



A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLAT-TENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI

MATEMATIKAI MODELLEK, AI ÉS A DOLGOK INTERNETE A SZARVASMARHÁK METÁNTERMELÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSÁBAN I.

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

Partnertájékoztató Hírlevelünk korábbi számaiban behatóan ismertettük a szarvasmarhák metán- (CH_4 -) termelésének meghatározására szolgáló gyakorlati lehetőségeket, a közvetlen mérési technikáktól kezdve a proxymódszerekig. Többször tettünk már említést az ezeket kiegészítő vagy pontosító

modellekről is, amelyeket a téma zárásaként, jelen kétrészes cikkben tárgyalunk részletesen. Írásunkban nemcsak a hagyományos matematikai modelleket mutatjuk be, de olyan gépi tanuláson alapuló, összetettebb megoldásokat is, mint a mesterséges neurális hálózatok és a mélytanulási algoritmusok.

Az enterális CH_4 -termelés előrejelzése modellekkel

A szarvasmarhák CH_4 -termelésének modellezésében két fő megközelítés különíthető el a rendelkezésre álló adatok jellegétől és a kitűzött céltől függően. Az első megközelítés a CH_4 -kibocsátás előrejelzésére irányul, főként a szárazanyag-felvétel (dry matter intake, DMI) és a takarmány-összetevők mennyisége alapján, míg a második a kibocsátást leginkább befolyásoló tényezők azonosítását és ezek hatásainak számszerűsítését helyezi fókuszba egy/több szarvasmarha, esetleg egy teljes állomány mért vagy becsült CH_4 -termelési adatainak felhasználásával.

A matematikai modellek emellett hatékonyan kiegészíthetik a közvetett mérési eljárásokat (például

a proxymódszereket) is, tovább növelve a becslések pontosságát. Hosszú távú, közvetlen CH_4 -mérésekkel kombinálva pedig lehetővé teszik az adatok extrapolálását, vagyis múltbeli megfigyelések alapján előrejelzések készítését a jövőbeli kibocsátási trendek alakulásáról.

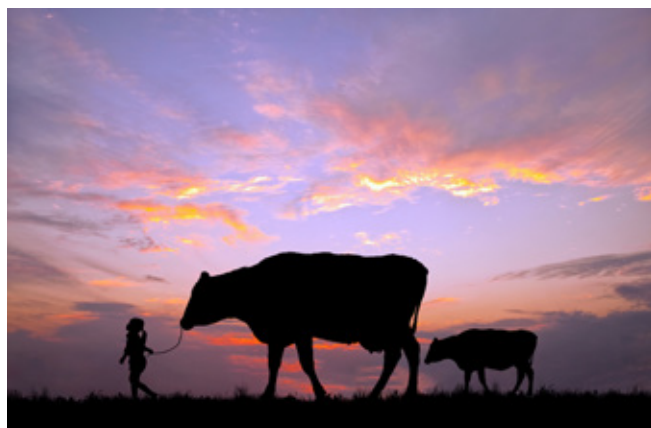
A mesterséges intelligenciára (artificial intelligence, AI) épülő megközelítések jelentősen gazdagítják a becslési módszerek körét. Nemcsak a kibocsátott CH_4 -mennyiségek pontosabb meghatározását segítik elő, de a nagy adathalmazok feldolgozásával a mélyebb összefüggések feltárását is. Az AI-algoritmusok egyaránt támogatják az állatok kibocsátási szintek



szerinti csoportosítását, az időbeli változások részletes nyomon követését, valamint a szokásostól eltérő kibocsátási mintázatok, például a takarmányozási hibák okozta eltérések azonosítását is.

Annak érdekében, hogy új környezetekben is megfelelő teljesítményt nyújtsanak, mind a matematikai, mind az AI-alapú modelleket validálni kell a gyakorlati alkalmazásuk előtt. Ez különösen akkor szükséges, ha a kidolgozásukkor igénybe vett adathalmazokon túl más adatkészleteken is használni kívánjuk őket. A validálási folyamat a modellek pontosságának, megbízhatóságának és általánosíthatóságának

értékelését foglalja magában statisztikai módszerek segítségével.



