

AZ ÁLLATI TERMÉK ELŐÁLLÍTÁS HATÁSA AZ ATMOSZFÉRÁRA: A NITROGÉN- ÉS ÜVEGHÁZGÁZ- EMISSIONS JELENTŐSÉGE ÉS CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGEI

BORKA GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen dolgozat összefoglalja a mezőgazdasággal, elsősorban az állattenyésztéssel összefüggő atmoszférikus terheléssel kapcsolatos általános ismereteket és jellemzi a magyarországi helyzetet.

Tárgyalja a mezőgazdasági eredetű emissziók (ammónia – NH_3 , dinitrogén-oxid – N_2O , metán – CH_4) forrásait, keletkezését, a kibocsátások ökológiai hatásait és jelentőségét az összes atmoszférikus környezeti terheléshez viszonyítva.

Ismerteti és elemzi az aktuális magyarországi mezőgazdasági emissziós leltárt, bemutatja és elemzi a kibocsátásokat és a nemzetgazdaság összes kibocsátásához viszonyított jelentőségüket gázonként és forrásonként és áttekinti a magyar mezőgazdaság ammónia-, dinitrogén-oxid- és metánemissziós trendjét az 1985–2005 közötti időszakban.

Megvizsgálja a mezőgazdasági eredetű atmoszférikus terhelés csökkentésének lehetőségeit az ökológiailag indokolt célkitűzések, a technikai üzemgazdasági lehetőségek, valamint a politikai, ökonómiai és szociális realitások alapján.

SUMMARY

Borka, Gy.: THE EFFECTS OF ANIMAL PRODUCTION ON THE ATMOSPHERE: NITROGEN AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND REDUCTION POSSIBILITIES

The study summarizes the common knowledge on atmospheric emissions from agriculture, mainly from animal production and describes the current situation in Hungary.

It discusses the sources of agricultural emissions (ammonia – NH_3 , nitrous oxide – N_2O , methane – CH_4), the ecological effects and importance of emissions compared to the entire atmospheric environmental loading.

It reviews and analyzes the latest Hungarian agricultural emission inventory, presents and analyzes the emissions and their importance compared to the entire national emission by gas and source, and reviews the emission trends of ammonia, nitrous oxide and methane from the Hungarian agriculture in the period of 1985–2005.

It examines the reduction possibilities of the atmospheric emissions of agricultural origin on the basis of ecologic objectives, technological-operational possibilities as well as political, economic and social reality.

BEVEZETÉS

A haszonállat-tartás, ugyanúgy, mint más termelési folyamatok, bizonyos fokú környezeti terheléssel jár együtt. Ez a terhelés típusában és intenzitásában igen eltérő lehet. Míg a talaj- és vízszennyezés aspektusai régóta ismertek, a mezőgazdasági eredetű levegőszennyezés jelentőségét (a higiéniai szempontokat leszámítva) csak a 20. század utolsó harmadában ismerték fel.

A legfontosabb — nem csak lokális környezeti hatású — mezőgazdasági eredetű gázok közé tartozik az ammónia (NH_3), a dinitrogén-oxid (N_2O) és a metán (CH_4).

A dolgozat az alábbi témakörökkel kapcsolatos ismereteket foglalja össze:

— A mezőgazdasági eredetű emissziók ökológiai jelentősége és forrásai;

— Aktuális magyarországi mezőgazdasági emissziós leltár: a kibocsátások és a nemzetgazdaság összes kibocsátásához viszonyított jelentőségük gázonként és forrásonként, a kibocsátási trendek az 1985–2005 közötti időszakban;

— A mezőgazdasági eredetű légköri kibocsátások csökkentésének lehetőségei.

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

A mezőgazdasággal összefüggésbe hozható légköri nitrogén-emissziók környezeti hatásaival és az emissziócsökkentéssel foglalkozó részek a szakirodalom kritikai feldolgozása és saját kutatási eredmények alapján készültek. A külön nem említett hivatkozások, illetve megfontolások az ökológiai hatásokkal foglalkozó fejezetben *Ellenberg* (1983), *Mohr* (1986, 1994), *Stadelmann* (1990, 1992), *Flückiger* (1990), *Stadelmann és mtsai* (1996), *Ortloff és Schlaepfer* (1996), *Schmid és mtsai* (2000), *Cornaz és mtsai* (2005), *Block* (2006) és *Starmans és van den Hoek* (2007), az emissziócsökkentést tárgyaló részben *Stadelmann és mtsai* (1996), *Menzi és mtsai* (1997), *Borka* (1998, 2002, 2003), *Minonzio és mtsai* (1998), *Schmid és mtsai* (2000), *Rotz* (2004), *Cornaz és mtsai* (2005) és *Aamink és Verstegen* (2007) összefoglaló jellegű publikációin, valamint az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (*IPCC*, Intergovernmental Panel on Climate Change) második és harmadik értékelő jelentésén alapulnak (*IPCC* 1995, 2001).

A történeti trendek számításához a Központi Statisztikai Hivatal hivatalos mezőgazdasági termelési adataiból (KSH 1985–2005) indultunk ki. Az emisszió-faktorokat az ammónia esetében *Buijsman és mtsai* (1987), *Klaassen* (1992), *Menzi és mtsai* (1997) és *EMEP-CORINAIR* (2006) munkái alapján választottuk ki, az üvegházgáz-emisszió számításokhoz az *IPCC* által javasolt Tier 1 és Tier 2 módszert (*IPCC*, 2000, 2006) használtuk. A metodikai részleteket, illetve az emisszió-faktorok kiválasztásának szempontjait *Borka* (2002, 2007ab) munkái tartalmazzák. A nemzetgazdasági szektorok ammónia, illetve dinitrogén-oxid és metánkibocsátási értékeinek forrásai: *IIASA RAINS NH₃ Scenario: CP_CLE_Aug04* (Nov04) (*IIASA* 2007), illetve a *National Inventory Report, Hungary, Submission 2006 v3.2* (*Kis-Kovács és Gáspár*, 2007ab).

EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

A mezőgazdasági eredetű emissziók ökológiai jelentősége és forrásai

Nitrogénforgalom, eutrofizáció és savasodás: Az intenzív módszerek terjedése a mezőgazdaságban, és a vele párhuzamosan fokozódó motorizáció következtében, az elmúlt száz évben jelentősen megnövekedett a nitrogén-emisszió. Ez a környezet fokozott nitrogénterhelését okozta, melynek hatásai, következményei nehezen becsülhetők. Ma már kétségtelen, hogy a molekuláris nitrogént (N_2) leszámítva, a mezőgazdaság által emittált valamennyi nitrogénvegyület releváns a környezet szempontjából. A terhelés legfontosabb komponensei a nitrogénoxidok (NO_x , N_2O) és az ammónia (NH_3), melyek legfontosabb forrásai a haszonállatok exkrementumai, valamint a tárolt és a földekre kijuttatott híg- és istállótrágya.

A levegőbe jutott *ammónia*, ami száraz (NH_3) vagy nedves (NH_4^+) depozíció formájában rakódik le, a nitrogénérzékeny ökoszisztémákban, az iparból és a háztartásokból származó oxidált nitrogénvegyületekkel együtt, eutrofizációt, „túltrágyázást” okoz és hozzájárul a környezet általános savasodásához.

Az ammónia az atmoszféra legfontosabb bázikus komponense. Neutralizálja a csapadékok és aeroszokok savas kémhatású komponenseinek nagy részét, fontos szerepet játszik az atmoszféra kéntartalmának oxidálásában, a kéntartalmú emissziók megkötésében és lokalizálásában is.

Növénytársulásokban, a lerakódott ammónia és ammónium elsősorban trágyaként, táplálóanyagként hat. Ez a hatás a mezőgazdaságilag hasznosított területeken semmi problémát nem okoz, sőt kedvezőnek minősíthető. Más a helyzet a természetes ökoszisztémákban, ahol a megnövekedett nitrogéndepozíció eutrofizációhoz vezet. Ez a nagyobb nitrogénigényű növények elterjedését segíti és ezáltal megváltoztathatja a növénytársulás összetételét. A hatás elsősorban a sok növényfajból felépülő, nitrogénlimitált ökoszisztémákat érinti.

