



A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLAT- TENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI

A SZARVASMARHÁK METÁNKIBOCSÁTÁSÁNAK MÉRÉSE

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

A szarvasmarhatartásból származó metán- (CH_4 -) kibocsátás két fő forrása a takarmányfermentáció, valamint a trágyakezelés (azon belül is a trágyatárolás) során végbemenő metanogenezis. Az előbbi különösen a legelőn tartott állatállományok esetén domináns, melynek mértékéhez hasonló lehet, sőt azt meg is haladhatja a trágyakezelésből eredő kibocsátás volumene olyan telepeken, ahol nagy mennyiségű hígtrágya kezelésére, tárolására és kijuttatására kerül sor.

A témához kapcsolódó főbb általános információkat a továbbiakban az Egyesült Államok Természet, Műszaki és Orvostudományi Akadémiái által 2018-

ban közzétett, „Az emberi tevékenységből származó metánkibocsátás pontosabb meghatározása az Egyesült Államokban” című kiadvány alapján foglaljuk össze.



Megközelítések és módszerek a légkörbe kerülő CH_4 mennyiségének meghatározására

A CH_4 - és más gázemissziók volumenének számszerűsítése többféle módszerrel, széles tér- és időskálán történhet, kezdve annak éves, nagyléptékű, globális becslésétől az egyedi forrásokból (például egy tehéntől, adott hígtrágyatárolóból vagy a telep szántóföldjére kijuttatott és a talajfelszínen hagyott trágyából stb.) származó kibocsátások rövid ideig tartó

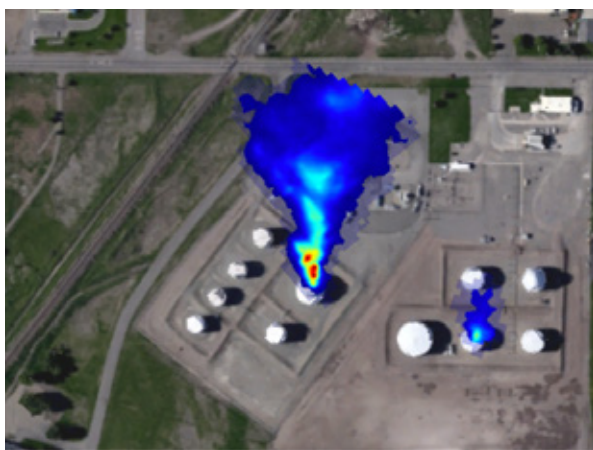
méréséig. Globális, kontinentális és regionális szinten az emissziós források által generált összkibocsátás mértéke különböző modellek segítségével állapítható meg a légköri CH_4 -koncentrációra és légmozgásra vonatkozó adatok felhasználásával. Az így kapott eredmények azután forrascsoportonként felbonthatók, és – szükséges esetén – akár konkrét forrásokhoz



is rendelkezhető, bár az utóbbi meglehetősen nehéz feladat. Ezt – a számunkra kevésbé releváns – megközelítést **top-down, azaz fentről lefelé irányuló becslésnek** nevezzük, amelynek pontosságát a légköri gázmozgások modellezésének bizonytalanságai, különösen a kisléptékű folyamatok nem megfelelő reprezentálhatósága korlátozza. A CH_4 -koncentráció és a légmozgás mérése különféle eszközökkel, többek



nyomon követéséhez, valamint a klímaváltozás dinamikájának megértéséhez. A GOSAT-2-t 2018. október 29-én indította útjára a Japán Űrkutatási Ügynökség (JAXA) az ország Környezetvédelmi Minisztériumának és Nemzeti Környezettudományi Intézetének közös projektje keretében. A küldetés alatt szerzett adatokat a 22 tagállamot számláló Európai Űrügynökség is megkapja a JAXA-val kötött megállapodása értelmében. (European Space Agency, 2023)



gyakorolt hatásainak felmérésében és az emissziócsökkentési stratégiák kidolgozásában.

