



SPU
Slovenská
poľnohospodárska
univerzita v Nitre



SPU·VC ABT
Výskumné centrum
AgroBioTech

PLÁN [OBNOVY]



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

Uhlíková stopa fariem v živočíšnej výrobe

Vyhodnotenie fariem analyzovaných pomocou nástroja výpočtu
uhlíkovej stopy DecarbTrack



www.decarb.uniag.sk

Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR
v rámci projektu č. 09I04-03-V02-00054 - Nízkoemisná Budúcnosť: Sledovanie Uhlíkovej Stopy
v Agropotravinárskych podnikoch pre Podporu Lokálnych Výrobcov

Obsah

Abstrakt	3
1 Úvod, rozsah a metodika	4
1.1 Podklady a filtrácia.....	4
1.2 Metodický rámec a výpočet enterickej fermentácie.....	4
1.3 Skutočné výpočtové hodnoty nástroja (metodický box)	4
2 Celkové porovnanie fariem podľa produkcie CO ₂	6
3 Mliečne farmy	8
4 Mäsové farmy a dopočet enterickej fermentácie	10
4.1 Príčina nulovej enterickej fermentácie	10
4.2 Dopočet a overenie metódy.....	10
4.3 Vyhodnotenie fariem produkujúcich mäso	10
5 Porovnanie s referenčnými hodnotami (V4/EÚ/svet).....	13
6 Faktory najviac ovplyvňujúce produkciu CO ₂	14
7 Faktory najviac ovplyvňujúce enterickú fermentáciu.....	16
8 Porovnanie fariem: enterická fermentácia, hnoj a stráviteľnosť.....	18
8.1 Enterická fermentácia.....	18
8.2 Hospodárenie s hnojom.....	18
8.3 Stráviteľnosť dávky a jej dvojaký prejav.....	19
9 Overenie výpočtu oproti referenčným hodnotám	21
10 Kľúčové metodické zistenia a kvalita dát	23
10.1 Plnohodnotný prístup Tier 2 a potreba laboratórnych rozborov	23
10.2 Metodické vylepšenie pri mäsovom dobytku.....	23
10.3 Čistenie dát a eliminácia fatálnych užívateľských chýb	23
11 Mitigačné páky a odporúčania	24
12 Závery.....	26



Abstrakt

Z 34 reportov DecarbTrack bolo vyfiltrovaných 9 fariem so živočíšnou výrobou. Enterická fermentácia a nakladanie s hnojom tvoria v priemere 78 % uhlíkovej stopy – dekarbonizačný potenciál leží vo výžive prežúvavcov a manažmente hnoja, nie v energetike.

- Produkciu CO₂ určuje živočíšna výroba. Priame emisie (Scope 1) tvoria 78 – 97 % stopy; rozhodujúce sú enterická fermentácia a nakladanie a hospodárenie s hnojom.
- Enterická fermentácia: absolútne ju určuje príjem energie (GE, $r = +1,00$), intenzitu na kg mlieka určuje dojivosť (rozloženie záchovej potreby na viac mlieka, $r = -0,93$).
- Európske porovnanie: mliečna Farma F je na špici efektívnosti (10 g CH₄/kg mlieka), Farmy A a D majú najväčší priestor na zlepšenie; mäsové farmy po dopočte zapadajú do európskeho pásma (11 – 13 kg CO₂e/kg živej hmotnosti).
- Mäsové farmy mali enterickú fermentáciu chybne nulovú (chýbajúca hmotnosť dospelej samice); po overenom dopočte im stopa rastie o 55 – 160 %.
- Nástroj je plnohodnotný IPCC Tier 2 – kvalita dávky vstupuje cez príjem energie (GE) aj stráviteľnosť (Ym).



1 Úvod, rozsah a metodika

Cieľom je zosumarizovať a porovnať uhlíkovú stopu podnikov so živočíšnou výrobou, ktoré si v rámci projektu DecarbTrack (decarb.uniag.sk, SPU Nitra) vypočítali podnikovú uhlíkovú stopu, porovnať výsledky s referenciami V4/EÚ/svet a vyhodnotiť faktory ovplyvňujúce produkciu CO₂ a enterickú fermentáciu.