Ismeretes, hogy az ökoszisztémák nitrogénellátottságának színvonala és a bennük megtalálható fajok száma között negatív korreláció van. A bőséges nitrogénellátás tehát a biológiai sokféleség csökkentése irányában hat. Nyugat- és Közép-Európa igen sok veszélyeztetett növényfaja nitrogénszegény környezetet igényel.

A megnövekedett nitrogénterhelés – ami a helytől függően 50-80%-ban ammónia- és ammóniumdepozícióra vezethető vissza – az erdők új típusú károsodásaiban is szerepet játszik. *Nihlgård* (1985) nitrogénhipotézise szerint, az egyoldalú nitrogén-túltrágyázás az erdei fák közvetlen növekedési és hormonháztartásbeli zavaraihoz vezet, viszonylagos tápanyaghiányt okoz, valamint viszonylagos hiány keletkezik ásványi anyagokból (K, Mg, Ca és Mn), szénhidrátokból és vízből. *Rolofs és mtsai* (1985) szerint a nitrogén-túltrágyázás következtében, a gyökérzet fontos kationok (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) helyett túl sok ammóniumiont vesz fel. A tápanyagegyensúly felborulásának következménye számos faj megnövekedett stresszérzékenysége és a betegségekkel szembeni csökkent ellenálló képessége.

A nitrogén-túltrágyázás, ezen kívül, hozzájárul a talaj és a felszíni vizek általános elsavasodásához. Nagy mennyiségű lerakódott ammónia nitrifikációja, a talaj pH-értékének drasztikus süllyedéséhez vezethet. *Van Breemen és mtsai*

(1982) szerint a talaj-pH időlegesen akár 3 alá is süllyedhet, miközben a talajban toxikus alumíniumionok mobilizálódnak.

Intenzíven használt mezőgazdasági területeken, az $\text{NH}_x\text{-N}$ ($\text{NH}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4^+\text{-N}$ együtt) aránya a bruttó depozícióban 66%-ot is elérhet (Hesterberg, 1994; Hesterberg és mtsai, 1996). Isermann (1990) kimutatta, hogy természetes ökoszisztémákban a hosszú távon elfogadható értékeket erősen felülmúlja a jelenlegi nitrogéndepozíció (NO_x -, N_2O -, $\text{NH}_x\text{-N}$ együtt) (1. táblázat). Draaijers és mtsai (1989) holland erdőkben, helyenként még 100 kg/ha/év feletti nitrogéndepozíciót is regisztráltak. Flückiger (1988, 1990) a következőket állapította meg: „Az ismeretek mai szintjén, Közép-Európában a nitrogénemissziók illetve a nitrogén-input 50-80%-os csökkentése lenne szükséges ahhoz, hogy a szárazföldi területek eutrofizációját, és (az ebből adódó) természeti károkat megállíthassuk”. Isermann (1990) az NO_x - és N_2O -emissziók 50–62%-os csökkentése mellett az NH_3 -emissziók felezését tartotta szükségesnek.

1. táblázat

A tényleges és az elfogadható nitrogén-input Nyugat-Európa természetes ökoszisztémáiban (Isermann, 1990 nyomán)

Természetes ökoszisztéma	Atmoszférikus N-input, kg/ha/év	
	jelenlegi állapot	hosszú távon elfogadható (critical loads) ⁽¹⁾
Nyílt vidék (természetvédelmi területek), fellápok, puszták	10–30	max. 10
Erdők	10–200 ($\bar{x}$ = 20–80)	max. 15–20
Északi- és Keleti-tenger ezen belül parti vizek	10 9–15 (20)	max. 5 max. 3–7

⁽¹⁾ Nordisc Ministerrad (1986) és Nilsson és Grönnfelt (1988) szerint;

vö. „természetes” N-input: 4–5 kg/ha/év (Mengel, 1968; Johnstone és mtsai, 1986; nyílt vidékre vonatkozóan)

Table 1.: The effective nitrogen input and the critical loads in the natural ecosystems of Western Europe (after Isermann, 1990)

A legnagyobb ammóniakibocsátó a mezőgazdaság, azon belül pedig elsősorban az állattenyésztés. A természetes, valamint egyéb antropogén ammóniaforrások jelentősége globálisan, tehát az egész Földre vonatkoztatva, a tengereket és a magashegységeket és sivatagokat beleszámítva is, lényegesen kisebb (2. táblázat).

Még nyilvánvalóbb az állattartás jelentősége az ammóniaemissziók szempontjából, ha sűrűn lakott, kontinentális, mezőgazdaságilag művelt területeket vizsgálunk. A fejlett mezőgazdasággal rendelkező területeken, így Magyarországon is, az ammóniakibocsátás 80–90%-a az állattartásból származik (1. ábra).

Asman és van Jaarsveld 1990-es közleményükben megállapították, hogy az ammóniaemisszió Európában, az elmúlt 100 évben, a 2,2-szeresére emelkedett, és ez az emelkedés gyakorlatilag a mezőgazdaság ammóniakibocsátásának növekedésére vezethető vissza.

A globális NH₃-emissziók forrásai (Warneck, 1988 nyomán)

Forrás	NH ₃ -N-emisszió, Tg/év
Szén- és szénszármazékok elégetése	<2–12
Közlekedés	0,2–0,3
Biomassza elégetése	2–60
Domesztikált állatok	20–35
Vadállatok	2–6
Emberi exkrementumok	1,5–3
Talajok	1–38
Műtrágya	1,2–3
Összesen	22–83

Table 2.: Sources of global NH₃ emissions (after Warneck, 1988)

1. ábra: A nemzetgazdaság NH₃-kibocsátása, 1985 és 2005 között, szektorok szerint

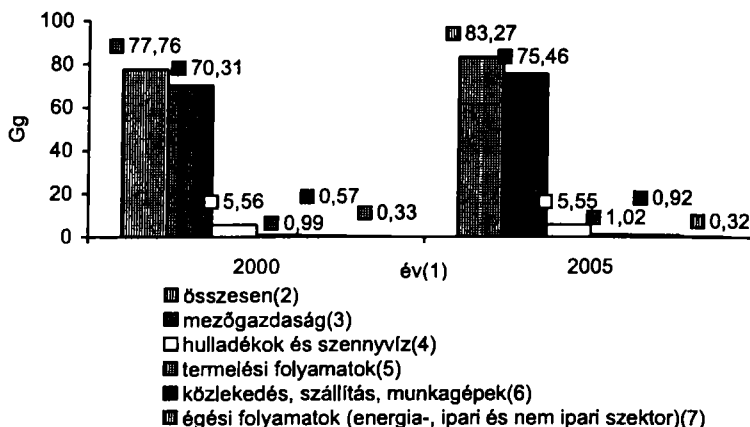


Fig. 1.: Ammonia emissions in Hungary between 1985 and 2005 by sectors year(1), total(2), agriculture(3), waste(4), production processes(5), traffic, transport, other mobile sources, machines(6), combustion (energy, industrial and non-industrial sector)(7)

Globális éghajlatváltozás: A mezőgazdasági eredetű légköri nitrogén-anyagforgalom másik fontos komponense, a nitrifikáció és denitrifikáció során, valamint szerves anyagok égetéskor keletkező *dinitrogén-oxid* (N₂O). Ez a gáz két módon terheli a környezetet: lerakódva hozzájárul az ammóniaemissziók kapcsán már tárgyalt eutrofizációhoz, a légkörben pedig hatásos üvegházgázként (CO₂ „globális melegítési” ekvivalens 310) a szintén jelentős részben állattenyésztési eredetű metánnal (CO₂ ekvivalens 21) együtt, fontos tényezője a globális klímaváltozásnak.

Metán (CH₄): a mezőgazdasági termelésben, az állati és növényi biomassza anaerob lebontásakor, valamint elégetésekor keletkezik. A legfontosabb mezőgazdasági metánforrások közé tartoznak a haszonállatok emésztése (anaerob cellulózbontás a kérődzők bendőjében, lóban és nyúlban a vakbélben, de a baromfi-félék a vakbélben is) és exkrementumai (híg- és szilárd szerves trágya anaerob tárolása), a szervesanyag-égetés, a rizsföldek és a láptalajok.