A LiDAR a lézere energiát használja érzékelésre, távolság- és szögmérésre, valamint képzésként: fókuszált, pulzáló lézerek sugarakat bocsát ki, majd érzékelővel méri azok visszaverődésének idejét (távolság- és szögmérés), illetve precíz, nagy felbontású, két- vagy háromdimenziós képeket alkot a vizsgált objektumokról. Még nagyon alacsony szintű CH_4 -koncentrációk észlelésére és mennyiségi meghatározására is képes, függetlenül az időjárási körülményektől, valamint más gázok légköri jelenlététől. (Farnell, 2024)

Az **alulról felfelé irányuló (bottom-up) megközelítés**, ellentétben a top-down becslésekkel, főként helyszíni, empirikus vizsgálatokra (például istállóknak, trágyatárolóknál végzett mérésekre) épül, vagy esetleg olyan modellekre támaszkodik, amelyek részletesen

között drónokkal, mérőtornyokkal, repülőgépekkel, üvegházhatású gázokat (ÜHG-okat) megfigyelő műholdakkal (például GOSAT, GOSAT-2), valamint olyan technikák alkalmazásával végezhető, mint a lézeres távmérés (light detection and ranging, azaz LiDAR) vagy az infravörös spektrometrián alapuló, légköri CH_4 -megfigyelés.

A japán **GOSAT-2 (más néven IBUKI-2) egy környezetmegfigyelő műhold**, amely a 2009. január 23-án útjára indult és jelenleg is működő GOSAT utóda. Elődjéhez hasonlóan a légkör szén-dioxid-, CH_4 -, ózon- és vízgőzszintjét monitorozza, továbbá méri a szén-monoxid- és a nitrogén-dioxid-szintet is. Minden általa megfigyelt földfelszíni ponthoz háromnaponta tér vissza, tehát minden harmadik nap rögzíti az egyes pontokra vonatkozóan a légköri gázok koncentrációját, lehetővé téve a változások elemzését.

Adatai elengedhetetlenek az emberi tevékenység hatásainak és a természetes folyamatok alakulásának

A **nagy teljesítményű, lézeralapú távérzékelési (LiDAR-) technológia** – melyet széles körben alkalmaznak a közművek (például a nagyfeszültségű távvezetékek, gátak, vízvezetékek stb.) ellenőrzésében, valamint a topográfiai és a vegetációs kutatások terén – a mezőgazdasági CH_4 -emissziók vizsgálatában is használható. Segítségével minimális emberi beavatkozással lokalizálhatók a mezőgazdasági telepek kibocsátási pontjai, illetve figyelemmel követhető a kibocsátások volumene, térbeli mintázata és időbeli változása, így fontos szerepet tölthet be a mezőgazdasági tevékenységek ÜHG-kibocsátásra

számba veszik a kibocsátáshoz hozzájáruló tényezőket. A kiindulási alapot ebben az esetben az egyedi forrásokból légkörbe kerülő CH_4 mennyisége képezi; a későbbiekben ebből vonnak le következtetéseket például az adott telep kibocsátására, több telep



adataiból pedig a nagyobb területi egységek, így a regionális, nemzeti, kontinentális vagy globális szintek emissziójának volumenére vonatkozóan. Bár a top-down és a bottom-up becslések eredményei csak ritkán egyeznek meg egymással, mégis mindkét megközelítésre szükség van a vizsgálati eredmények pontosítása és új kutatási irányok meghatározása érdekében.

A CH₄-kibocsátások becslésében tehát jelenleg a hagyományos technikákra – a közvetlen mérési eljárásokra és a modellezési megközelítésekre – támaszkodhatunk. A közvetlen mérések viszonylag megbízható, ám – nagyobb kiterjedésű emissziós forrásokra vagy egy állatállomány egészére nézve

– nem mindig reprezentatív adatokat nyújtanak, végrehajtásuk idő- és munkaigényes, nagyüzemi viszonyok között pedig meglehetősen nehézkes.