1.1 Podklady a filtrácia

Podkladom je 34 exportovaných PDF reportov, 70 detailných exportov modulu chovu zvierat a technický popis výpočtu. Z reportov boli podľa jednoznačných kritérií (živé zvieratá a/alebo enterická fermentácia; kompletnosť; bez duplicit) vybrané farmy so živočíšnou výrobou. Podniky sú anonymizované kódmi A – I; identifikačné údaje boli odstránené.

Tab. 1 Výsledok filtrácie. Kategória B (mäsové farmy) je zahrnutá po dopočte enterickej fermentácie.

Kategória	Počet	Reportov	Do vyhodnotenia
A – Kompletné farmy so živočíšnou výrobou	6 fariem	9	ÁNO
B – Živočíšne farmy s nedokončeným modulom chovu	3 farmy	6	dopočet (sekcia 4)
C – Duplicity / rastlinná / spracovanie / obchod	–	19	nie
SPOLU	–	34	–

1.2 Metodický rámec a výpočet enterickej fermentácie

Emisie sú členené podľa GHG Protocol na Scope 1 (priame – palivá, procesné emisie vrátane enterickej fermentácie a hnoja), Scope 2 (nakupované energie) a Scope 3 (dodávateľský reťazec), vyjadrené v t CO₂e/rok. Modul chovu počíta enterickú fermentáciu prístupom IPCC Tier 2:

$$\text{Enterická CO}_2\text{e} = \text{GE} \times (\text{Ym} / 100) \div 55,65 \times 365 \times \text{GWP}$$

kde GE je príjem hrubej energie (odvodený z krmnej dávky), Ym = 9,75 – 0,05 × DE % (závisí od stráviteľnosti dávky), 55,65 MJ/kg je energetický obsah metánu a GWP CH₄ = 27,9. Kvalita dávky teda vstupuje dvoma kanálmi – cez príjem energie (GE) aj cez stráviteľnosť (Ym). Overené na dátach (zhoda výpočtu s reportom < 0,5 %).

Kategorizácia. Mliečne farmy (A, D, E, F) produkujú mlieko; mäsové (B, G, H, I) chovajú mäsové dobytok; zmiešaná (C) kombinuje dobytok, ošipané a rastlinnú výrobu.

1.3 Skutočné výpočtové hodnoty nástroja (metodický box)

Overenie výpočtovej kalkulačky potvrdilo skutočné hodnoty a vzorce, ktoré nástroj používa – dôležité pre korektnú interpretáciu a reprodukovateľnosť. Ide o plnohodnotný Tier 2: stráviteľnosť aj metán sa počítajú z reálnej krmnej dávky, nie z fixných IPCC defaultov.

- Prepočet na CO₂e (GWP₁₀₀): CH₄ = 27,9; N₂O = 273.
- Dynamická stráviteľnosť, Ym a VS sa počítajú z reálnej dávky (21 typov krmív s plnými nutričnými parametrami):



$$DE \% = \text{SUMPRODUCT}(DE / BE ; \text{krmivo} \times DM) \div \text{SUMPRODUCT}(\text{krmivo} \times DM)$$

$$Ym = 9,75 - 0,05 \times DE \%$$

$$VS = [GE \times (1 - DE \% / 100) + UE \times GE] \times [(1 - ASH) \div 18,45]; \quad ASH = 0,08 ; UE = 0,04$$

Emisie z hnoja používajú faktory diferencované podľa systému nakladania (metánový konverzný faktor MCF, podiel plynného dusíka FracGas, priamy emisný faktor N₂O – EF3):

Tab. 2 Skutočné faktory nakladania s hnojom v nástroji (MCF ≈ IPCC 2006). FracGas a EF3 sa líšia aj podľa druhu zvieratá; uvedené sú hodnoty pre dojnice/HD.