A globális klímaváltozás, illetve az üvegházhatású gázok – legfontosabbak a már említett dinitrogén-oxid és metán mellett, a széndioxid és a halogénezett szénhidrogének – kibocsátásának és atmoszférikus koncentrációjának növekedéséből következő ökológiai, társadalmi és gazdasági hatások részletes tárgyalása meghaladja jelen dolgozat terjedelmi lehetőségeit. A témával kapcsolatban felhívjuk a figyelmet az Éghajlat-változási Kormányközi Testület rendszeres értékelő jelentéseire (IPCC 1995, 2001, 2007), illetve Pálvölgyi és Faragó (1996), Faragó (1998, 2007), Faragó és Kerényi (2003), Faragó és mtsai (2007) közleményeire, a VAHAVA (Változás – Hatások – Válaszok) projekt jelentéseire (2003, 2004), valamint a *Természet Világa* (2004) és az *AGRO-21 Füzetek* (2005) tematikus különszámaira.

Mezőgazdasági emissziós leltár és trendek

Az 1985 és 2005 közötti időszak mezőgazdasági ammónia-, dinitrogén-oxid és metánkibocsátási trendjét a 2., 3., 4. és 5. ábrán ábrázoltuk. A nemzetgazdaság összkibocsátásaihoz viszonyított idősorokat az 1., 6., 7. és 8. ábrák tartalmazzák.

2. ábra: A mezőgazdaság NH₃-kibocsátása 1985 és 2005 között források szerint

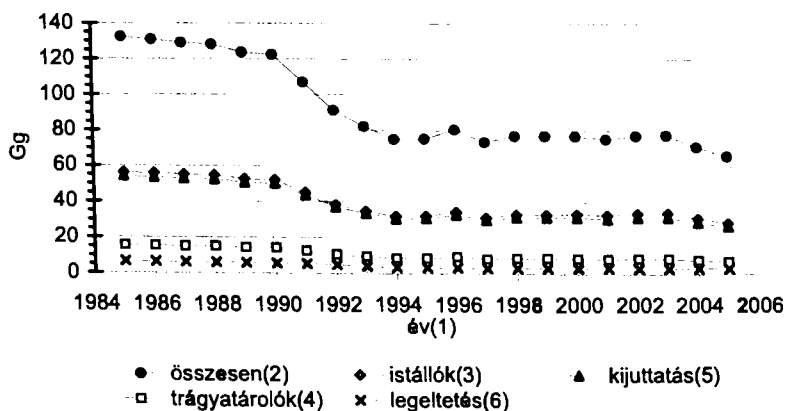


Fig. 2.: Ammonia emissions from agriculture between 1985 and 2005 by sources year(1), total(2), housing(3), manure application(4), manure storage(5), grazing(6)

A magyar mezőgazdasági termelés, az 1980-as évek közepéig, lényegében az ország ökológiai és ökonómiai lehetőségeinek megfelelően fejlődött, számos ágazat világszínvonalon termelt. A termelés a 80-as évek második felében csökkenni kezdett, az 1990-es rendszerváltást követően pedig drámai visszaesés következett be. Az üzemek száma több mint 30%-kal, a mezőgazdaságban foglalkoztatottak száma több mint 50%-kal, a mezőgazdasági termékek bruttó termelésének volumenindexe több mint 30%-kal, az állatállomány, szintén közel 50%-kal csökkent 1990 és 2000 között.

3. ábra: A mezőgazdaság CO₂-ekvivalensben kifejezett üvegházgáz-kibocsátása 1985 és 2005 között, kulcsforrás-kategóriák szerint

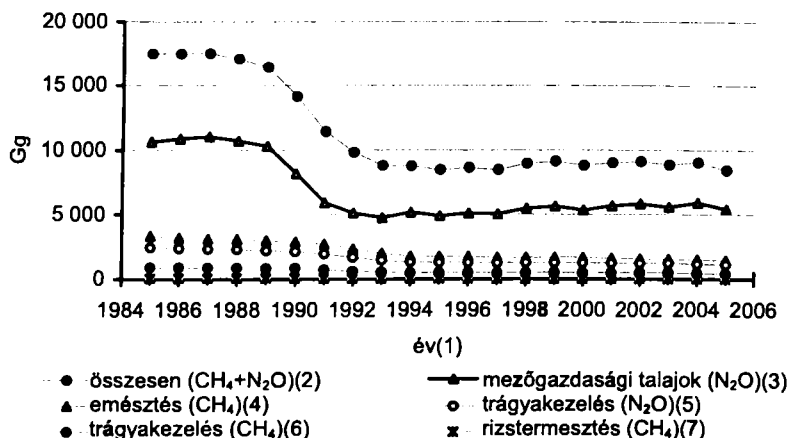


Fig. 3: Greenhouse gas emissions from agriculture between 1985 and 2005 in CO₂-equivalent by key-sources

year(1), total (CH₄+N₂O)(2), agricultural soils (N₂O)(3), enteric fermentation (CH₄)(4), manure management (N₂O)(5), manure management (CH₄)(6), rice cultivation (CH₄)(7)

4. ábra: A mezőgazdaság dinitrogén-oxid kibocsátása 1985 és 2005 között, kulcsforrás-kategóriák szerint

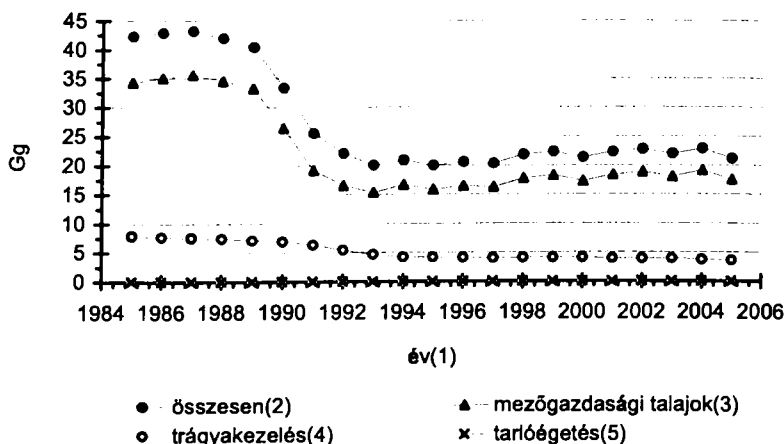


Fig. 4.: Nitrous oxide emissions from agriculture between 1985 and 2005 by key-sources year(1), total(2), agricultural soils(3), manure management(4), field burning of agricultural residues(5)

Az ábrákon látható, hogy az 1990 és 1995 között elszenvedett, elsősorban az állattenyésztést érintő sokszerű visszaesés következtében a mezőgazdaság atmoszférikus kibocsátásai jelentősen csökkentek. 1996 és 2005 között a termelés lényegében stagnált, illetve — elsősorban az állattenyésztésben — kisebb mértékben tovább csökkent. A növénytermesztés egyes ágazataiban (pl. búza, kukorica) a kedvező időjárás néhány évben (pl. 2004, 2005) kiemelkedően magas terméshozamokat, termelésnövekedést eredményezett, ennek meg-

felelően alakult a kibocsátási trend. A mezőgazdasági szektor atmoszférikus nitrogén ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{N}_2\text{O-N}$) és üvegházgáz-kibocsátása (N_2O , CH_4), az 1985. évi értékekhez képest a felére csökkent. Mivel az emissziószegény állattartási és növénytermesztési technológiák hazánkban még kevésbé terjedtek el, a kibocsátási trendek lényegében a termelés volumenének alakulását követték.

