, Magyarország, 2023 (23. oldal)
3. táblázat: A trágyakezelésből származó CH₄ kibocsátás számítás alapadatai juhtartás esetében, Magyarország, 2023 (24. oldal)
4. táblázat: Juhok éves N kibocsátása, tartásmód szerint, Magyarország, 2021 (24. oldal)
5. táblázat: Juhtartás trágyakezeléséből származó éves N₂O emisszió becslésének alapadatai, Magyarország, 2021 (24. oldal)
6. táblázat: Juhartásból származó ÜHG kibocsátás, Magyarország, 2021 (25. oldal)

Ábrák:

1. ábra: Mezőgazdasági tevékenységből származó NH₃ kibocsátás. Magyarország (1990-2019) (18. oldal)
2. ábra: A mezőgazdaság eredetű NH₃ kibocsátás fő forrásainak trendje 1990-2021 (19. oldal)
3. ábra: Emésztésből származó üvegház hatású gáz (CH₄) emissziójának évenkénti alakulása állatkezelési kategóriánként (bázis év és 1990-2021) (25. oldal)
4. ábra: Állattartásból és trágyakezelésből származó üvegház hatású gáz (CH₄ és N₂O) emissziójának évenkénti alakulása állatkezelési kategóriánként (bázis év és 1990-2021) (26. oldal)
5. ábra: tén (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O) és a szén-dioxid (CO₂) emissziós intenzitása (CO₂e/kg élősúly) négy különböző juhtartási rendszerben az Amerikai Egyesült Államokban. (Recktenwald és Ehrhardt, 2024) (34. oldal)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Nagy Anna Frida
A Hallgató Neptun kódja: VFYOVA
A dolgozat címe: A juhtartás ÜHG kibocsátásának becslése és csökkentési lehetőségei különböző szinteken- Áttekintés
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Állattenyésztési Tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Állattenyésztés-technológiai és Állatjólléti Tanszék

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

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

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

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdonkezelési 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. november 4.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Nagy Anna Frida (hallgató Neptun azonosítója: VFYOVA) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen / nem

Kelt: Gödöllő, 2024. november 04.



belső konzulens

Kótiné dr. Seenger Julianna

tudományos főmunkatárs

MATE, ÁTI

