



A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLAT- TENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI

LÉGI JÁRMŰVEK, IN VITRO ÉS PROXY MÓDSZEREK: TOVÁBBI ESZKÖZÖK
A SZARVASMARHÁK METÁNKIBOCSÁTÁSÁNAK VIZSGÁLATÁRA

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

A szarvasmarhák metán- (CH_4 -) kibocsátásának pontos meghatározása fontos eleme a mezőgazdasági üvegházhatásúgáz- (ÜHG-) emisszió csökkentésére irányuló stratégiáknak. A kutatók ezért folyamatosan dolgoznak az erre szolgáló módszerek bővítésén és fejlesztésén, hogy egyre megbízhatóbb megoldásokkal támogassák a légkörbe kerülő CH_4 mennyiségének mérését, becslését. A rendelkezésre

álló alternatívák jelenleg is széles skálán mozognak, a rovatunkban korábban ismertetett technikáktól kezdve a légi járművekkel végzett méréseken és in vitro vizsgálatokon át a különböző proxy eljárások alkalmazásáig, melyek mindegyike sajátos előnyöket és kihívásokat rejt magában. Jelen cikkünkben az utóbbi három, eddig még nem tárgyalt módszerrel foglalkozunk részletesen.

Légi járművekkel végzett mérések

Az elmúlt évtized során előtérbe került a repülőgépek és a pilóta nélküli légi járművek (unmanned aerial vehicles, UAV-k) használatának lehetősége az állattartó telepek ÜHG- (például CH_4 -) kibocsátásának mérése céljából.

Az erre irányuló kutatások figyelemre méltó példája volt a Kaliforniai Egyetem 2017 és 2020 közötti együttműködése egy tudományos célú légi szolgáltatásokat nyújtó coloradói céggel. A projekt során a repülőgépek több magasságban, koncentrikus, zárt pályákon köröztek a tehenészeti telepek felett, miközben a fedélzetre szerelt műszerek folyamatosan

rögzítették a CH_4 légköri koncentrációját, a légnyomást, a hőmérsékletet, a szélirányt és a szélességet (a környezeti paraméterek mérése a földön, az istállók szintjén is megtörtént). A szakemberek a gyűjtött adatok alapján, Gauss divergenciatétele segítségével számították ki a telepek teljes CH_4 -kibocsátását (Conley és mtsai., 2017).

Módszerük lényege abban állt, hogy először a repülés során mért gázkoncentrációkat a légnyomás- és hőmérsékletadatok felhasználásával sűrűségi értékekké konvertálták, majd ezeket és a szélességet figyelembe véve meghatározták a



CH₄-fluxus (tehát az adott telep feletti, egységnyi időre és felületre vonatkoztatott gázáramlás) vektorait. Ezt követően kiszámították a pillanatnyi CH₄-fluxust minden zárt repülési pályára, valamint az egységnyi magasságra jutó nettó CH₄-fluxust. Végül az utóbbi eredményeket függőlegesen összegezték, megállapítva ezzel a repülési útvonalak által behatárolt légtér fogat teljes nettó CH₄-fluxusát.



A repülőgépes létesítményi mérésekkel gyorsan és hatékonyan feltérképezhető az emissziók térbeli eloszlása (a függőleges és a horizontális CH₄-kibocsátási profilok), de e járművek széles körű használatát a magas üzemeltetési költségeik korlátozzák. A légi mérések – noha kiterjedt területeket fednek le – nem nyújtanak kellően részletes adatokat, és az így módon kapott emissziós eredmények csak akkor megbízhatók, ha a vizsgált telepek környékén nincsenek zavaró tényezők, illetve, ha a repülőgépek elég közel tudnak kerülni a kibocsátó forrásokhoz (szarvasmarhákhoz) azok túlzott zavarása nélkül. Az eredmények pontosságát emellett a légköri adatok repülési magasság szerinti extrapolációja is befolyásolja. Továbbá nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy a repülési tevékenység maga is ÜHG-kibocsátással jár!



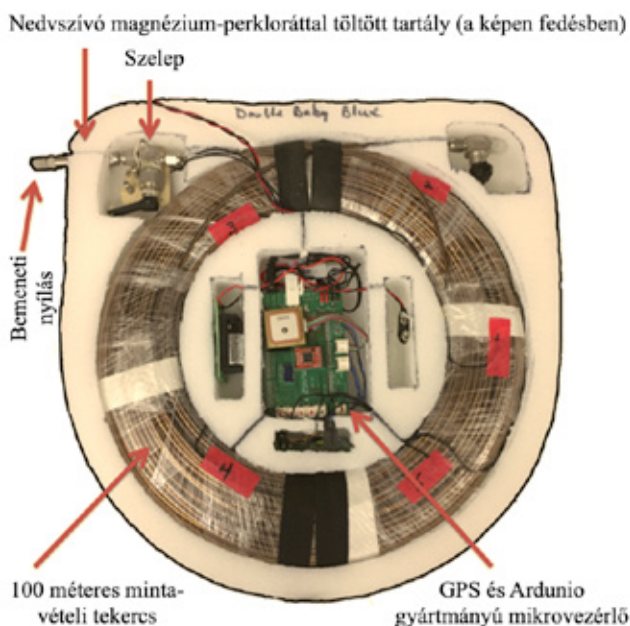
Az UAV-k alkalmazására példaként egy olyan innovatív megoldást említünk, amelynél a légi járművekre