5. ábra: A mezőgazdaság metánkibocsátása 1985 és 2005 között, kulcsforrás-kategóriák szerint

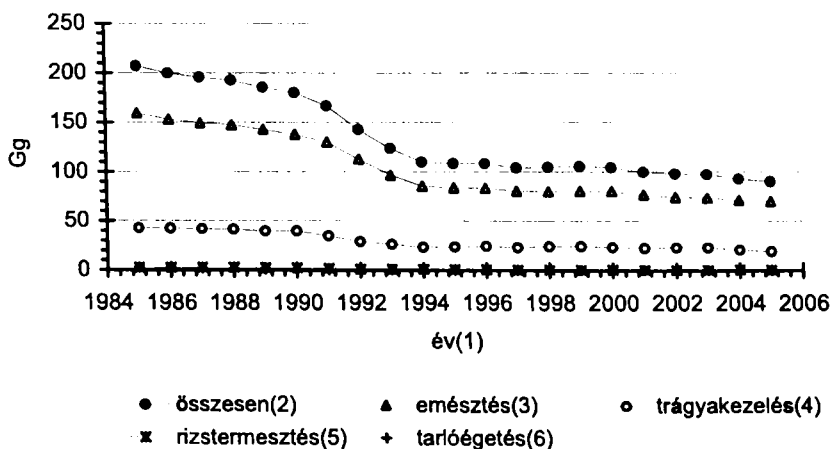


Fig. 5.: Methane emissions from agriculture between 1985 and 2005 by key-sources year(1), total(2), enteric fermentation(3), manure management(4), rice cultivation(5), field burning of agricultural residues(6)

A mezőgazdaság (állattenyésztés) jelentősége, mint atmoszférikus terhelést okozó forrás a nemzetgazdaság összes kibocsátásaihoz viszonyítva nem elhanyagolható. Az ammónia (1. ábra) esetében a mezőgazdaság részaránya 90%, az üvegház-gázoké (6. ábra) — CO_2 -ekvivalensben kifejezve — az 1985–2005 közötti időszak átlagában 13%, amivel az energia-felhasználás (közel 80%) után második legfontosabb kibocsátási szektor. Az abszolút kibocsátások csökkenésével párhuzamosan a mezőgazdaság részaránya az összkibocsátásban is csökkenő tendenciát mutat, az 1985. évi 15%-kal szemben, 2005-ben alig haladta meg a 11%-ot.

A vizsgált időszakban a nemzetgazdaság összes dinitrogén-oxid kibocsátásának (7. ábra) hozzávetőlegesen 67%-a (66–75%, csökkenő tendencia) mezőgazdasági eredetű, ennek 17%-a (16–25%) írható a trágyakezelés, 68% (66–75%) a mezőgazdasági talajokban zajló nitrifikáció és denitrifikáció rovására (4. ábra). A metán esetében (8. ábra) a mezőgazdaság részaránya hozzávetőlegesen 32% (42–24%, csökkenő tendencia), ennek 77%-a (76–78%) keletkezett a kérődzők emésztési folyamata során (5. ábra).

6. ábra: A nemzetgazdaság CO₂-ekvivalensben kifejezett üvegház-gáz kibocsátása 1985 és 2005 között, szektorok szerint

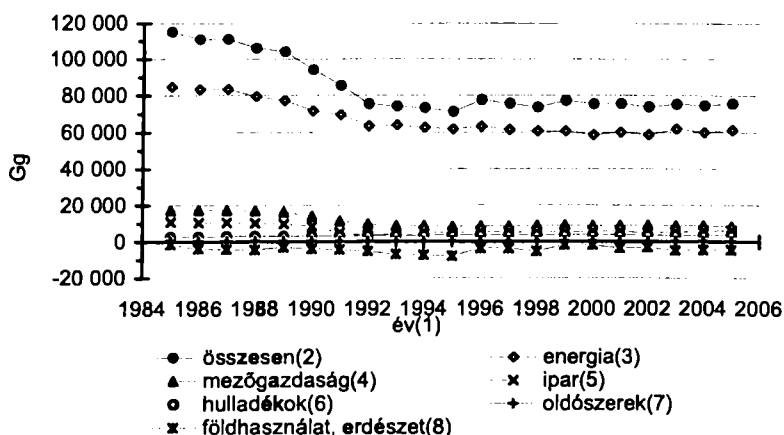


Fig. 6.: Greenhouse gas emissions in Hungary between 1985 and 2005 in CO₂-equivalent by sectors year(1), total(2), energy(3), agriculture(4), industrial processes(5), waste(6), solvent and other product use(7), land use, land use change and forestry(8)

7. ábra: A nemzetgazdaság dinitrogén-oxid kibocsátása 1985 és 2005 között szektorok szerint

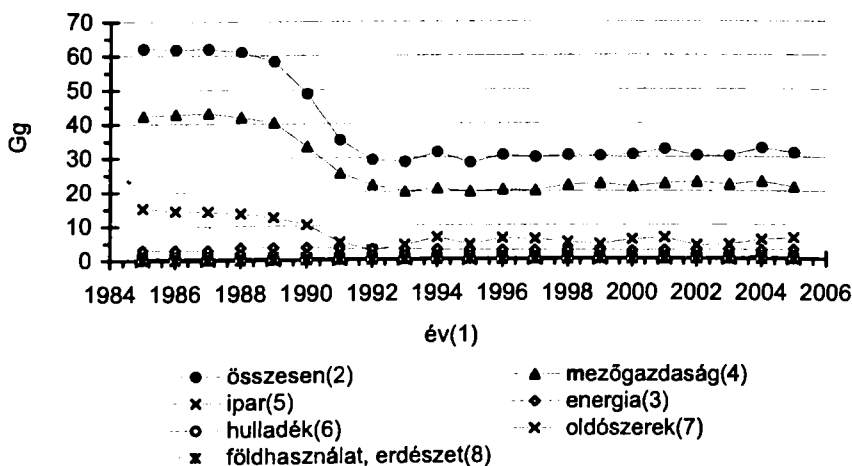


Fig. 7.: Nitrous oxide emissions in Hungary between 1985 and 2005 by sectors as in Fig. 6.(1–8)

8. ábra: A nemzetgazdaság metán kibocsátása 1985 és 2005 között szektorok szerint

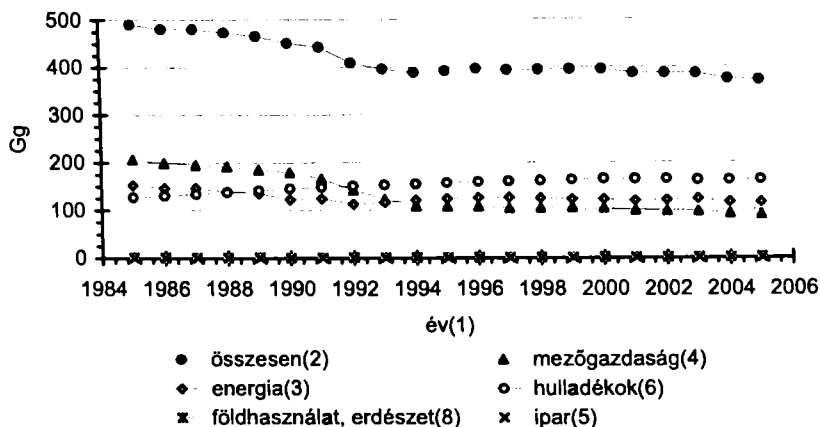


Fig. 8.: Methane emissions in Hungary between 1985 and 2005 by sectors as in Fig. 6.(1–6, 8)

A mezőgazdasági eredetű emissziók csökkentésének lehetőségei

Ammónia: Az ammóniaemissziók csökkentésére szolgáló technikai lehetőségek köre az 1990-es években, elsősorban Nyugat-Európában (Hollandia, Nagy-Britannia, Németország, Svédország, Svájc) végzett kutatásoknak köszönhetően ma már jól ismert. Bizonytalanság, illetve ismerethiány, elsősorban az alkalmazási lehetőségek és az elérhető csökkentési potenciál tekintetében áll fenn. További kutatásokat igényel a különböző intézkedések hatékonyságának megállapítása, illetve az emissziócsökkentő technológiai rendszerek bevezetése a gyakorlat körülményei között. Számos, az emissziócsökkentő intézkedések hatékonyságát befolyásoló tényező hatása, gyakorlati tapasztalatok hiányában, ma még nehezen becsülhető, ezért a csökkentési potenciál mértéke is csak hozzávetőlegesen ítéltető meg. Részletes ajánlások regionális szinten, sőt, adott esetben, a konkrét üzemi feltételeknek megfelelően dolgozhatók ki. A lehetséges, vagy szükséges intézkedéseket, és az azokkal kapcsolatos leglényegesebb megfontolásokat, a 3., 4., 5. 6. és 7. táblázatban foglaltuk össze.

Az istállókra (3. táblázat) és a trágyatárolókra (4. táblázat) vonatkozó intézkedések technikai szempontból minden üzemben kivitelezhetők. Számottevő emissziócsökkenés azonban csak hosszabb távon várható, mivel ezek jelentős költségekkel járó beruházásokat, illetve rekonstrukciót jelentenek.

