



# A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLAT- TENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI

## SZARVASMARHÁK METÁNKIBOCSÁTÁSÁNAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ PONTMÉRÉSI MÓDSZEREKKEL

**Szakértő  
munkatársunk írása**  
Állattenyésztési  
Teljesítményvizsgáló Kft.

Partnertájékoztató Hírlevelünk előző számában részletesen tárgyaltuk a GreenFeed automatizált kibocsátásellenőrzési rendszer (GF-rendszer) alkalmazásának előnyeit és kihívásait. Jelen cikkben folytatjuk a  $\text{CH}_4$ -kibocsátásmérési módszerek bemutatását, és a snifferek, a kézi lézeres detektorok,

valamint a pofamaszkok használatával foglalkozunk. Ezek az eszközök a korábban ismertetett technikák mellett további lehetőségeket kínálnak a gázemisszió nyomon követésére, hozzájárulva ezáltal az állattartási gyakorlatok fenntarthatóbbá tételéhez.

### 1. Gázérzékelő készülékek

A Garnsworthy és mtsai. (2012) által kibocsátásmérésre ajánlott **gázérzékelő készülékeket, az ún. sniffereket** (szippantókat) eredetileg a gázszivárgások detektálására tervezték, de hatékonyan alkalmazhatók a szarvasmarhák által kilélegzett és felbőgött gázok, így a  $\text{CH}_4$  koncentrációjának mérésére, valamint a nagy és kis kibocsátású egyedek azonosítására is. E viszonylag olcsón beszerezhető és alacsony költséggel működtethető műszerek gyártásával több cég is foglalkozik, így különféle kialakításaik léteznek, de a tehenészetekben használt rendszerek alapvetően ugyanazt a felépítést követik. (Lásd az 1. és a 2. képet.) Legalább két gázérzékelővel ( $\text{CH}_4$  és szén-dioxid [ $\text{CO}_2$ ]) rendelkeznek, a mintavevő szívócső végén pedig egy szűrő található a rendszer nyállal, takarmánnyal

vagy porral való eltömődésének megakadályozására. A sniffereket gyakran az automata fejőberendezések etetőterébe vagy az egyedi koncentrátumadagolóba építik be, melynek köszönhetően a gázminták gyűjtése az állattartó telep napi rutinjának részeként, emberi beavatkozás nélkül, automatikusan történhet. A mintavételi folyamat csak rövid ideig, néhány másodperctől 10-12 percig tart, és a „beszippantott” gázkeverék a mintavevő csövön keresztül azonnal a gázanalizátorhoz kerül. Az eszközök teljesítménye a telepítés helyétől és a fejőállomáshoz vagy a koncentrátumadagolóhoz rendelt tehenek számától függően min. 40-80 állat/nap. A méréseket általában 7-10 napon keresztül, naponta több (maximum négy) alkalommal végzik.

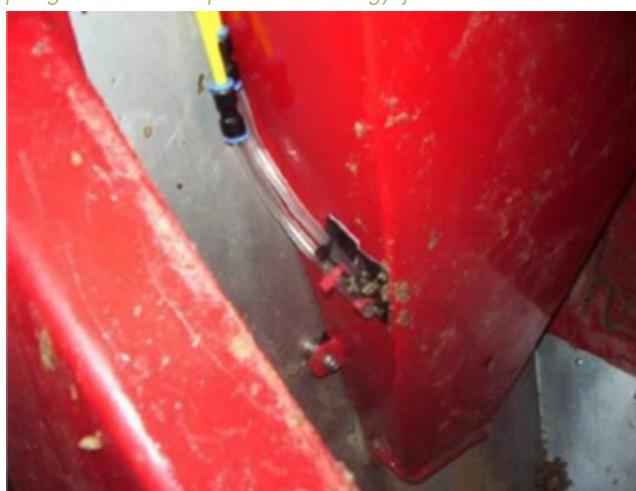


1. kép: A gázszivárgások kimutatására szolgáló snifferek az istállókban is használhatók



Forrás: Wageningen Livestock Research.

2. kép: Balra egy Lely Astronaut A3 automata fejőberendezésbe épített gázkeverék-mintavevő cső a gázanalizátorhoz csatlakoztatva, jobbra pedig az adatokat naplózó Simex adatgyűjtő



Forrás: Jonker és mtsai, 2020 (a fotót készítette: Philip C. Garnsworthy).