Systém nakladania s hnojom	MCF	FracGas dojnice %	EF3 (HD)
Anaeróbna lagúna	66 %	35	0
Hnojovica (slurry)	17 %	48	0,005
Podstajňový zberný systém	17 %	28	0,002
Hlboká podstielka	2 %	30	0,01
Skladovanie tuhého hnoja	2 %	14	0,01
Suché výbehy (dry lot)	1 %	30	0,02
Priama aplikácia (denne)	0,1 %	7	0
Kompostovanie	1 %	38	0,006
Aeróbne spracovanie	0 %	14	0,007
Anaeróbny digestor	5 %	5	0,0006



2 Celkové porovnanie fariem podľa produkcie CO₂

Pri pohľade na absolútne hodnoty celkovej produkcie skleníkových plynov je nevyhnutné uviesť si, že **celková stopa primárne odráža veľkosť stáda a rozsah poľnohospodárskych plôch**, nie samotnú ekologickú efektívnosť podniku. Z dát v Tabuľke 3 však vyplýva niekoľko zásadných štrukturálnych zistení.

Hornú polovicu tabuľky dominantne obsadzujú veľké mliečne farmy. Suverénne najväčším producentom emisií je Farma F (5 205 t CO₂e), čo je prirodzeným dôsledkom obrovského objemu jej produkcie a veľkosti stáda. Mliečne farmy sa vo všeobecnosti pohybujú v rozmedzí takmer 2 000 až 5 200 ton ročne. Naopak, mäsové farmy s extenzívnejším charakterom chovu (Farma I, H, G, B) uzatvárajú tabuľku s celkovou produkciou pod 1 700 ton CO₂e.

Pri úzko špecializovaných mliečnych farmách (F, A, E, D) tvorí živočíšna výroba drvivú väčšinu celej uhlíkovej stopy podniku (vysoko nad 75 %, pri Farme D až 87 %). Z tohto trendu výrazne vybočujú dva subjekty:

- **Farma C (Zmiešaná):** Pri celkovej stope 2 652 ton predstavuje živočíšna výroba len 53 %. Extrémne nízka enterická fermentácia (73 t) napovedá, že ide prevažne o podnik zameraný na silnú rastlinnú produkciu.
- **Farma I (Mäsová):** Hoci po dopočítaní enterickej fermentácie (580 t) jej stopa stúpila na 1 633 ton, živočíšna výroba u nej tvorí iba menšinu (46 %). Väčšina jej emisií teda pochádza z iných činností (pestovanie plodín, mechanizácia).

Kým u väčšiny hodnotených fariem (F, E, D a všetky mäsové farmy) tvorí enterická fermentácia najväčší individuálny zdroj emisií, pri **Farme A** vidíme zásadnú anomáliu. Emisie z hnoja a hnojív (1 663 t) tu výrazne prevyšujú samotnú enterickú fermentáciu (1 104 t). Tento údaj jasne ukazuje, že kým enterickú fermentáciu má farma zvládnutú pomerne dobre, jej obrovským mitigačným potenciálom do budúcnosti je práve optimalizácia procesov uskladnenia a aplikácie hnojovice.