az ún. AirCore-rendszert szerelték fel a tejhasznú tehenészeti telepek CH₄-kibocsátásának mérésére (Vinkovic és mtsai., 2022; Zhu és mtsai., 2024). Ezt a technológiát az Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatalának (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) egyik munkatársa, Pieter Tans fejlesztette ki az atmoszférikus ÜHG-mérések céljából (Tans, 2009; Karion et al., 2010). Az AirCore a hagyományos, passzív mintavételi rendszerekkel szemben a levegőmintákat nem a légi járművek süllyedésekor, a légköri nyomásváltozást kihasználva gyűjti, hanem a repülés közben egy mikroszivattyú segítségével szívja be azokat a tárolásukra szolgáló, kb. 50–100 méter hosszú, nagyon vékony, spirálisan tekercselt rozsdamentes acélsőbe. Használat előtt ezt a csőszerkezetet szén-dioxiddal vagy egyéb közömbös gázzal töltik fel azért, hogy a környezetből származó CH₄-t és vízpárát eltávolítsák belőle, biztosítva ezzel a rendszer szivárgásmentességét, illetve előkészítve a későbbi analíziseket.



Amikor a légi jármű felszáll, az egyik – ábrán is látható – szelep nyitott állapotban marad, hogy a töltőgáz az acélsőből kiürülhessen. A gép süllyedésekor a mikroszivattyú negatív nyomást hoz létre a rendszerben, amely így aktív módon szívja be a gázmintákat. Ez a folyamat, lévén, hogy lehetővé teszi a különböző magassági szintek és horizontális légrétegek összetételének pontos megismerését, kulcsfontosságú az alsó légköri mérések megfelelő térbeli felbontása és reprezentativitása szempontjából. A befogott levegő a rendszerbe kerülésekor először egy, a nyitott szelephez csatlakozó, kis rozsdamentes acéltartályon halad át, amelynek magnézium-perklorát tartalma leköti annak nedvesgőztartalmát. Végül a jármű földre érkezésekor az AirCore nyitott szelepe az érzékelők jelzésére bezárul, megőrizve a gyűjtött mintákat a későbbi elemzésekhez.





Forrás: NOAA (<https://gml.noaa.gov/ccgg/aircore/>).

A leszállást követően a csőben levő gázokat laboratóriumban spektrométerekkel elemzik, összevetve a kapott eredményeket a repülés során rögzített elektronikus (térinformatikai, légnyomás-, hőmérsékleti stb.) adatokkal. Ennek eredményeként a repülési nyomvonal mentén pontosan lekérdezhetők a gázkoncentrációk, és nyomon követhetők azok magasságtól vagy időtől függő változásai.

A különféle légi járművekre (drónokra, meteorológiai ballonokra, repülőgépekre stb.) installálható AirCore-rendszer függőleges és vízszintes mintavételi pályákon, illetve az emissziós források közelében is képes mintavételre. Vinkovic és mtsai. (2022) egy holland tejelő tehenészet felett végeztek légköri CH₄-molfrakciós méréseket AirCore-ral felszerelt UAV-vel. Tömegmérleg-megközelítést alkalmazva, a vizsgált gazdaságra vonatkozóan 1,1-2,4 g/s CH₄-emissziós rátát határoztak meg. Miután az összkibocsátásból levonták a helyben keletkező trágya becsült kibocsátási tényezőjét, a tejelő tehenek enterális eredetű kibocsátására 0,20-0,51 kg CH₄/állategység/nap (1 állategység = 500 kg állattömeg) értéket kaptak. E kutatók megállapítása szerint az UAV-alapú aktív AirCore-rendszer hasznos CH₄-emissziós becsléseket nyújthat tehenészetek esetén. A mérési adatok megbízhatóságát azonban a szélesebbesség változásai mellett a szélirány és a repülési nyomvonal által bezárt szög is befolyásolhatja. E bizonytalanságokat a helyi szélesebbesség és szélirány pontos mérésével lehet mérsékelni.

Zhu és mtsai. (2024) egy többrotoros UAV-re szerelték fel az AirCore-rendszert, tesztelve annak megbízhatóságát a szélesebbesség és szélirány, valamint a függőleges CH₄- és szén-dioxid- (CO₂-) koncentrációs profilok mérése szempontjából. Az UAV-ról származó adatokat egyrészt diszperziós (gázterjedési) modellezéssel kombinálták, hogy meghatározzák egy kaliforniai tehenészeti telep CH₄-kibocsátását, másrészt összehasonlították egy 11 méter magas meteorológiai torony mérési eredményeivel. Az utóbbi alapján Zhuék azt a következtetést vonták le, hogy a légi járműre szerelt AirCore-rendszer 0,4-1,1 m/s közötti átlagos négyzetes hibával képes mérni a szélesebbességet, ha az 3,5 m/s alatt van; továbbá megbízhatóan rögzíti a CH₄- és CO₂-molfrakciók időbeli változásait 10 másodperces vagy hosszabb intervallumokban. Ezért szerintük ez a módszer kiválóan alkalmas a CH₄-kibocsátás közel valós idejű észlelésére.