A snifferes módszer előnyei közé tartozik, hogy nem zavarja a teleti rutinfolyamatokat (például a fejést vagy az etetést), és nem igényli a szarvasmarhák felkészítését, betanítását vagy az étrendjük módosítását. A gázkoncentráció-mérések pontosságát azonban több tényező, egyebek mellett az istálló/fejőház légáramlásának változásai, az állatok légzési sebessége és a fejük pozíciója is befolyásolhatja. Ideális esetben a sniffer és a tehén szutyakja közötti távolság kisebb 30 cm-nél, amelyhez képest bármilyen kismértékű elmozdulás is növelheti az egyedi és az állományi szintű adatok szórását. (A takarmányadagolótól teljesen eltávolodó állatok adatai „hibásnak” tekintendők; ezeket fejhelyzet-érzékelővel és adatszűrő algoritmusok segítségével lehet kiszűrni.) Kihívást jelenthet továbbá az egyedek azonosítása is az automata fejőrendszerek szoftvereinek és a CH<sub>4</sub>-adatgyűjtők időbélyegeinek eltérése, valamint a tehén fejőrendszerbeli gyors cserélődése miatt. A módszer legnagyobb hátránya azonban – mint korábban már említettük –

A tehenészetek által használt snifferek esetén a kilélegzett és felbőfögött, környezeti levegővel felhígult gázkeverék kis mennyisége aktív vagy passzív módon jut be a mintavevő csőbe, és ott alacsony sebességgel mozog, szemben a légzőkamrákkal és a GF-rendszerrel, amelyekben a levegő állandó, 3 000, illetve 1 200–2 250 liter/perc sebességgel áramlik. A kontrollált és folyamatos légáramlás hiánya miatt a snifferes módszerrel csak a kibocsátott gázkeverék CH<sub>4</sub>-koncentrációja mérhető (amelyet később a háttérkoncentrációval korrigálnak), az emissziós ráta, tehát az időegység alatt kibocsátott CH<sub>4</sub> mennyisége viszont közvetlenül nem állapítható meg!

az, hogy csak a CH<sub>4</sub>-koncentráció mérhető vele, az emissziós ráta nem. Az utóbbi mutatót becsléssel kell meghatározni, ami kevésbé pontos eredményekhez vezet, mint a légzőkamrákkal és a GF-rendszerrel mért adatok. A becslések két módon történhetnek: egyrészt a snifferrel mért gázkoncentrációk és légzőkamrás vizsgálatokra épülő statisztikai modellek alapján, másrészt a nyomjelző gázként használt CO<sub>2</sub> napi kibocsátásának ismeretében. Széles körben az utóbbi megoldás vált elfogadottá, mivel kevésbé bonyolult, mint a másik alternatíva, amely a takarmányösszetétel változásai miatt a matematikai egyenletek rendszeres módosítását igényli.

A nyomjelző gázos eljárás a szarvasmarhák anyagcseréje és CO<sub>2</sub>-kibocsátása közötti kapcsolaton alapul. Alkalmazásakor az állatok közvetlen környezetében nemcsak a CH<sub>4</sub>-, de a CO<sub>2</sub>-koncentrációt is mérik a snifferekkel, és háttérkoncentrációs korrekciójukat követően rögzítik azok arányát. A CH<sub>4</sub>-emissziós ráta ezen arány, valamint a tehén



metabolikus aktivitása alapján kalkulált napi teljes CO<sub>2</sub>-termelés felhasználásával határozható meg. Bár e megközelítésnek vannak bizonyos korlátai – például a CO<sub>2</sub> és a CH<sub>4</sub> azonos befogási arányának feltételezése vagy a CO<sub>2</sub>-termelés állategyedenkénti eltéréseinek figyelmen kívül hagyása –, az ily módon becsült CH<sub>4</sub>-kibocsátási adatok nagyszámú (több mint 1 000) szarvasmarhával végzett kutatásokban szoros korrelációt mutattak a légzőkamrás mérések eredményeivel. Egyes kutatók szerint azonban tejhasznú szarvasmarháknál ez a módszer gyakran alul- vagy túlbecsüli a CH<sub>4</sub>-emissziót a légzőkamrás mérésekhez képest, mivel a CO<sub>2</sub>-termelés – még

azonos takarmányfelvétel mellett is – erősen függ az egyedek emésztőrendszeri és metabolikus folyamataitól, valamint a takarmányhasznosító képességüktől.