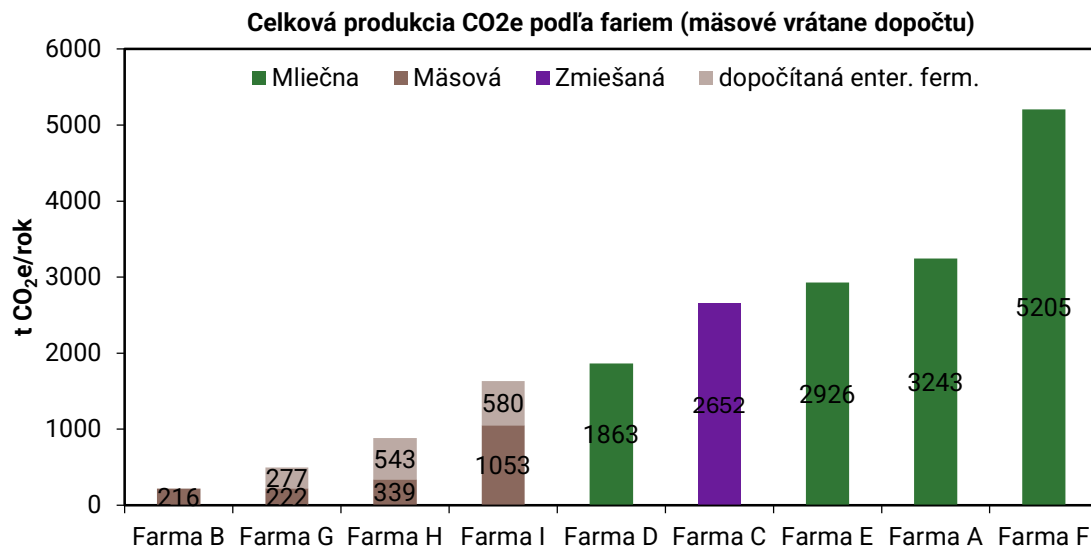
Vďaka presnému dopočítaniu enterickej fermentácie pre mäsové farmy (G, H, I) tabuľka odhaľuje ich skutočnú štruktúru. U týchto fariem je enterická fermentácia zhruba 3 až 4-násobne vyššia než emisie z ich hnoja (napr. Farma H: 543 t enterická vs. 131 t hnoj). Potvrďuje sa tak fakt, že pri extenzívnom mäsovom dobytku a nižšej kvalite objemových krmív predstavuje samotné trávenie (a Ym faktor) absolútne kľúčový zdroj emisií podniku.

Tab. 3 Celková produkcia CO₂e (zostupne). * farmy G, H, I s dopočítanou enterickou fermentáciou (sekcia 4); hnoj (N₂O) bol v reporte vypočítaný.

Farma	Typ	Spolu t CO ₂ e	Enter. ferm. t	Hnoj/hnojivá t	Živoč. výroba %
Farma F	Mliečna	5 205	2 409	1 617	77 %
Farma A	Mliečna	3 243	1 104	1 663	85 %
Farma E	Mliečna	2 926	1 494	851	80 %
Farma D	Mliečna	1 863	1 186	436	87 %
Farma C	Zmiešaná	2 652	73	1 338	53 %



Farma	Typ	Spolu t CO ₂ e	Enter. ferm. t	Hnoj/hnojivá t	Živoč. výroba %
Farma I	Mäsová	1 633*	580*	205	46 %
Farma H	Mäsová	882*	543*	131	79 %
Farma G	Mäsová	499*	277*	67	72 %
Farma B	Mäsová	216	58	27	77 %



Graf 1 Celková stopa podľa fariem a typu; šrafované = dopočítaná enterická fermentácia mäsových fariem.



3 Mliečne farmy

Mliečne farmy porovnávame uhlíkovou stopou mlieka a intenzitou enterického metánu na kg mlieka; dominuje enterická fermentácia, druhým zdrojom je hnoj. Do tabuľky sú doplnené referenčné hodnoty na kg mlieka.

Údaje zosumarizované v Tabuľke 4 slúžia ako priame porovnanie efektivity slovenských chovov voči globálnym a európskym štandardom. Z čísel vyplývajú tri kľúčové závery o stave a produkčnej sile sledovaných fariem.

Tabuľka 4 potvrdzuje, že produkčná efektivita je efektívnym nástrojom znižovania emisií. Vysokoužitkové farmy (Farma F a Farma E) s dennou dojivosťou nad 30 kg dokázali stlačiť svoju celkovú uhlíkovú stopu hlboko pod 1 kg CO₂e na liter mlieka. Naopak, farmy s extenzívnejšou úžitkovosťou okolo 22 kg/deň (Farma D a A) vykazujú stopu v rozpätí 1,11 až 1,48 kg CO₂e. Tento trend sa plne zrkadlí aj v produkcii enterického metánu (CH₄), kde Farma F vyprodukuje na kilogram mlieka takmer o polovicu menej metánu (9,9 g) než Farma A (19,3 g).