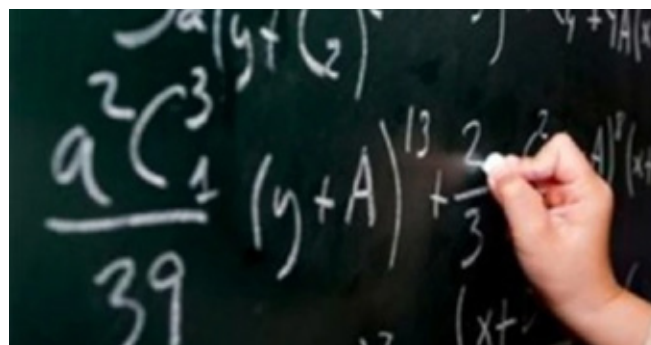
A matematikai modellek jellemzői és csoportosítása

A szarvasmarhák emésztési jellemzőinek és takarmányozásának vizsgálatában már régóta alkalmazott matematikai modellek egyenletekkel írják le az állatok szervezetében zajló biológiai folyamatokat, valamint az azokra ható tényezők közötti kapcsolatokat. A CH_4 -kibocsátás becslésére is készíthetők matematikai formulák, melyek egy telep sajátos állattartási viszonyaihoz vagy az adott kutatás körülményeihez igazítva pontosabb becsléseket adnak az általánosabb, kevésbé testreszabható megoldásoknál. Ezek a modellek azonban főként kutatási célokra alkalmasak, mivel a tervezésükhöz átfogó matematikai ismeretekre van szükség, egyesek közülük pedig olyan paraméterekre épülnek, melyek mérésére általában nincs mód a telepi gyakorlatban. További kihívást jelent, hogy némely modellek csak a kidolgozásuk során felhasznált adatállomány értéktartományán belül biztosítanak megbízható eredményeket, míg más esetekben akár 20-30%-os becslési pontatlanság is előfordulhat. Az ilyen problémák minimalizálása érdekében célszerű a fejlesztést több forrásból származó, rendszeresen mért paraméterekre vagy könnyen elérhető proxyadatokra alapozni.

Az enterális CH_4 -termeléssel kapcsolatos számítások többnyire a bendőben keletkező CH_4 -ra összpontosítanak, mivel a szarvasmarhák teljes CH_4 -kibocsátásának csak mindössze 10%-a származik az emésztőrendszer más részeiből. Egy jól strukturált matematikai modell segítségével viszonylag pontos becslést kaphatunk az állatok CH_4 -termelésére vonatkozóan. A különböző modell típusok közül (empirikus és mechanisztikus, sztochasztikus és determinisztikus, statikus és dinamikus, folytonos és

diszkrét) általában az empirikus (statisztikai) és a dinamikus mechanisztikus, ritkábban a statikus változatokat használják e célra.

Az empirikus modellek – amelyek gyakran egyszerű lineáris regressziókra épülnek – mért adatok alapján írják le a vizsgált tényezők közötti valószínűségi kapcsolatokat. Ugyanakkor nem számolnak a takarmánybontási folyamatok mögött rejlő élettani mechanizmusokkal, ami korlátozza a prognózisuk pontosságát és általánosíthatóságát. Az ilyen modellek csak akkor szolgáltatnak megbízható eredményeket a kidolgozásuk során fennálló feltételektől eltérő körülmények között (például más takarmány-összetétel vagy takarmányadagon belüli tömegtakarmány-arány stb. mellett), ha a számításokhoz szükséges adatok teljeskörűen rendelkezésre állnak, az új adatok az eredeti adatállomány értéktartományán belül maradnak, a köztük fennálló korrelációk pedig hasonlóak a kiindulási adatokéhoz. Ezért – mint már említettük – célszerű változatos adatkészletekkel dolgozni, valamint minél több releváns tényezőt figyelembe venni a modell-építés során. Fontos azonban elkerülni a „túlparaméterezést”, mivel túl sok változó bevonása a modellek teljesítményének romlását eredményezheti.



A tudományos alapokon nyugvó *mechanisztikus modellek* kidolgozása az empirikus típusénál jóval bonyolultabb feladat, hiszen gyakran nehezen összeállítható adatbázisokat, illetve olyan elméleti keretet igényel, amely részletesen feltárja a reprezentálni kívánt biológiai folyamatokat és azok belső ok-okozati összefüggéseit. E modellek a szarvasmarhák CH_4 -kibocsátásának becslése mellett az emissziócsökkentési technikák (takarmányösszetétel módosítása, új takarmánykiegészítők és adalékanyagok bevezetése stb.) hatékonyságának értékelésére is használhatók.