Az előbb felsorolt hátrányok ellenére e technika nagy teljesítményének köszönhetően kiválóan alkalmas a tenyészszelekcióra, tehát a tehének CH<sub>4</sub>-termelés szerinti megkülönböztetésére, rangsorolására. Mivel a snifferes módszer végrehajtásának módja kutatócsoportonként és telepenként eltérő, további vizsgálatokra van szükség egy standardizált eljárás kidolgozására.

## 2. Kézi lézeres CH<sub>4</sub>-detektorok

A kilégzéssel és felbőgéssel légkörbe kerülő CH<sub>4</sub> mennyisége **kézi lézeres CH<sub>4</sub>-detektorokkal** is mérhető, melyeket a környezetvédelmi monitorozásban, a levegőminőség-ellenőrzésben, az egészségügyben, valamint a bányászatban és a petrokémiai iparban használnak a gázszivárgások észlelésére. Ezek a nagy érzékenységű készülékek –17 és 50 °C közötti hőmérsékleten, 30–90%-os relatív páratartalom-tartományban működnek az infravörös abszorpciós spektroszkópia elve alapján, a költségek miatt legtöbbször infravörösközeli (1,64–1,70 µm-es) hullámhosszon.

3. kép: Egy kézi lézerdetektor közléről



Fotó: Friedrich-Loeffler Intézet (a fotót készítette: Dirk von Soosten)

A mérési protokoll (a berendezés és a vizsgált szarvasmarha távolsága, a mérések időtartama, az ismétlések tehenenkénti száma stb.) telepenként és kutatásonként változó. A detektorokat általában 1-3 méteres távolságból irányítják az állatok szutyakja felé, hogy azok valós időben rögzítsék a kilélegzett és felbőgött gázkeverék lézerút menti „CH<sub>4</sub>-oszlopsűrűségét”. Az 1 méteres távolság több okból is előnyös választás lehet: egyrészt a ppm × méter mértékegység közvetlenül átváltható ppm koncentrációra, másrészt rövidebb távolságról könnyebb követni a teheneket, harmadrészt pedig ilyenkor kisebb CH<sub>4</sub>-háttérkoncentrációval kell számolni. Ha ennek ellenére mégis egy nagyobb, például a 3 méteres „rögzített” távolság mellett döntenénk, fontos, hogy azt minden mérésnél következetesen megtartsuk, és biztosítsuk az istálló megfelelő szellőztetését.

A vizsgálatok rendszerint 3-10 percig tartanak. Ennél rövidebb időhossz nem javasolt, mivel a mérések tartamának bőfögéses és bőfögés nélküli periódusokat is magában kell foglalnia. Az ismétlések száma helyszínenként jelentősen eltér egymástól: tehenenként általában 3-70 mérésre kerül sor. Az ismétlésszám meghatározásakor minden esetben törekedni kell a kezelő munkaterhelése és az állatok zavarása, valamint az adatok minősége közötti egyensúlyra. A kis egyedszámú vizsgálatokban rendszerint több ismétlést végeznek a kiugró adatok előfordulásának csökkentése érdekében, míg a nagyobb telepeken már 3 ismétlés mellett is végrehajthatók a CH<sub>4</sub>-fenotípusok öröklődőképességének becslését megalapozó számítások. A méréseket 2-10 egymást követő napon,



lehetőleg azonos napszakban hajtják végre, az etetéstől számítva fix időben (tekintettel arra, hogy a

kérődzők  $\text{CH}_4$ -termelése napszakos mintázatot követ, amelyet a takarmánykiosztás időpontja befolyásol).

4. kép: A lézerdetektorok használatakor lényeges a helyes mérési távolság betartása



Fotó: Envirotech online

A készülék mind szabad, mind kötött tartású istállóban, illetve legelőkön is használható, a szarvasmarhák különféle tevékenységei (evés, ivás, kérődzés, fekvés, tétlen állás és alvás) közben. E cselekvések során mért  $\text{CH}_4$ -koncentrációk azonban jelentős eltéréseket mutatnak. Az egyik legmagasabb értéket például az állatok ivásakor kapjuk, mivel a bendőbe jutó víz elősegíti az ott felhalmozódott gázok szervezetből való távozását. A kibocsátásbeli jelentős különbségek miatt ezért ajánlott egy adott vizsgálat keretében a tehenek „aktivitását” standardizálni. Amennyiben ez nem megvalósítható, úgy minden tevékenység alatt többször is mérni kell a  $\text{CH}_4$ -koncentrációt.