Všetky štyri sledované mliečne farmy dosahujú v globálnom kontexte vynikajúce výsledky. **Farma F a Farma E (0,31 – 0,62 kg CO₂e)** sa svojou efektivitou nielenže zaraďujú do pásma „Dobrej praxe“ (0,8 – 1,4), ale s rezervou spĺňajú najprísnejšie kritéria (< 1,0 kg), kam patria krajiny ako Nový Zéland či Írsko. Aj pri zohľadnení metodologickej korekcie (FPCM alokácia) by ich stopa patrila k najnižším v Európe. **Farma D a Farma A (1,11 – 1,48 kg CO₂e)** v rámci analýzy figurujú ako "najslabšie", ich hodnoty dokonale líčujú so stredoeurópskym štandardom a spadajú do horného pásma Dobrej praxe. Majú obrovský odstup od celosvetového priemeru podľa FAO (2,40 kg CO₂e), čo dokazuje, že produkcia mlieka na Slovensku je vysoko ekologická.

Posledný stĺpec tabuľky preukazuje schopnosť sledovaných chovov v tlmení enterickej fermentácie. Priemerné literárne namerané hodnoty sa vo svete pohybujú na úrovni 25,6 g CH₄ na kilogram mlieka. Žiadna z vyhodnocovaných fariem túto hodnotu nedosiahla a všetky ležia hlboko pod ňou. Farmy D a A reportujú 19 gramov, pričom Farma F (s hodnotami okolo 10 g) sa nachádza doslova na fyziologickom minime tvorby metánu pri zachovaní funkčného bachora kravy.

Metodické upozornenie: Pri interpretácii týchto výsledkov a najmä extrémne nízkych čísel pri Farme F a E (0,31 - 0,62 kg CO₂e) je potrebné brať do úvahy fakt, že report primárne využíva ekonomickú alokáciu nákladov. Globálne referencie (FAO, CE Delft) často využívajú biofyzikálnu alokáciu (FPCM), ktorá zvykne byť o niekoľko desiatín vyššia.

Tab. 4 Mliečne farmy vs. referencie na kg mlieka. * referencie na kg FPCM (biofyzikálna alokácia) – hodnoty fariem na liter pri ekonomickej alokácii, preto nie priamo porovnateľné.

Farma / referencia	Dojivosť kg/deň	Stopa mlieka kg CO ₂ e/kg	CH ₄ g/kg mlieka	Enter. ferm. t CO ₂ e
Farma F	30,6 – 42,2	0,31 – 0,37	9,9 – 11,7	1 928 – 2 409
Farma E	32,7	0,62	13,5	1 067 – 1 494
Farma D	21,9	1,11	19,4	1 186
Farma A	22,7	1,48	19,3	1 104



Farma / referencia	Dojivosť kg/deň	Stopa mlieka kg CO ₂ e/kg	CH ₄ g/kg mlieka	Enter. ferm. t CO ₂ e
Ref. – špička (NZ, IE, UK)	–	< 1,0 *	–	–
Ref. – dobrá prax (CE Delft)	–	0,8 – 1,4 *	–	–
Ref. – EÚ / nové čl. štáty	–	1,0 – 2,0 / >1,5 *	–	–
Ref. – svet (FAO)	–	2,40 *	–	–
Ref. – enter. CH ₄ (namerané)	–	–	15 – 42 (Ø 25,6)	–

Farma F má najnižšiu intenzitu vďaka vysokej dojivosti, nasleduje Farma E. Farmy A a D majú pri dojivosti 22 kg/deň takmer dvojnásobnú intenzitu metánu na kg mlieka – najväčší priestor na zlepšenie.



4 Mäsové farmy a dopočet enterickej fermentácie

4.1 Príčina nulovej enterickej fermentácie

Farmy G, H, I mali enterickú fermentáciu nulovú. Príčina je jednoznačná (overená vo vzorcoch): rastová zložka energie sa počíta ako $NE_g = 22,02 \times (BW / (C \times MW))^{0,75} \times WG^{1,097}$, kde MW je **referenčná živá hmotnosť dospeljej samice**. Tieto farmy sú mäsové chovy bez dojníc, MW ostala nezadaná (0), menovateľ je nulový a GE (aj enterická fermentácia) = 0. Nejde o chybu nástroja, ale o chýbajúci vstup. **Emisie z hnoja (N_2O) sa vypočítali normálne** (nezávisia od GE) a sú v reporte v kat. 1.4.2.