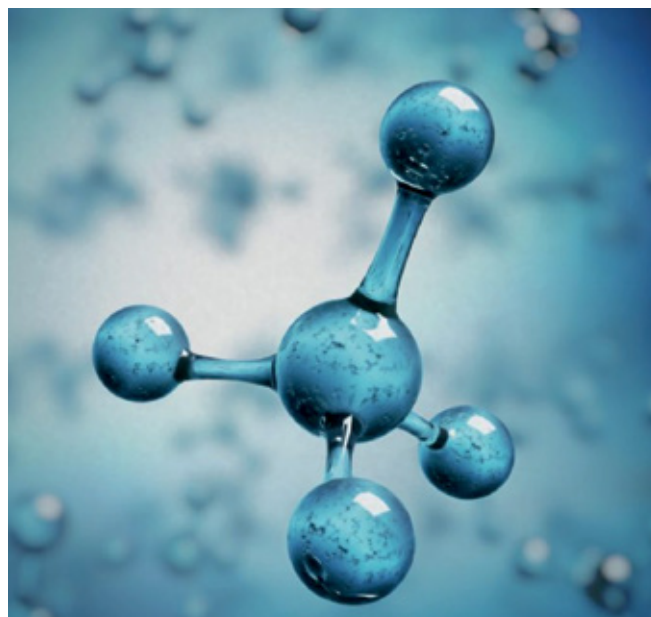
A *statikus modellek* kis számítástechnikai kapacitást igényelnek, viszont nem alkalmasak az időbeli változások (például a szennyezőanyag-kibocsátások mértékének, összetételének, területi eloszlásának vagy a meteorológiai tényezők időbeli alakulásának) szimulálására. Továbbá nem használhatók az üvegházhatású gázok (ÜHG-ok) emissziójának csökkentését célzó stratégiák értékelésére sem.

A *dinamikus modellek* ezzel szemben lehetővé teszik az élettani és egyéb folyamatok (például a szarvasmarhák napi CH_4 -kibocsátása) időbeli változásainak hatékony nyomon követését. Legfőbb előnyük, hogy az időfüggő dinamika valósághű leképezésével mélyebb betekintést nyújtanak a folyamatok közötti összefüggésekbe, így különösen jól alkalmazhatók például az állatok anyagcsere-folyamatainak vagy a takarmányozási stratégiák hosszú távú hatásainak elemzésére. E típus ugyanakkor nagy mennyiségű adatot, bonyolult számítási rendszert és jelentős feldolgozási kapacitást követel, ami telepi környezetben korlátozhatja a használatát.

A *determinisztikus modellek* a megadott kezdőfeltételek és inputadatok alapján véletlenszerűségtől mentes becslési eredményeket szolgáltatnak, és így megbízható, kiszámítható előrejelzéseket nyújtanak. Hátrányuk azonban, hogy nem veszik figyelembe az egyedek közötti különbségeket (például a szarvasmarhák eltérő genetikai adottságait vagy egészségi állapotát), ezért főként olyan populációk elemzésére alkalmasak, amelyeknél az egyedi variációk hatása elhanyagolható/nem lényeges.

A felsorolt típusok közül az empirikus modellek a legnépszerűbbek, elsősorban kis adatigényük és egyszerű alkalmazhatóságuk miatt. Ezek a statisztikai

eszközök könnyen hozzáférhető adatokra, így például az állatok alapvető jellemzőire (testtömeg, fajta, kor, laktációs napok száma, termelékenység stb.), valamint különféle takarmányozási paraméterekre (takarmányok összetétele, szárazanyag- és szénhidráttartalma, az állatok takarmányfelvétele vagy DMI-je, az adag emészthető tápanyagtartalma stb.) támaszkodnak. Az empirikus modellek által nyújtott eredményeket azonban mindig a számítások alapjául szolgáló – például az itt említett – tényezők tükrében kell értelmezni, és nem szabad általánosan érvényesnek tekinteni.