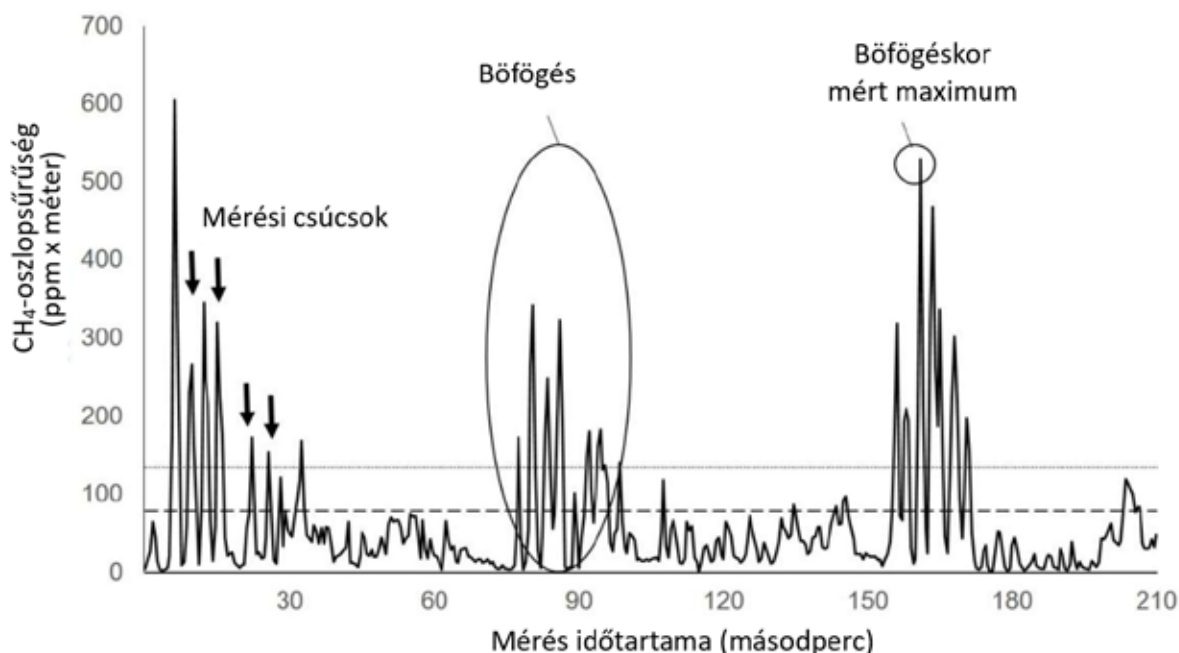
A kézi lézeres  $\text{CH}_4$ -detektorok automatikus kalibrációval rendelkeznek, teljesítményük kb. 10 egyed/óra. Használatuk az állatokat nem, vagy csak minimálisan zavarja, bár a mérések alatt némileg (például lekötéssel vagy egyedi karámok alkalmazásával) korlátozni kell azok szabad mozgását. A gyűjtött és háttérkoncentrációval korrigált adatok Excel csv-fájlokban tárolhatók minden olyan, vezeték nélküli kapcsolattal a detektorhoz csatlakoztatott Androidos eszközön, amelyre telepítették a GasViewer alkalmazást.

A gyűjtött adatokból végső soron egy  $\text{CH}_4$ -koncentrációs lista áll össze egyedi dátum- és időbélyegzővel, a lézersugár visszaverődésének

minőségére vonatkozó értékkel, valamint opcionálisan a helyszín megadásával. Az egyes állatokra vonatkozó  $\text{CH}_4$ -értékeket a GasViewer alkalmazás külön fájlokként tárolja. Az így létrejött tehenenkénti „ $\text{CH}_4$ -profil” a légzési ciklusnak megfelelő csúcsokból és „völgyekből” áll. (Lásd az ábrát.) Méréskor általában sikerül több bőfögési csúcsot is „elkapni”, melyek sokkal magasabbak a légzési maximumoknál, akár a többszörösei is lehetnek azoknak. A túl magas értékeket azonban ki kell szűrni az adatbázisból, mivel ezek többségét a lézersugár visszaverődésének hibái okozzák.