A kijuttatáskor (5. táblázat) megvalósítható intézkedések rövid távon is megvalósíthatók (bár bizonyos költségvonzatok itt sem elhanyagolhatók), azonban sokkal több, a helyi földrajzi- és talajviszonyoktól, valamint a tényleges üzemi feltételektől függő korlátozó tényezővel kell számolni. A lehetséges intézkedések egy része viszont csak munkaszervezési feladatokat támaszt.

3. táblázat

Az ammóniaemissziók csökkentésének technikai lehetőségei az istállóban

Intézkedés	%	Megjegyzés
Szarvasmarha		
Kötött tartás a pihenőboxos futóistállóhoz képest	55	állatjóléti probléma
Optimalizált tolólapos rendszerek vízeletelvezető csatornával és sima, lejtős padozattal	15	utólagos beépítése nem egyszerű; sima járófelület fontos, de állatjóléti szempontból nem kedvező
Optimalizált tolólapos rendszerek vízüblítéssel elvezető csatorna és lejtős járófelület nélkül	20	utólagos beépítése nem egyszerű; a sima járófelület fontos, de állatjóléti szempontból nem kedvező
elvezető csatornával és lejtős járófelülettel	30	technikailag bonyolult és meghibásodásra hajlamos
Etető állás (helykorlátozás az etetővályúnál)	10	kb. 50 l/NÁE/nap* vízfelhasználástól kezdve hatékony, azaz kb. megduplázódik a hígtrágyavolumen
Sertés		
Optimalizált állások, részleges ráncpadozat, lejtős padozat, elkülönített etető és pihenő hely, optimalizált szellőztetés	25	a hatékonyság nagyon változó, elsősorban hízó- és növendékistállóban használható
Öblítőrendszer és ráncpadozat	30	alacsony ammóniatartalmú öblítő-folyadékra van szükség (előállítás nem egyszerű)
Tolólapos trágyaelváltó rendszer a ráncpadozat alatt, vízeletelvezető csatornával és sima, lejtős felülettel	35	rendszeres karbantartása fontos, de nehéz
Csökkentett hígtrágyafelület a trágyacsatornában	30	elsősorban tenyészkocák alatt, és az elletőistállóban (kötött tartás), valamint nagyobb állományok tartása esetén a csatornákat öblíteni kell állatvédelmi szempontból a kötött tartás kifogásolható
Impulzusszegény levegőmozgatás	20	csak mesterséges szellőztetéssel lehetséges
Biofilterek	30	csak mesterséges szellőztetés esetén lehetséges, a rendszeres felügyelet és karbantartás fontos
Baromfi		
Szalagos trágyaelváltó, kitrágyázás 2–4. hét	65	
Szalagos trágyaelváltó, kitrágyázás 1–2. nap	90	zárt trágyatároló szükséges a magas tárolási veszteségek elkerülésére
Szalagos trágyaelváltó, a trágya szárítása szellőztetéssel	90	kisebb állományok esetén technikailag problematikus

Megjegyzés: a csökkentés viszonyítási alapja szarvasmarha esetében a hagyományos, pihenőboxos kötött istálló, sertéstartásban a hagyományos részleges vagy teljes ráncpadozatos istálló, baromfitartásban a trágyaaknás rendszer; * NÁE=nagyállat egység

Table 3.: Technical possibilities of reduction of ammonia emissions in livestock stables

A nitrogén-kiválasztás csökkentése (6. táblázat) nem csak az ammónia-emissziókat mérsékli, hanem kedvező hatással van a mezőgazdaság többi, a környezetet terhelő nitrogén-kibocsátására is. A fehérjeellátás pontosítása a sertés- és a baromfitartásban a termelési színvonal lényeges visszaesése nélkül bevezethető (sikeres hazai kísérletekről számolnak be például Gundel és

mtszai, 2004), mindazonáltal fokozott szaktudást igényel, és kedvezőtlen körülmények között növeli a termelés kockázatát.

4. táblázat

Az ammóniaemissziók csökkentésének technikai lehetőségei a trágyatárolásban

Intézkedés	%	Megjegyzés
Hígtrágya		
Beton- vagy faszerkezetes fedett tárolás	90	a meglévő nyitott rendszerekre ritkán szerelhető fel
Sátortető	80	jól alkalmazható a meglévő nyitott tárolókon
Szalmaréteg a hígtrágya felületen	60	nem alkalmazható a tároló gyakori ürtése esetén
Szilárd trágya		
Baromfitrágya zárt tárolóban	90	

Megjegyzés: a csökkentés viszonyítási alapja a nyitott, tető nélküli trágyatárolási rendszer

Table 4.: Technical possibilities of reduction of ammonia emissions at manure storage

5. táblázat

Az ammóniaemissziók csökkentésének technikai lehetőségei a trágyakijuttatásakor

Intézkedés	Hígtrágya, %	Szilárd trágya, %	Megjegyzés
Az időjárás figyelembe vétele megfelelő nap kiválasztása (hűvös idő) esti/éjszakai kijuttatás kijuttatás esős időben	20 25 40	10 10 40	nem mindig lehetséges (növényzet fejlődési állapota, szükségletek, talajállapot, munkaszervezés, egyéb környezetterhelési szempontok stb.)
A trágyafelhasználás szezonális tervezése	20	20	csak kis állatállományok esetén lehetséges, műtrágyára is szükség lehet, esetleg a tárolókapacitás növelése is szükséges
Talajállapot figyelembe vétele	20	—	
Hígítás			
azonos N-mennyiség, kg/ha	20	—	csak megfelelő földrajzi helyeken lehetséges, a kijuttatás munkáigénye megnő
azonos hígtrágyavolumen, m ³ /ha	40	—	
Azonnali bedolgozás a kijuttatás után	20	40	a hígtrágyát 24 órán belül, a szilárd trágyát 4 órán belül be kell dolgozni
Talajlazítás a hígtrágya-kijuttatás előtt	20	—	vetés és aratás után lehetséges
Mélyárkos kijuttatás (sekély injektálás)	70	—	nedves, nehéz, köves talajon nem lehetséges, talajkárosodások lehetségesek, nagy vonóerőigény
Mélyárkos kijuttatás (mély injektálás)	90	—	nem minden talajon lehetséges, a talajszerkezet károsodása előfordulhat

Megjegyzés: a csökkentés viszonyítási alapja a felszíni trágyaterítés

Table 5.: Technical possibilities of reduction of ammonia emissions at manure spreading

6. táblázat

A nitrogén-kiválasztás csökkentésének lehetőségel a takarmányozás optimalizálásával

Intézkedés	Redukció % N _{ex}	Megjegyzés
Szarvasmarha		
Optimális takarmányozás, minimális fehérjefelesleg (de magas tömegtakarmány-hányad), alacsonyabb N-trágyázás	0–25	minden üzemben lehetséges, magas szakmai követelmények
Teljesítménynövelés, egyedi takarmányozás, célzott energiakiigyeenlítés, alacsonyabb N-tartalmú alaptakarmány	5–10	magas szakmai követelmények, többlet-ráfordítások a takarmányozásban, takarmánykonzerválásban, stb.
Fehérjefelesleg csökkentése magasabb abrak-hányad útján	10–20	nagyobb abrakszükséglet (vásárlás), esetleg nehézségek a tápanyagmérlegben és a legelőhasznosításban
Sertés		
Optimális takarmányozás a jelenlegi normáknak megfelelően	10	minden üzemben lehetséges, magas szakmai követelmények
Optimalizált takarmányadagok; a takarmányadagok fehérjetartalmának csökkentése aminosav-kiegészítéssel; különböző adagok az elő- és utóhizlalásban ill. Szoptató és vemhes kocáknak	20–25	magas szakmai követelmények
Többfázisos takarmányozás; több aminosavkiegészítés, speciális komponensek	30–35	magas szakmai követelmények, többletköltségek, speciális komponensek alkalmazása csak kivételes esetben lehetséges
Baromfi		
Biztonsági tartalékok leépítése		
Tojótyúkok	15	nagyobb kockázat (tollcsipkedés, kannibalizmus stb.),
Broilerhizlalás, növendékek	5	magas szakmai követelmények
Pulykák	0	
Többfázisú takarmányozás		
Tojótyúkok	2–3	részben már megvalósult
Broilerhizlalás, növendékek	5	
Pulykák	<5	problematis az állatok nagy növekedési intenzitása miatt

Table 6.: Possibilities of nitrogen secretion reduction by feeding optimization

A legeltetés arányának növelése a legtöbb üzemben csak korlátozottan lehetséges, ezért ennek emissziócsökkentési potenciálja nem jelentős.