A tudományos közösség egyetért abban, hogy a DMI kulcsszerepet tölt be a szarvasmarhák CH_4 -termelésének alakulásában. A legtöbb modell ennek megfelelően a DMI alapján számítja a CH_4 -kibocsátást, és csak kisebb hányaduk használja a bruttóenergia- (GE-) felvételt viszonyítási tényezőként. Istálló tartás esetén a DMI mérése viszonylag egyszerűen megvalósítható, legeltetés mellett azonban lényegesen bonyolultabb feladat. Az ilyen helyzetek kezelésére szolgálhat a lakossági fogyasztói kosárhoz hasonló „takarmánykosár-konceptió”, amely – az állatok szezonális érendjét tekintve – az adott régióban és évszakban elérhető takarmányféleségeket, illetve azok arányait veszi kiindulópontként. Ez a megközelítés pontosabb DMI-becslést és megbízhatóbb CH_4 -kibocsátási adatokat eredményezhet.

A matematikai modellezés fejlődése szintén hozzájárul a becslések pontosságának javításához. A közelmúltban elért előrelépések lehetővé tették,



hogy új, korábban nem használt változók is bekerüljenek az egyenletekbe, ami precízebbé tette a szarvasmarhák CH₄-termelésének leírását. Jelenleg is folynak kutatások annak eldöntésére, hogy ugyanazon magyarázó változók alkalmazásával a lineáris empirikus vagy a mechanisztikus megközelítések biztosítanak-e megbízhatóbb előrejelzéseket. Ez a kérdés különösen akkor válik fontossá, ha a modellalkotás során alapul vett eredeti adatkészletől eltérő forrásból származó adatokkal dolgozunk. Az eddigi eredmények szerint a lineáris statisztikai formulák jellemzően kisebb (bizonyos esetekben mindössze 40-60%-os) pontosságot érnek el, míg a mechanisztikus megközelítés következetesebb és megbízhatóbb prognózisokat kínál. Ez – mint arra korábban már rávilágítottunk – valószínűleg annak köszönhető, hogy a mechanisztikus modellek részletesen elemzik a fermentációs folyamatokat, miközben figyelembe veszik a telepi környezet sajátosságainak és az alkalmazott takarmányozási rendszereknek a hatásait is.



A modellezéshez reprezentatív, pontos inputadatokra van szükség, amelyek biztosítása több kihívást is felvet. Például mérések esetén a CH₄-kibocsátás tér- és időbeli változásainak nyomon követése, a mérőeszközök optimális elhelyezése, valamint a mérési folyamat gyorsaságának, költséghatékonyságának és automatizáltságának megvalósítása komoly nehézségeket jelent, miközben az állatok jóllétét is szem előtt kell tartani. Emellett kiemelten fontos a szabványosított protokollok és technikák kidolgozása is, amelyek lehetővé teszik a különböző helyszíneken gyűjtött adatok összehasonlíthatóságát és egységes értelmezését.

Írásunk második részében rámutatunk arra, hogy számos modell csupán korlátozott adatkészletekre épül (például néhány állatra, egyetlen állományra vagy adott étrendre vonatkozó mérési adatokra),

míg mások különböző tanulmányok eredményeinek átlagára támaszkodnak, ami növelheti a becslések bizonytalanságát, és korlátozhatja a modellek széles körű alkalmazhatóságát. Ráadásul sok modell egyszerű vagy többszörös lineáris regressziót alkalmaz, amely nem veszi figyelembe az adatok közötti nemlineáris összefüggéseket, és így torzíthatja az eredményeket.

A pontosság növelése érdekében célszerű olyan matematikai megközelítést választani, amely a legjobban igazodik a telepi viszonyokhoz. Ha több modell áll rendelkezésre, az eredményeik összehasonlítása és értékelése megkönnyíti a döntéshozatalt. Egyetlen modell esetén viszont az eredmények értelmezése nagyobb körültekintést igényel, hiszen nem garantált, hogy épp az adott modell illeszkedik legjobban az aktuális körülményekhez. Léteznek ugyanakkor olyan komplex megoldások is, amelyek többféle megközelítést kombinálnak. Például az Egyesült Államok Nemzeti Természettudományi, Mérnöki és Orvostudományi Akadémiái (NASEM, 2016) által kifejlesztett húsmarha-tápanyagszükségleti modell (Beef Cattle Nutrient Requirements Modell, BCNRM) empirikus és mechanisztikus elemeket egyaránt ötvöztet, és alkalmas a tejelő szarvasmarhák CH₄-kibocsátásának előrejelzésére is. A BCNRM a kétféle módszer előnyeinek egyesítésével képes finomítani a becsléseket, miközben lehetővé teszi azok szélesebb körű felhasználását.