Ábra: Egy kézi lézeres CH<sub>4</sub>-detektorral rögzített, tipikus CH<sub>4</sub>-profil



Megjegyzés: A kilégzés és a felböfögés során mért adatok megkülönböztetésére egy opcionálisan megadott küszöbérték szolgál. Az ábra erre két lehetőséget is feltüntet: a folytonos vonallal jelölt ppm x méter érték statisztikai bloxpot-módszerrel, míg a szaggatott vonal az összes érték átlagától számított standard eltérés alapján adódott. Forrás: Sorg (2022).

A kézi lézeres CH<sub>4</sub>-detektorok használata számos előnnyel jár: e berendezések már a nagyon alacsony CH<sub>4</sub>-koncentrációkat is képesek érzékelni, könnyen kezelhetők és hordozhatók, beszerzésük és használatuk költséghatékony, működésükhöz nem szükséges külső áramforrás. Naponta többször, beltéren és kültéren is végezhetők velük mérések az állatok zavarása nélkül. Az eredmények azonnal rendelkezésre állnak, ami lehetővé teszi a böfögési és a légzési csúcsok, valamint a CH<sub>4</sub>-koncentráció tehének tevékenységeivel (fekvés/állás; fekvés/állás és kérődzés; fekvés/állás és takarmányfelvétel) összefüggő eltéréseinek azonosítását. Emellett egyszerűen értékelhető a CH<sub>4</sub>-kibocsátás csökkenését célzó módszerek hatékonysága is.

A mérési eredmények pontosságát ugyanakkor számos tényező befolyásolhatja. Ezek közé tartozik például a detektor és a vizsgált állat közötti távolság, a lézersugarak irányításának szöge, a szarvasmarha fejének helyzete és mozgása, más tehének közelsége, az egyidejűleg használt lézerdetektorok száma, a kezelő rutinja vagy fáradtsága (nem mindegy például, hogy az eszközt a szarvasmarhák ornyílásának mely részére, oldalra vagy előre irányítja-e), a környezeti viszonyok, így istállóban a légáramlás, a hőmérséklet és a levegő páratartalma, legelőkön pedig a köd, az eső, a szél sebessége és iránya, a légnyomás stb. Az eszköz használata emellett munka- és időigényes is. A kézi lézeres CH<sub>4</sub>-detektorok legnagyobb hátránya

azonban a snifferekhez hasonlóan az, hogy csak a CH<sub>4</sub>-koncentráció mérhető velük, az emissziós ráta nem. Az utóbbi mutató ez esetben matematikai modellek segítségével számítható ki a mért CH<sub>4</sub>-koncentráció és a légáramlás feltételezett sebessége alapján.

Bár a kézi lézerdetektorok használata egyszerű és gyors mérési lehetőséget nyújt a telepeken, az eredményeik értékelését – az előző bekezdésben említett tényezők tükrében – nagy odafigyeléssel kell végezni. Egyes kutatók a lézeres CH<sub>4</sub>-koncentrációkat a légzőkamrák kilépő légáramára validálták, melyek így erős korrelációt mutattak a légzőkamrás CH<sub>4</sub>-kibocsátásokkal. Más vizsgálatok viszont csak gyengébb kapcsolatot találtak a lézeres és a légzőkamrás emissziós adatok között, ráadásul azt is megállapították, hogy a lézerral mért CH<sub>4</sub>-koncentrációk általában alacsonyabbak, mint az egyéb technikákkal (például a kén-hexafluoridos módszerrel) nyert eredmények. Mindemellett a különböző telepek és kutatócsoportok lézerdetektoros méréseinek összehasonlítása is gyakran nehézségekbe ütközik a munkaprotokollok eltérései miatt. E kihívások miatt némely szakemberek úgy vélik, hogy e készülékek alkalmazása csak más alternatívák hiányában vagy mint kiegészítő megoldás jelenthet elfogadható opciót. A snifferekhez hasonlóan ezért további kutatásokat kell végezni a standardizált mérési és adatelemzési eljárások kidolgozására.