Modellezéskor különböző paraméterek kombinálásával (például az állomány nagyság, a takarmányfelvételi szint és a takarmányadag összetevői alapján), matematikai modellek segítségével becsüljük az emissziós rátát (egy bizonyos forrásból meghatározott időszak alatt a légkörbe kerülő CH₄ mennyiségét). Bár e módszer a mérésekhez képest költséghatékonyabb, csak nehezen képes lekövetni a CH₄-kibocsátás dinamikus jellegét, és a modellalkotás során alkalmazott egyszerűsítések, feltételezések a becslések bizonytalanságát eredményezhetik.

A mezőgazdasági CH₄-kibocsátások volumenének mérése

Megbízható CH₄-kibocsátási adatok gyűjtése több szempontból is kihívást jelent:

1. az emisszió volumene térben és időben (évszakonként, napszakonként) is ingadozik, ezért e változékonyság eredményes megragadása fontos kritérium a mintavételi eljárások kidolgozásakor, illetve a közülük való választáskor;
2. a CH₄ légköri koncentrációja nagyon alacsony (például a nappali átlagok 1900 és 2213 ppb közé esnek), ami pontos méréseket nyújtó, érzékeny műszerek használatát teszi szükségessé;
3. logisztikailag (különösen nagy állatlétszámok vagy nagy kiterjedésű mezőgazdasági területek esetén) nehéz lehet a mérőeszközök telepítése és a megfigyelőhálózatok kiépítése;
4. a gyűjtött adatok konzisztenciájának és összehasonlíthatóságának biztosítása érdekében kalibrálási és szabványosítási protokollok, valamint minőségbiztosítási eljárások kidolgozására van szükség.



Egy CH₄-mérési technika akkor tekinthető ideálisnak, ha nagy érzékenységgű, pontos, gyors, költséghatékony és lehetőség szerint automatizálható, továbbá nem befolyásolja az állatok anyagcsere-folyamatait, viselkedését és jóllétét, egyéb vizsgálatok esetén pedig a biokémiai folyamatokat és a felszíni gázáramlásokat. Fontos tényező emellett az is, hogy legyen lehetőség a mérési (különösen a szisztematikus és a véletlenszerű komponenseket egyaránt tartalmazó) hibák kiszűrésére, valamint – amennyiben szükséges – a mért adatok korrekciójára.

Jelenleg nem áll rendelkezésre olyan módszer, amely minden szempontból kielégítené e követelményeket, és bármely gazdálkodási környezetben vagy termelési rendszerben alkalmazható lehet. Több eljárásra is jellemző például, hogy növeli az állatok stressz-szintjét, és ezáltal befolyásolja azok takarmányfelvételét, illetve CH₄-termelését, míg a trágyakezeléshez köthető kibocsátások mérésére alkalmazott technikák némelyike megzavarja a felszíni gázáramlásokat, csökkentve ezáltal a vizsgálatok pontosságát. Mindezekon túl azt is fontos szem előtt tartani, hogy a különféle módszerek más-más célra szolgálnak, és a használatukhoz specifikus követelmények társulnak, amelyek figyelmen kívül hagyása kedvezőtlen hatással lehet az eredmények megbízhatóságára. Az ideális megoldást ezért többféle technika ötvözése jelentheti.

A jelenleg rendelkezésre álló módszerek a vizsgált állatok száma/terület nagysága szerinti növekvő sorrendben a következő csoportokba oszthatók:



- 1. pontszerű forrásokból (például egy adott állattól) légkörbe kerülő CH₄ mennyiségének mérése** (belső nyomjelzős technika, snifferek, pofamaszkok, kézi lézersetektorok stb. használatával);
- 2. kamratechnikák**, melyek esetén a kamrán kívüli és azon belüli, illetve a kamrába be- és onnan kilépő levegő CH₄-koncentrációjának különbsége alapján határozható meg egyes állatok/kis állatcsoportok emissziós rátája vagy néhány négyzetméteres területek (például a trágyatárolók és a hígrágyalagúnák felszínének) diffúz CH₄-fluxusa (az egységnyi területre eső, időegység alatti CH₄-áramlás);
- kifejezetten az állattartásból származó kibocsátások számszerűsítését szolgáló, **istálló tartás esetén alkalmazható tömegmérleg-megközelítések**;
- 4. mikrometeorológiai módszerek**, melyek a levegő CH₄-koncentrációja, valamint a szélesebbesség, a szélirány és a turbulencia mérésével kínálnak hosszabb távú becslést a kibocsátás átlagos volumenére vonatkozóan legelőkön tartott állatállományok vagy több száz négyzetméteres területek esetén;
- mezőgazdasági telepek és szántóföldek peremén végzett ún. **vonalmérések** (ezek egy adott területről légkörbe kerülő CH₄ mennyiségét a mért gázkoncentrációk alapján határozzák meg); **inverz disperziós modellezés** (ez az eljárás a légkörben levő CH₄ terjedésének mintái és a mért gázkoncentráció-értékek felhasználásával ad becslést az emissziós rátára); valamint **külső nyomjelző technikák** (amelyek alkalmazásakor egy vagy több, mesterségesen a légkörbe bocsátott jelölőanyag [tracer] segítségével

követik nyomon a CH₄-gáz mozgását és terjedését nagy, akár több négyzetkilométeres területeken, a kibocsátás mértékét pedig a jelölőanyag és a mért CH₄-koncentrációk összevetésével állapítják meg);

6. nagy mezőgazdasági területekről légkörbe kerülő CH₄-mennyiségek számbavételére szolgáló **tömegmérleg-technikák**, melyek esetén mérőeszközökkel felszerelt légi járművek (repülőgépek, drónok) mérik a CH₄-koncentrációt a területek körül és felett.

Partnertájékoztató Hírlevelünk jelen és következő számaiban – a teljesség igénye nélkül – a CH₄-emisszió mérésére alkalmas technikák közül mutatunk be egy válogatást. Ennek során a tejlő tehének takarmányfermentációjához köthető kibocsátásra fókuszálunk, és csak érintőlegesen foglalkozunk az egyéb forrásokból (például a trágyatárolókból, szántóföldekről stb.) légkörbe kerülő CH₄ mennyiségének meghatározásával. A trágyakezelés környezeti hatásait, illetve azok mérésének módszereit rovatunk későbbi írásaiban, az enterális eredetű CH₄-kibocsátás témakörének teljes körű áttekintése után fogjuk részletesen tárgyalni.

E cikk további részében és a következő számunkban az etalonnak számító légzőkamrákat, illetve azon egyéb módszereket vesszük górcső alá, melyeket a legelterjedtebben alkalmaznak a bendőfermentációhoz köthető CH₄-kibocsátás mérésében. Többségük (légzőkamrák, boxok, kénhexafluoridos nyomjelző technika) a teljes, 24 órás takarmányozási ciklus során követi nyomon a CH₄-termelődés változásait, megbízható adatokat szolgáltatva ezzel a későbbi elemzésekhez.

A standardnak tekintett légzőkamrák

Az állatok teljes testét körülvevő légzőkamrák használata jelentős beszerzési és üzemeltetési költséggel, illetve nagy munkaerőigénnyel jár, így elsősorban kutatási célokra korlátozódik. E konstrukciók egy-egy állat CH₄-kibocsátását kontrollált körülmények között, kissé negatív nyomás mellett mérik, ezzel biztosítva a gáz berendezésbe történő beáramlását, illetve megakadályozva az onnan való kiszivárgását. A kamrában keringő levegő összekeveredik a megfigyelt szarvasmarha szervezetéből bőföggéssel, kilégzéssel, illetve a végbélnyílásán át távozó CH₄-nal (e gáz mellett természetesen az állatok CO₂- és NH₃-kibocsátása is

tanulmányozható külön-külön vagy együttesen). A vizsgált gáz emissziós rátája a rendszer be- és kimeneti nyílásai közötti gázkoncentráció-különbség és a légáram sebességének szorzata alapján határozható meg automatizált mintavétel és infravörös gázelemzés segítségével. A mérések pontossága érdekében a rendszer periodikus kalibrálására, továbbá a kamra hőmérsékletének, relatív páratartalmának és a légáramlás sebességének szabályozására van szükség, a belső tér CO₂-koncentrációját pedig 1% alatt kell tartani, hogy az ne befolyásolja az állat anyagcseréjét.