A lehetséges csökkentési módszereket és azok elméleti maximális hatékonyságát a 7. táblázatban foglaltuk össze. Az emissziócsökkentő intézkedések vizsgálatakor, a technikai megvalósíthatóság mellett, üzemgazdasági szempontokat is figyelembe kell venni. Döntő szerepet játszhat a különböző intézkedések megítélésében, a fajlagos (az intézkedés révén elért egységnyi emissziócsökkentésre vetített) költség.

7. táblázat

**Az ammónia-emissziók csökkentésének lehetőségel
és azok elméleti maximális hatékonysága (%)**

Haszonállat-kategória	Takarmányozás	Istállók és trágyatárolás		Kijuttatás	
	Szükségletnek megfelelő nitrogénellátás	Istálló-rekonstrukció	Zárt trágya-tárolás	Biofilterek	Alacsony kibocsátású trágyakijuttatás
Tejelő tehén	20–25	50	10	—	90
Egyéb szarvasmarha	—	—	10	—	90
Sertés	15–35	65	—	90	90
Tojótyúk	10	60	80	80	90
Egyéb baromfi	20	90	80	80	90
Juh	—	—	—	—	—
Ló	—	—	—	—	—

Table 7.: Possibilities of reduction of ammonia emissions and the theoretical maximum efficiency thereof (%)

Dinitrogén-oxid: A nitrogénforgalom csökkenése (az ammóniához hasonlóan) arányosan csökkenti a dinitrogén-oxid kibocsátást is. Ez irányba hat az állatlétszámok vagy a nitrogén-műtrágya felhasználás mérséklése. Az állati fehérje fogyasztás visszaesése szintén a mezőgazdasági nitrogén-anyagforgalom csökkenése irányába hat, mivel az atmoszférikus nitrogénvesztések a növénytermesztésben lényegesen kisebbek, mint az állattenyésztésben.

A dinitrogén-oxid emissziók esetében is kulcskérdés a gazdasági haszonállatok nitrogénellátásának pontosítása, azaz a nitrogénfeleslegek csökkentése a takarmányozásban (vö. az ammóniamemissziók csökkentésével kapcsolatosan leírtakat és a 6. és 7. táblázatot). Minél kevésbé felel meg a tényleges igényeknek takarmány fehérje/aminosav-tartalma, annál magasabb az exkrementumokkal kiürített nitrogén mennyisége, amiből aztán a dinitrogén-oxid (és/vagy ammónia-) emissziók keletkezhetnek.

A trágyakezelési módszerek közül a hígtrágyás tárolórendszerek alkalmazása a szilárd trágyás rendszerek helyett az előbbi alacsonyabb emissziós faktora miatt lényeges emissziócsökkenést eredményez az üvegházgáz-leltárban. Ebben az esetben azonban, a hígtrágya kijuttatásakor, valószínűleg több direkt és indirekt dinitrogén-oxid emisszió keletkezik, mint a szilárd trágya esetében. A hígtrágyás rendszerekben a metánemisszió, valamint az okozott vízvédelmi problémák is nagyobbak.

A műtrágyázás több részletre való elosztása révén a talaj nitráttartalma és így a denitrifikációkor keletkező dinitrogén-oxid emissziók alacsonyan tarthatók, különösen, ha az egyes trágyaadagokat a növények aktuális igénye szerint alakítják. Hasonló eredményt hozhat, a nitrogéntartalmat fokozatosan felszabadító speciális műtrágyák (slow-release fertilizer) alkalmazása. Az időjárási viszonyoknak legmegfelelőbb műtrágyatípus alkalmazása szintén csökkentheti a talajok dinitrogén-oxid kibocsátását. Ammóniumtartalmú műtrágyák általában a száraz, a nitráttartalmú műtrágyák pedig a nedves talajokon okoznak nagyobb emissziókat. Különösen nagy lehet az emisszió, ha szerves és műtrágyákat egyidejűleg juttatnak ki.

A pillangósok arányának növelése a takarmánytermesztésben, csökkenti a takarmánytermesztés által okozott dinitrogén-oxid emissziókat. A talajtömörödés növeli az emissziókat, ezért minden talajművelési intézkedés, amely az ellen hat, redukálja azt. A gyepterületek gyakoribb kaszálása növeli a gyökérbiomassza-tömegét és így a növényzet nitrogénfelvevő képességét, miáltal a növényzet nagyobb mértékben vonja el a talajból a nitrifikációhoz rendelkezésre álló nitrogént.

A legelőkön általában ideálisak a körülmények a dinitrogén-oxid képződéshez. A legelési idő megrövidítése ezért pozitív hatású a dinitrogén-oxid emissziók csökkentése szempontjából. A jelenlegi magyarországi helyzet azonban, állat- és természetvédelmi szempontok miatt éppen a legeltetés növelését indokolja.

A trágya kijuttatása során keletkező dinitrogén-oxid emissziókat a kijuttatás technikája befolyásolja, de az eredmények nem egyértelműek. Ezért az értékelésben az ammóniaemissziók szempontjait fontosabbnak kell tekinteni. Az ammóniaemissziók csökkentése szempontjából kedvező kijuttatási technikák (pl. a trágya gyors bedolgozása) növelik a talajban a dinitrogén-oxid képződést. Nitrifikáció-inhibitorok használatával megakadályozható az ammónium nitráttá alakulása, így elvonható a nitrifikáció alapanyaga, de ezeknek az anyagoknak nem kívánatos mellékhatásai is vannak.

Metán: A mezőgazdaság legjelentősebb metánkibocsátói, emésztési sajátosságaik miatt a kérődzők, elsősorban a szarvasmarha. Az anaerob körülmények között tárolt trágya esetén viszont minden haszonállat-faj esetében jelentős metántermeléssel kell számolni.

A haszonállat-tartásban tehát elvileg lehetőség van a metánemissziók csökkentésére a takarmányozás, a szelekció (genetikai előrehaladás) és a szerves trágya-tárolás technológiájának javításával, illetve az állatlétszámok csökkentésével.

A kérődzők metántermelésének minimalizálását célzó kutatások, évtizedek óta, világszerte folynak. Az eddig elért eredményekhez képest nem túl nagymértékű csökkentés érhető el a szarvasmarhák az abrak- és zsíretetésének a növelésével. Az abrakhányad azonban Magyarországon már jelenleg is magas, további növekedése nem várható. A takarmányozásban megvalósítható egyéb intézkedések (egyes takarmány-kiegészítők, teljesítményfokozók, defaunálás, génmanipuláció) hatékonysága több szempontból vitatott, és társadalmi elfogadottságuk is kérdéses, az ellenőrzött és ökológiai termelés térhódításával, jelentősége tovább fog csökkenni.

A genetikai előrehaladás, a termelési színvonal növekedése csökkenti a fajlagos (egységnyi termékre, pl. kg tejre számított) metánemissziót, az abszolút emisszióra azonban csak az állatlétszámokkal összefüggésben van hatással.

A trágyakezelés a metánemisszió alatti elvileg sokféle intézkedéssel (a szerves trágya-tárolás időtartamának rövidítése, aerob trágyakezelési rendszerek, a trágyafelszín lefedése, komposztálás, a hígtrágya szeparálása, biogáztermelés, a mikrobiális lebontás irányítása) csökkenthető. A szükséges gyakorlati ismeretek hiánya miatt, ma még nem lehet teljesen kihasználni a lehetőségeket. A szerves trágyák metánemisszió-szegény kezelésével kapcsolatos konkrét ajánlások kidolgozásához további gyakorlatorientált kutatásokra

van szükség. Vizsgálni kellene a szerves trágya-tárolók befedésének hatékonyságát. A hígtrágyáról szilárd trágyára való átállás szintén csökkentheti a metánemissziót. Hazánkban a szilárd trágyás rendszerek aránya már ma is lényegesen nagyobb a nyugat-európainál, de további jelentős eltolódás nem valószínű. A tárolási idő és a szerves trágya kezelési módjának megválasztásakor célkonfliktusok vannak. A levegő- és vízvédelmi érdekek (ammónia-emisszió) részben ellentétben állnak a metánemisszió-csökkentés érdekeivel. Nem utolsósorban, a költségekkel kapcsolatos számos kérdés is tisztázásra szorul.