### 3. Pofamaszkok

A szarvasmarhák takarmányfermentációhoz köthető  $\text{CH}_4$ -kibocsátásának mintavételezése nyakra erősíthető **pofamaszkokkal** is végezhető, melyek működése egyrészt a gázáramlást tekintve, másrészt pedig abban hasonlít a nagy légzőkamrákéhoz, hogy ezek az eszközök is a kilélegzett és felbőfögött gázkeverékben levő  $\text{CH}_4$  (vagy más gázok) háttérkoncentrációhoz viszonyított koncentrációnövekedését rögzítik. A pofamaszkok azonban számottevően olcsóbbak és egyszerűbben használhatók, ám kezelésük munkaigényesebb a légzőkamrákéénál.

**5. kép:** A kalodába zárás és a pofamaszkos vizsgálati módszer alkalmazása állatjóléti kihívásokat vet fel; az itt látható esetben ezért a tehenet pulzusmérővel látták el az állapotának ellenőrzése céljából



Forrás: Silveira és mtsai, 2019.

Minden pofamaszk egy gázmintavevő egységből, egy légáramszabályozóból és egy gázanalizátorból áll. (Az 5. képen bemutatott eszközt egy polietilén vizes ballonnál alakították ki, és egyirányú szelepekkel szerelték fel a külső levegő maszkba jutásának elősegítése, valamint a kilélegzett és felbőfögött gázkeverék visszalélegzésének megakadályozása érdekében.)

A mérések, melyeket egyes kutatók naponta 2-3 óránként, legfeljebb 7 alkalommal, maximum 30 percig végeznek, jelentősen befolyásolják a szarvasmarhák viselkedését, mivel azok takarmányt felvenni és inni sem tudnak ez idő alatt. A pofamaszkok használata ezért csak azoknál az egyedeknél lehetséges, amelyeket előzetesen hozzászoktattak a maszk viseléséhez és a mozgásuk korlátozásához. Ez azonban állatjóléti szempontból és a mérések megbízhatósága tekintetében is rendkívül problémás: egyrészt kényelmetlen és nagy stresszt okoz a tehenek számára, másrészt a technika segítségével kapott  $\text{CH}_4$ -emissziós ráták számottevő szórást mutatnak. Ha mindezek ellenére a telepen mégis csak ez a megoldás választható, Oss és mtsai. (2016), illetve Silveira és mtsai. (2019) szerint a mérések számát ajánlott napi 1 alkalomra csökkenteni, és a vizsgálatot legfeljebb 2-3 nap, a reggeli etetés után 6 órával végezni.

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



**Tábla:** A szarvasmarhák  $\text{CH}_4$ -kibocsátását mérő néhány eszköz/módszer alkalmazásának főbb jellemzői

Eszköz/módszer	Mérés helye	Mért gáz	Bendőből származó vagy teljes állati kibocsátás mérése	$\text{CH}_4$ -koncentráció vagy $\text{CH}_4$ -emissziós ráta mérése	Mérés időtartama	Eszköz beszerzési költsége	Eszköz működési költsége	Eszköz munkacöltségigénye	Eredmények ismételhetősége (megbízhatósága)	Állatok számára okozott stressz mértéke	Eszköz teljesítménye
Légzőkamra	beltér	többféle	teljes kibocsátás	emissziós ráta	foly.	magas	magas	nagy	nagy	nagy	kicsi
SF <sub>6</sub> -technika	beltér/kültér	CH <sub>4</sub>	bendő	emissziós ráta	foly.	közepes	magas	nagy	közepes	közepes	közepes
Sniffer	főleg beltér	többféle	bendő	koncentráció	rövid	alacsony	alacsony	alacsony	közepes	-	nagy
GF-rendszer	beltér/kültér	többféle	bendő	emissziós ráta	rövid	közepes	közepes	alacsony	közepes	alacsony	közepes
Kézi lézerdetektor	beltér/kültér	CH <sub>4</sub>	bendő	koncentráció	rövid	alacsony	alacsony	nagy	alacsony	alacsony/közepes	közepes
Pofamaszk	beltér	többféle	bendő	emissziós ráta	rövid	alacsony	alacsony	nagy	nagy	nagy	kicsi

Megjegyzés: foly.: folyamatos. Forrás: Garnsworthy és mtsai. (2019), illetve Zhao és mtsai. (2020) alapján saját összeállítás.