1. kép: Egy klimatizált légzőkamra A. külső kialakítása; B. belső tere takarmány- és víztartályokkal, illetve C. ráccsal a trágya és a vizelet számára
 Forrás: Machado és mtsai. (2006).

Egy tehén CH_4 -kibocsátásának mérése általában 2–7 napot vesz igénybe, mely időszak alatt a vizsgált egyed a légzőkamrában kell etetni és fejni, a trágyáját pedig onnan rendszeresen eltávolítani. (Ha állatonként 3 napos megfigyelési időt veszünk és a berendezés folyamatos működését feltételezzük, akkor a légzőkamrák maximális kapacitása nagyjából 100 szarvasmarha/év, bár a valóságban ennél rendszerint kisebb.) A mérés a tehenek akklimatizációja után kezdhető meg, de a légzőkamrában töltött idő (mozgás korlátozottsága, társak hiánya) még így is stresszt okozhat az állatok számára, ami kedvezőtlenül befolyásolja a takarmányfelvételüket, ezért a CH_4 -termelésük elmaradhat a szokásostól.



2. kép: A vizsgálat alatt a szarvasmarha mozgása korlátozott a légzőkamrában, Forrás: Niu (2022).

A nagyméretű légzőkamrák ennek ellenére „aranystandardnak” tekinthetők, melyekkel a kérődzők teljes kibocsátása más módszerekhez képest pontosabban mérhető. Lévén, hogy a légzőkamrákban nemcsak etetők, de általában tej-, ürülék- és vizeletgyűjtő egységek is helyet kapnak, használatuk lehetőséget kínál a tehenek által felvett bruttó energia és a tejjel, ürülékkel, vizelettel, valamint a CH_4 -gáz formájában távozó energiamennyiségek

összevetésére (ez lényeges információt szolgáltat például az állatok takarmányhasznosító képességéről), a takarmányfelvétel, a takarmány-összetétel és a CH_4 -termelés közötti összefüggések feltárására, valamint a különféle emissziócsökkentési stratégiák (étrendmódosítás, takarmánykiegészítők etetése stb.) eredményességének megállapítására. Mindezekon túl meghatározható a CH_4 -kibocsátás napi ciklusa és – amennyiben a mérést több napig folyamatosan végzik – az átlagos napi volumene is.

Előnyei mellett a módszernek több korlátja is van, melyek legtöbbször már tettünk említést (magas beszerzési és üzemeltetési költségek, nagy munkaerő-szükséglet, korlátozott számú egyed vizsgálatának lehetősége, állatjóléti aggályok, a bezárt, mozgásukban korlátozott és társaiktól elszigetelt állatok kisebb takarmányfelvétele, a rendszer időszakos kalibrációjának szükségessége). Ezekhez hozzáadódik még az elemzéshez szükséges berendezések technikai összetettsége, valamint az is, hogy a légzőkamrák nem használhatók legeltetési tartás esetén.

Források:

European Space Agency (2023): About GOSAT-2. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/gosat-2>

Farnell (2024): Bevezetés a LiDAR-technológiába. <https://hu.farnell.com/introduction-to-lidar-technology>

Machado, F. S. – Tomich, T. R. – Ferreira, A. L. – Cavalcanti, L. F. L. – Campos, M. M. – Paiva, C. A. V. – Ribas, M. N. – Pereira, L. G. R. (2006): Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. *Journal of Dairy Science*. Vol. 99. Issue 6. pp. 4899–4906.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018): Improving Characterization of Anthropogenic Methane Emissions in the United States. The National Academies Press. Washington, D.C.

Niu, P. (2022): Can feeding pomegranate peel to cows reduce greenhouse gas emissions? <http://www.foodsystemstories.org/blog/2022/02/23/can-feeding-pomegranate-peel-to-cows-reduce-greenhouse-gas-emissions>