Az enterális eredetű CH_4 -kibocsátás becslésére szolgáló modellek közül az egyik legismertebb az Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) által 1996-ban kidolgozott és azóta többször finomított standard modell, amely alapvető szerepet játszik a 2005-ben életbe lépett Kiotói Jegyzőkönyvben előírt ÜHG-csökkentési célok elérésében. A szerződéshez csatlakozott országoknak évente jelentést, azaz Nemzeti ÜHG-kibocsátási Leltárt (National Inventory Report, NIR) kell összeállítaniuk ÜHG-emisszióikról és -elnyeléseikről, beleértve az állattenyésztésből származó CH_4 -t is (IPCC, 2006). Ez az egységes nyilvántartás garantálja az országok kibocsátási adatainak konzisztenciáját és összehasonlíthatóságát, átfogó képet nyújt a globális kibocsátási helyzetről, valamint alapot ad a szén-dioxid-kibocsátási egységek (szén-dioxid-kvóták, kompenzációs egységek) pontos és megbízható értékeléséhez. (A kibocsátáskereskedelmi rendszerrel rovatunk 2023. januári cikke foglalkozott.)

Az IPCC modellje három különböző szintet kínál az ÜHG-kibocsátások számítására, amelyek a rendelkezésre álló adatok és a kívánt pontosság függvényében más-más részletességet biztosítanak. Az **1. szint** az országok akkor választják, ha a kalkulációkhoz szükséges adatforrások csak korlátozottan állnak rendelkezésre. Ebben az esetben szakirodalomból származó vagy az IPCC által meghatározott globális, esetleg kontinentális átlagos CH_4 -kibocsátási tényezőket (emission factor, EF) használnak, és figyelmen kívül hagyják a regionális/helyi állattenyésztési gyakorlatok sajátosságait (például a tartott állatok fajtáját, korát, termelését vagy a takarmányozásuk jellemzőit). A **2. szint** hasonló módszertant követ, mint az előző, ám itt már pontosabb becsléseket eredményező, országspecifikus CH_4 -kibocsátási tényezőket alkalmaznak. Az adatokat állatkategóriák szerint rendszerezik, és a szarvasmarhák éves CH_4 -kibocsátását az állatok GE-felvételére, valamint a CH_4 -konverziós tényezőre alapozva határozzák meg (erről lásd a következő bekezdést). Így ezek a számítások már jobban tükrözik az adott ország viszonyait és állattenyésztési gyakorlatát. A **3. szint** megközelítése a legrészletesebb, mivel regionális modellekre, nemzeti ÜHG-kibocsátási leltármódszerekre és többéves kutatások

során gyűjtött adatokra épít. Ennek köszönhetően nemcsak pontosabb és aprólékosabb eredményeket kínál a másik két szintnél, hanem figyelembe veszi a helyi állattenyésztési rendszerek változatosságát és a regionális sajátosságokat is. Ezáltal lényegesen megbízhatóbb és árnyaltabb képet nyújt az emisszió alakulásáról.



Magyarországon a NIR-t összeállító szakemberek a Központi Statisztikai Hivatal mezőgazdasági összeírásai során kapott éves átlagos állatállomány-létszám, valamint az IPCC iránymutatásai alapján számított EF segítségével becsülik meg a teljes szarvasmarha-állomány CH_4 -kibocsátását. EF-számításuk a következő képlettel történik:

$$EF = (GE \times Y_m / 100 \times 365) \div 55,65,$$

ahol GE a napi bruttó energiefelvételt (MJ/állat/nap), Y_m a GE %-ában kifejezett CH_4 -konverziós tényezőt, 365 az év napjainak számát, 55,65 pedig a CH_4 energiatartalmát (MJ/kg) jelöli. A tejhasznú szarvasmarhák GE-jét több tényező, például az átlagos testtömeg, a létfenntartás, a vemhesség és a tejtermelés energiaigénye, a legeltetett állatok aránya stb. figyelembevételével határozzák meg. Az Y_m értéke az országspecifikus tejhozam, valamint a takarmányok DMI arányában megadott NDF- (neutral detergent fiber – neutrális detergens rost) tartalma és -emészhetősége alapján kalkulálható. A teljes magyar tejhasznú szarvasmarha-állomány hozama nemzetközileg a közepes termelési kategóriába sorolható, amely 5 000–8 500 kg tej/tehén/év közötti szintet jelent. (Természetesen a törzkönyvezett és tejtermelés-ellenőrzött holstein-fríz, illetve magyar-tarka populációk átlagos standard, 305 napos laktációs termelése ezt jelentősen meghaladja; például a holstein-fríz populáció esetében ez az érték: 10 842 kg tej/tehén.) Így a teheneink Y_m -je,



70%-os vagy annál kisebb takarmányemészthetőség mellett, valamint $35\% < \text{NDF} \leq 37\%$ esetén: 6,1%.
A tejelő szarvasmarhákra vonatkozóan, 2021. évre megállapított EF-érték 134 kg CH₄/állat/év volt. (Cikkünk írásakor még nem álltak rendelkezésre az aktuális, 2022-re vonatkozó adatok.)



Ahogy korábban említettük, a mechanisztikus modellek élettani, fizikai és biokémiai alapokra épülnek, ezért valóságúbban tükrözik a tehenek szervezetében zajló folyamatokat, mint az empirikus modellek. A szarvasmarhák enterális CH₄-kibocsátásának becslésére azonban csak kevés ilyen típusú modell áll rendelkezésre. Ezek egyike a **COWPOLL-modell**, amelyet Dijkstra és kutatócsapata hozott létre 1992-ben a bendőfermentáció matematikai leírására, majd 2001-ben Mills és mtsai. fejlesztettek tovább az emésztőtraktus bendő utáni részében zajló lebontási folyamatok jellemzése, valamint az állatok CH₄-termelésének előrejelzése céljából. A modell finomítása ezt követően is folytatódott: például Kebreab és mtsai. (2004) a nitrogénforgalom bevonásával, míg Bannink és mtsai. (2006 és 2008) olyan új kémiai számítási módszerrel (azaz korszerű sztöchiometriával) egészítették ki, amely lehetővé teszi a képződő illó zsírsavak (volatile fatty acids, VFA-k) mennyiségének és arányainak pontosabb meghatározását.

Az így létrejött modell összetett dinamikus, determinisztikus és nemlineáris differenciálegyenletekből áll, melyek a szarvasmarhák emésztőrendszerében zajló fermentációs folyamatokat, tápanyag-felszívódást és anyagcserét, valamint a mikrobiális aktivitást írják le, figyelembe véve többek között a felvett takarmány mennyiségét és összetételét, illetve a bendő kémhatását is. A COWPOLL a fermentációs végtermékek mennyiségét három mikroorganizmus-csoport (amilolitikus baktériumok, cellulolitikus baktériumok, protozoák) és a különféle szubsztrátok (például szénhidrátok, fehérjék, lipidek) közötti interakciók alapján, nemlineáris enzimkinetikai számításokkal jelzi előre (Bannink és mtsai., 2011). Ezenkívül megkülönbözteti egymástól a hidrogéntermelő és a hidrogénfelhasználó folyamatokat, melyek kulcsfontosságúak a mikrobiális VFA-képződés, illetve az ehhez kapcsolódó CH₄-termelés szempontjából. A modell inputadatai között szerepel például a takarmányadagon belüli tömegtakarmány- és koncentrátumarány, a takarmány kémiai összetétele, valamint a DMI. Az állatok szervezetében zajló bonyolult biokémiai folyamatok leképezésére a következő 17 állapotváltozó szolgál:

- bendőben 1. gyorsan lebomló, oldódó / 2. lebomló / 3. nem lebomló fehérjék, 4. ammónia;
- bendőben 5. lebomló / 6. nem lebomló rostok,
- bendőben 7. oldódó / 8. nem oldódó keményítő, 9. vízben oldódó szénhidrátok;
- 10. éterkivonat (zsírok, olajok);
- szerves savak – 11. tejsav, valamint VFA-k (12. esetsav [acetát], 13. propionsav [propionát], 14. vajsav [butirát] és 15. valeriansav [valerát]);
- 16. amilolitikus mikrobák, melyek a nemszerkezeti szénhidrátokat (a cukrokat, a keményítőt, a maltózt, a dextrineket stb.) hasznosítják, illetve
- 17. cellulitikus mikrobák, melyek a szerkezeti szénhidrátokat (a cellulózt és a hemicellulózt) metabolizálják.