Feltehető, hogy a tenyésztési előrehaladás és a mezőgazdasággal szemben támasztott ökológiai követelmények miatt a haszonállat-állomány — különösen a tejelő tehénállomány — csökkenni fog. Ez bizonyos metánemisszió-csökkentést eredményezhet, feltéve, hogy a termelés konstans marad. A hús- és tejfogyasztás, az önellátás fokától függően, indirekt módon, az országhatárokon kívül is metánemissziókat okozhat. Az export-import-mérleg változása befolyásolhatja a nemzeti metánmérleget. A metánemisszió azonban, hasonlóan a dinitrogén-oxid kibocsátáshoz, globális probléma (a metán légköri tartózkodási ideje 12, a dinitrogén-oxidé 120 év), a klímaproblémák szempontjából mindegy, hol kerül a metán a levegőbe.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az ammónia esetében a hatékony emissziócsökkentés általában kombinált intézkedéseket igényel. A technikailag és ökonómiailag optimális kombináció a regionális viszonyoktól és az egyes üzemek konkrét körülményeitől függ. Az emissziócsökkentés elméletileg kívánatos mértékét a kritikus nitrogéndepozíciós értékekből (critical loads) kell levezetni, a stratégia kidolgozásakor azonban az ökológiailag indokolt célkitűzések mellett figyelembe kell venni a fellépő célkonfliktusokat (más típusú környezeti terhelések, állatvédelmi-állattjóléti és üzemgazdasági-munkaszervezési szempontok) és a politikai, ökonómiai, szociális realitásokat is.

A dinitrogén-oxid képződésének komplex folyamata, és az emissziók mérésének nehézségei, megnehezítik, hogy a különböző intézkedések hatékonyságát megítéljük. Kivételt képez ez alól a nitrogénfeleslegek leépítése, a mezőgazdaság nitrogén-anyagforgalmának csökkentése. Ezen intézkedés végrehajtható, hatása vitathatatlan és jelentős. Fontos lehet továbbá, hogy a nitrogénfelhasználás hatékonysága javuljon a mezőgazdaságban, ezáltal csökkenjen a veszteségként környezetbe jutó nitrogén mennyisége. Ha azonos szinten maradó termelés mellett a nitrogénveszteségek csökkennek, alacsonyabbak lesznek a dinitrogén-oxid emissziók is.

A haszonállatok energiaháztartása, és a takarmányozás szempontjából, a metánveszteségek egyben gazdasági veszteséget is jelentenek. A veszteségek minimalizálását célzó kutatások évtizedek óta világszerte folynak. Az ételminszeregségre vonatkoztatott metánemisszió, a termelés intenzifikálásával csökkenthető, és további, nem túl nagymértékű csökkentés a szarvasmarhák abrak-eteretésének növelésével is elérhető. A szerves trágyákból származó metánemisszió csökkentésének a lehetőségei jelentősebbeknek tűnnek. Hasonlóan

az ammóniához és a dinitrogén-oxidhoz, a metánemissziók csökkentésének lehetőségeit sem szabad más aspektusoktól függetlenül vizsgálni.

Az ammónia-, dinitrogén-oxid- és metánemissziók csökkentését szolgáló különböző intézkedések jelentős cél- és érdekkonfliktusokat eredményezhetnek. A lehetséges intézkedések elviralásakor, az emissziókra gyakorolt hatás mellett, számos egyéb szempontot is figyelembe kell venni: pl. más üvegházgáz-emissziók, ammóniaemissziók, nitrátkimosódás, állatvédelem-állatjólét, a biodiverzitásra gyakorolt hatás, egyéb környezeti hatások, a gyakorlati termelés feltételei és az egyes intézkedések költségei és végrehajthatósága. Az összességében optimális megoldások, a különböző intézkedések előnyeinek és hátrányainak mérlegelése után találhatók meg, és régióként, sőt üzemenként eltérőek lehetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző köszönetet mond Dr. Faragó Tibor főosztályvezetőnek (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Stratégiai Főosztály), Kis-Kovács Gábor osztályvezetőnek és Kajtárné Lovas Katalinnak (Országos Meteorológiai Szolgálat, Üvegházgáz Nyilvántartási Osztály) a dolgozat elkészítése során nyújtott szakmai segítségért és baráti támogatásért.

IRODALOM

- Aamink, A.J.A. – Verstegen, M.W.(2007): Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. Liv. Prod. Sci., 109. 1/3. 194–203.
- AGRO-21 Füzetek(2005): Klimaváltozás – Hatások – Válaszok. AGRO21 Kutatási Programiroda, Budapest, 42. 199.
- Asman, W.A.H. – van Jaarsveld, H.A.(1990): Regionale und Europaweite Emission und Verfrachtung von NH_x -Verbindungen. In: Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Proceedings of a Conference held at Braunschweig, Germany, Eds.: Hartung, J. – Paduch, M. – Schirz, S. – Döhler, H. – Van den Weghe, H., 2. 1–35.
- Block, J.(2006): Stickstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Rheinland-Pfalz, 60/06. 1–31.
- Borka, Gy.(1998): Modelluntersuchungen zur Bestimmung der Ammoniakemissionen aus Rinderexkrementen im Stallbereich. Dissertation, ETH Zürich, Nr. 12830.
- Borka, Gy.(2002): A haszonállat-tartásból származó metánemisszió meghatározására szolgáló differenciált módszer kidolgozása a magyar mezőgazdaság sajátosságainak figyelembe vételével. Zárójelentés, FVM K+F 120-e/2000 kutatási program
- Borka, Gy.(2003): Ammónia, nitrogén-oxid és metánemissziók a magyar mezőgazdaságból: emissziós trendek, az emissziócsökkentés lehetőségei, ajánlások. (beszámoló jelentés). FVM K+F 89-d/2002
- Borka, Gy.(2007a). National Inventory Report for 2005 – Hungary, Chapter 6. – Agriculture. In: National Inventory Report for 2005 – Hungary. Eds.: Kis-Kovács G. – Gáspár, L., Hungarian Meteorological Service – Ministry for Environment and Water of Hungary - UN. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (www.unfccc.int)
- Borka, Gy.(2007b). Greenhouse Gas Inventory 2005 Common Reporting Format – Hungary, Sector 4. – Agriculture (Sectoral Report for Agriculture, Sectoral Background Data for Agriculture). In: Greenhouse Gas Inventory 2005 Common Reporting Format – Eds.: Kis-Kovács G. – Gáspár, L., Hungarian Meteorological Service – Ministry for Environment and Water of Hungary - UN. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (www.unfccc.int)
- Buijsman, E. – Maas H.F.M. – Asman, W.A.H.(1987): Anthropogenic NH_3 emissions in Europe. Atmospheric Environment, 21. 1009–1022.
- Cornaz, S. – Decrem, M. – Fleisch, R. – Herzog, F. – Lazzarotto, P. – Leifeld, J. – Liechti, P. – Menzi, H. – Murali, R. – Nievergelt, J. – Prasuhn, V. – Richner, W. – Spiess, E.(2005): Evaluation der Ökomassnahmen Bereich Stickstoff und Phosphor. Schriftenreihe der FAL, 57.