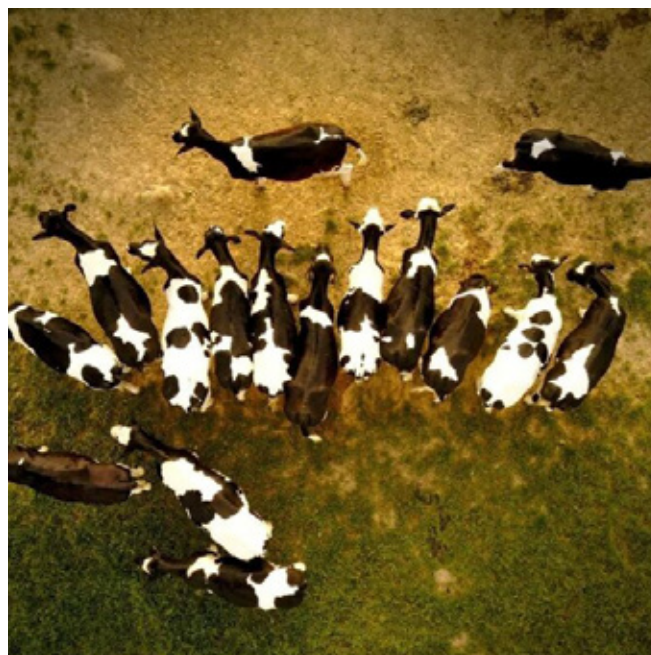
Az AirCore-rendszerrel és egyéb szenzorokkal felszerelt UAV-k alkalmazása többféle előnyt kínál a hagyományos repülőgépekkel szemben, beleértve a



gyorsabb és egyszerűbb „bevezetőséget”, valamint a jelentős költségmegtakarítást a beszerzés, tárolás, karbantartás és üzemeltetés terén. Az UAV-k távolról, akár automatizált rendszerekkel is irányíthatók, gépjárművel könnyen szállíthatók, és gyakorlatilag bárhol, bármikor reptethetők, ha a légtér szabadon használható. Légtérjedési modellezéssel kombinált méréseik részletes képet nyújthatnak a tejtermelő gazdaságok ÜHG-kibocsátásáról. Amennyiben a gyűjtött mintákat egy mobil laboratórium elemzi, a vizsgálatokat közvetlenül a kibocsátó források közelében is el lehet végezni.

Az UAV-k használata azonban bizonyos korlátokkal is jár: a repülőgépekhez képest rövidebb az üzemidejük, kisebb a terhelhetőségük és a hatótávolságuk, valamint érzékenyebbek az erős szélre és esőre. A professzionális modellek szélesebb körű elterjedését emellett még a magas beszerzési költségek is akadályozzák.

Külön említést kell tennünk a pilóta nélküli, kisebb méretű légi járműveket (például drónokat) alkalmazó rendszerekről (small unmanned aerial systems, sUAS-ek), melyek a földi mérések rugalmasságát a légi járművek függőleges légköri profilalkotó képességével ötvözik. Ezek a telepi CH₄-kibocsátások vizsgálatában kifejezetten hasznosak lehetnek, főleg akkor, ha földi mintavételi módszerekkel együtt alkalmazzák őket. A sUAS-ek alacsony magasságban (a földfelszíntől számított 1 km alatt) biztonságosan reptethetők, gyorsan telepíthetők, és ugyanúgy, mint a többi UAV, könnyen szállíthatók, hordozhatók, valamint költséghatékonyan üzemeltethetők. A kisebb méretük és a jobb manőverezőképességük lehetővé teszi, hogy olyan területeken (például zárt tereken) is „dolgozhassanak”, ahol a nagyobb UAV-k erre nem képesek.



A sUAS-eknél azonban fokozottan jelentkeznek a már említett, UAV-kre jellemző hátrányok: kizárólag könnyebb eszközöket, szenzorokat képesek szállítani, illetve egyetlen töltéssel csak rövidebb távolságokat tudnak megtenni. Jelenleg több kutatás is olyan költséghatékony érzékelőtechnológiák kifejlesztésére irányul, amelyek a sUAS-ekre szerelve alkalmasak lehetnek az ÜHG-ok mérésére. Noha néhány projekt biztató eredményekkel zárult, az olcsó CH₄-érzékelők még mindig csak fejlesztési szakaszban vannak, és jelenleg nem képesek érzékelni a gázok ppm- (milliomod rész) koncentrációjú előfordulását (Honeycutt és mtsai., 2019).



Az *in vitro* gáztermelési technika (IVGTT), valamint néhány proxymódszer ismertetése Partnertájékoztató Hírlevelünk következő számában olvasható.

A felhasznált források listáját a cikk terjedelmi korlátai miatt nem közöljük, az a szerkesztőségben érhető el.