A **MOLLY egy másik közismert dinamikus mechanisztikus modell**, amelyet a Kaliforniai Egyetem szakemberei fejlesztettek ki kifejezetten a tejhasznú tehenek bendőemésztésének, anyagcseréjének, tápanyag-hasznosításának és tejtermelésének matematikai leírására, de emellett képes előre jelezni az állatok CH₄-, CO₂-, valamint karbamidkibocsátását is. A MOLLY-t TMR-etetés



során gyűjtött adatokon tesztelték. Első változatát Baldwin és mtsai. 1987-ben publikálták, amelyet azóta többször is módosítottak és bővítettek (például új emésztési mutatókkal, illetve hormonális jellemzőkkel; Baldwin, 1995); az eredeti paramétereket pedig a biológiai folyamatok részletesebb leírása és az előrejelzések pontosítása érdekében tovább finomították. Állapotváltozóinak száma meghaladja a Dijkstra-modellét; közöttük egyebek mellett a tehének megfigyelt DMI-je, a takarmány tápanyag-összetétele, a mikrobapopuláció nagysága, a termelt tej, tejsír, tejfehérje és tejcukor mennyisége, valamint a bendőemésztésben szerepet játszó tápanyagok és metabolitok (például a keményítő, cellulóz, hemicellulóz, lignin, oldható szénhidrátok, VFA-k, nyersfehérje, nemfehérje-nitrogén, karbamidok, lipidek, szerves savak, laktát, pektin és zsírok stb.) is szerepelnek.

A MOLLY számos kémiai reakcióegyenletről áll (jóval több-ből, mint a Dijkstra-modell), amelyek részletesen leírják a tápanyagok lebontását, az anyagcseretermékek keletkezését, illetve az energiametabolizmus folyamatát. A modell napi kétszeri fejést vesz alapul, a takarmányfelvétel sebességét konstans értéként kezeli, a bendőfolyadék mennyiségét pedig a takarmány szárazanyag-tartalmából számítja ki. A CH_4 -termelés előrejelzésére háromféle kémiai összefüggést alkalmaz, tekintetbe véve a képződő VFA-k mennyiségét és arányait. VFA-sztöchiometriája Murphy és mtsai.-nak (1982) reakcióegyenletein alapul, amelyek a bendőben fermentált szubsztrátok típusától és a hidrogén-felhasználástól függően határozzák meg a képződő

VFA-k mennyiségét. A CH_4 -termelés becslését szintén ezek a számítások adják, feltételezve, hogy az oldható szénhidrátok és a fehérjék fermentációjából származó hidrogén egy része a bendőmikrobák növekedését, a telítetlen zsírsavak telített zsírsavakká történő biohidrogénezését, valamint a propionsav (propionát) és a valeriansav (valerát) képződését támogatja, míg a fennmaradó mennyisége a szén-dioxid CH_4 -ná történő redukálásában vesz részt.



A MOLLY és a COWPOLL tehát olyan dinamikus mechanisztikus modellek, amelyek a bendőben termelődő CH_4 mennyiségét a hidrogéntermelő reakciók (például az ecetsav- és a vajsavképződés) során keletkező, valamint a hidrogénfelhasználó reakciókban (így a propionsav-képződésben, a biohidrogenációban stb.) felvett hidrogén mennyiségének figyelembevételével becsülik meg. A fő különbség közöttük az, hogy más-más fermentációs arányokat alkalmaznak a szubsztrátok VFA-ká alakulásának szimulációjához. Továbbá, míg a COWPOLL-modell három mikrobacsoportot különít el, a másik modell a mikroorganizmusokat egyetlen csoportként kezeli.



Solum Zrt. csémi szarvasmarhatelepe