- Draaijers, G.P.J. – Ivens, W.P.M.F. – Bos, M.M. – Bleuten, W.*(1989): The contribution of ammonia emissions from agriculture to the deposition of acidifying and eutrophying compounds onto forests. *Environmental Pollution*, 60. 55–66.
- Ellenberg, H. jr.*(1983): Gefährdung wildlebender Pflanzenarten in der Bundesrepublik Deutschland. Versuch einer ökologischer Betrachtung. *Forstarchiv* (Hannover), 54. 4. 127–133 (In: *Ellenberg*, 1990)
- Ellenberg, H.*(1990): Ökologische Veränderungen in Biozönosen durch Stickstoffeintrag. In: Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Proceedings of a conference held at Braunschweig, Germany, Eds.: *Hartung, J. – Paduch, M. Schirz, S. – Döhler, H. – Van den Weghe, H.*, 44. 1–24.
- Ellenberg, H.*(1990): Ökologische Veränderungen in Biozönosen durch Stickstoffeintrag. Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Proceedings of a conference held at Braunschweig, Germany, Eds.: *Hartung, J. – Paduch, M. Schirz, S. – Döhler, H. – Van den Weghe, H.*, 44. 1–24.
- EMEP-CORINAIR*(2003): Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 3rd Edition, Update. (EMEP: Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, CORINAIR - The Core Inventory of Air Emissions in Europe)
- Faragó, T.(szerk.)*(1998): Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: kiadói jegyzőkönyv az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezményéhez és a hazai feladatok. Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest, 96. (kézirat)
- Faragó, T.*(2007): A globális éghajlatváltozás veszélye és a nemzetközi együttműködés. *Külügyi Szemle*, 6. 1. 79–94.
- Faragó, T. – Kerényi, A.*(2003): Nemzetközi együttműködés az éghajlatváltozás veszélyének, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és Debreceni Egyetem, 70.
- Faragó, T. – Takács-Sánta, A. – Feiler, J.*(2005): Az éghajlatváltozás kockázatának mérséklése. In: *Az „Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon”, Alinea-Védegyet*, 159–172.
- Flückiger, W.*(1988): Stickstoff und Stickstoffverbindungen in der Luft und ihre ökophysiologische Bedeutung. *CHIMIA*, 42. 41–56.
- Flückiger, W.*(1990): Auswirkungen luftbürtiger N-Verbindungen und deren Folgeprodukte auf Wald und naturnahe Ökosysteme. *Schriftenreihe FAC*, 7. 15–39.
- Gundel, J. – Hermán, I.-né – Szelényiné Galántai M.*(2004): Különböző hasznosítású sertések táplálóanyag-szükséglete, ill. ajánlások az abrakkeverékekben biztosítandó táplálóanyagok mennyiségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 53. 3. 291–301.
- Hesterberg, R.*(1994): Die Stickoxide im schweizerischen Mittelland und der Stickstoffeintrag in ein Naturschutzgebiet. Dissertation, Physikalisches Institut der Universität Bern, Abteilung Klima- und Umweltphysik
- Hesterberg, R. – Blatter, A. – Fahmi, M. – Rosset, M. – Neftel, A. – Eugster, W. – Wanner, H.* (1996). Deposition of nitrogen-containing compounds to an extensively managed grassland in central Switzerland. *Environmental Pollution*, 91. 1. 21–34.
- IIASA (The International Institute for Applied Systems Analysis)*(2007): IIASA RAINS NH₃ Scenario: CP_CLE_Aug04 (Nov04). (www.iiasa.ac.at)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*(1995): IPCC Second Assessment Report: Climate Change: Climate Change 1995 – The Science of Climate Change – Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses – Economic and Social Dimensions of Climate Change (www.ipcc.ch)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*(2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in Greenhouse Gas Inventories. (www.ipcc.ch)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*(2001): IPCC Third Assessment Report: Climate Change: Synthesis Report – The Scientific Basis – Impacts, Adaptation & Vulnerability – Mitigation (www.ipcc.ch)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*(2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (www.ipcc.ch)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*(2007): The IPCC 4th Assessment Report: The Physical Science Basis – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Mitigation of Climate Change (www.ipcc.ch)
- Isermann, K.*(1990): Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer Stickstoffbilanz und Lösungsansätze zur hinreichenden Minderung. Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Proc. Conf. held at Braunschweig, Germany, Eds.: *Hartung, J. – Paduch, M. – Schirz, S. – Döhler, H. – Van den Weghe, H.*, 1. 1–1. 76.
- Kis-Kovács, G. – Gáspár, L.(szerk.)*(2007a): National Inventory Report for 2005 – Hungary. Hungarian Meteorological Service – Ministry for Environment and Water of Hungary – UN. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (www.unfccc.int)
- Kis-Kovács, G. – Gáspár, L.(szerk.)*(2007b): Greenhouse Gas Inventory 2005 Common Reporting Format – Hungary. Hungarian Meteorological Service – Ministry for Environment and Water of Hungary – UN. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (www.unfccc.int)

- Klaassen, G.(Ed.)(1992): Ammonia emission in Europe: Emission coefficients and abatement costs. Proceedings of a Workshop held at IIASA (Laxenburg, Austria), 288.
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal)(1985–1989, 1997–2005): Mezőgazdasági Statisztikai Évkönyv, Budapest
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal)(1990–1996): Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv, Budapest
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal)(2004): Állatállomány, 1851–2003. (belső munkaanyag)
- Menzi, H. – Frick, R. – Kaufmann, R.(1997): Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der FAL, 26.
- Minonzo, G. – Grub, A. – Fuhrer, J.(1998): Methan-Emissionen der schweizerischen Landwirtschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 298, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
- Mohr, H.(1986): Die Erforschung der neuartigen Waldschäden. Eine Zwischenbilanz. Biologie in unserer Zeit., 16. 2. 83–89.
- Mohr, H.(1994): Stickstoffeinträge als Ursache neuartiger Waldschäden. Spektrum der Wissenschaft, 1., 48–53.
- Nihlgård, B.(1985): The ammonium hypothesis - an additional explanation of the forest dieback in Europe. Ambio, 14. 1. 2–8.
- Ortloff, W. – Schlaepfer, R.(1996): Nitrogen deposition and forest health: A literature review. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 167. 9–10. 184–201.
- Pálvölgyi, T. – Faragó, T.(1996): Az éghajlatváltozás kockázata: kiváltó okok, következmények, a megelőzés és az alkalmazkodás lehetőségei. Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest, 59.
- Roelofs, J. G. M. – Kempers, A. J. – Houdijk, A. L. F. M. – Jansen, J.(1985): The effect of airborne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. *maritima* in the Netherlands. Plant and Soil, 84. 45–46.
- Rotz, A.(2004): Management to reduce nitrogen losses in animal production. J. Anim. Sci., 82. (E. Suppl.) 119–137.
- Schmid, M. – Neftel, A. – Fuhrer, J.(2000): Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL, 33.
- Stadelmann, F.X.(1990): N in der Landwirtschaft: Kreislauf, Probleme, Verluste, Synthese, Schlussfolgerungen. Schriftenreihe FAC, No. 7. 141–191.
- Stadelmann, F.X.(1992): Mögliche Wirkungen von Stickstoff aus landwirtschaftlicher Sicht. In: Waldschädenforschung in der Schweiz: Stand der Kenntnisse. Ursachen von Waldschäden – Risiken für den Schweizer Wald. Waldschäden und Luftschadstoffe. Forum für Wissen 1992, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL - FNP, 113–126.
- Stadelmann, F.X. – Achermann, B. – Lehmann, H.J. – Menzi, H. – Pfefferli, S. – Sieber, U. – Zimmermann, A.(1996): Ammoniak-Emissionen Schweiz. Stand, Entwicklung, technische und betriebswirtschaftliche Möglichkeiten zur Reduktion, Empfehlungen. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW), des Eidg. Volkswirtschaftsdepartementes (EVD) im Rahmen der Bundesratsbeschlüsse zu den kantonalen Massnahmenplanung Luftreinhaltung. FAL-IUL Liebfeld, FAT Tänikon, 61.
- Starmans, D.A.J. – Roek, K.W. van den(2007): Ammonia: the case of the Netherlands. Wageningen, Netherlands, 200.
- Természet Világa(2004): Klímaváltozás, hazai hatások. Természet Világa, 135. II. Különszám
- VAHAVA(2003, 2004): Globális klímaváltozás program. A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az erre adandó válaszok Jelentések és vitaanyagok. (www.vahava.hu)
- Van Breemen, N. – Burrough, P. A. – Velthorst, E. J. – Dobben, H. F. – de Wit, T. – Ridder, T. B. – Reinders, H. F. R.(1982): Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. Nature, 299. 548–550.
- Warneck, P.(1988): Chemistry of the natural atmosphere. Academic Press, San Diego

Érkezett: 2007. október
 Szerző címe: Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet
 Author's address: Research Institute for Animal Breeding and Nutrition
 H-2053 Herceghalom, Gesztenyés út 1.