4.2 Dopočet a overenie metódy

Enterickú fermentáciu sme dopočítali doplnením referenčnej hmotnosti dospeljej samice **650 kg** z hmotností a prírastkov, ktoré farmy zadali. Rekonštrukciu sme overili na súbore, kde mäsový dobytok fungoval – reprodukovala GE, Ym aj enterickú fermentáciu nástroja presne na desatinu; výsledok je málo citlivý na hmotnosť ($\pm \sim 2\%$ pri 600 – 700 kg). **Pre finálne vyhodnotenie a zamedzenie extrapolácie z referenčnej hmotnosti 650 kg budú chýbajúce primárne údaje (hmotnosť dospeljej samice) získané priamo od samotných chovateľov (Farmy G, H, I) a výsledky sa následne prepočítajú.**

4.3 Vyhodnotenie fariem produkujúcich mäso

Dáta zosumarizované v Tabuľke 5 poskytujú ucelený obraz o ekologickej efektivite chovu mäsového dobytka po tom, ako bola metodicky zrevidovaná a doplnená chýbajúca enterická fermentácia. Z týchto prepočtov vyplývajú štyri zásadné zistenia:

Tabuľka jasne ukazuje, prečo bol dopočet pre farmy I, H a G absolútne nevyhnutný. Vynechanie enterickej fermentácie (ktoré bolo spôsobené zadaním "bez trhovej produkcie") vymazalo z reportu stoviek ton skleníkových plynov (od +277 t pri Farme G až po +580 t pri Farme I). Až *Korigovaná stopa* ukazuje reálny vplyv týchto podnikov na prostredie. Správnosť tohto prístupu potvrdzuje Farma B, pri ktorej bol systém zadaný správne už v základe a slúži ako metodický kontrolný bod.

Najužitočnejším metrickým ukazovateľom pri mäsovom dobytku je stopa na kilogram živej hmotnosti (ž. h.). Pri pohľade na intenzitu samotnej živočíšnej výroby (súčet enterickej fermentácie a hnoja) vidíme podobnosť. Farmy I, G a B dosahujú takmer identický výsledok (8,3 až 8,5 kg CO_2e na kg živej hmotnosti). Z tohto štandardu vybočuje iba Farma H (11,5 kg CO_2e /kg ž.h.), čo zvyčajne poukazuje na pomalší denný prírastok na váhe (dlhšiu dobu výkrmu), horšiu kvalitu objemového krmiva, alebo odlišnú štruktúru stáda.

Celková uhlíková stopa pri troch farmách (I, G, B) pohybuje na úrovni **11 kg CO_2e na kg živej hmotnosti**. Tento výsledok presne zasahuje dolnú hranicu európskej Dobrej praxe (11 – 13 kg CO_2e). Chovy s horšou organizáciou pastvy a dlhším výkrmom majú často krát vyššie hodnoty (v prepočte až 40 kg na jatočnú hmotnosť). Aj Farma H, so svojimi 15 kg na živú váhu, spadá do lepšieho stredoeurópskeho normálu.

Referenčné údaje potvrdzujú, že samotné zvieratá (enterická fermentácia a produkcia hnoja) zodpovedajú pri mäsových farmách za 64 % až 84 % celkovej stopy podniku. Z toho vyplýva jednoznačný strategický záver: dekarbonizácia mäsových fariem sa nesmie sústrediť na solárne panely či šetrenie nafty v traktoroch (Ostatné/Scope 3). Kľúčom k znižovaniu ich emisií je výhradne optimalizácia stáda – zvyšovanie kvality pasienkov a siláže (čím sa zníži Ym a urýchlí rast), zlepšenie genetiky a skrátenie celkovej doby výkrmu zvierat pred porážkou.



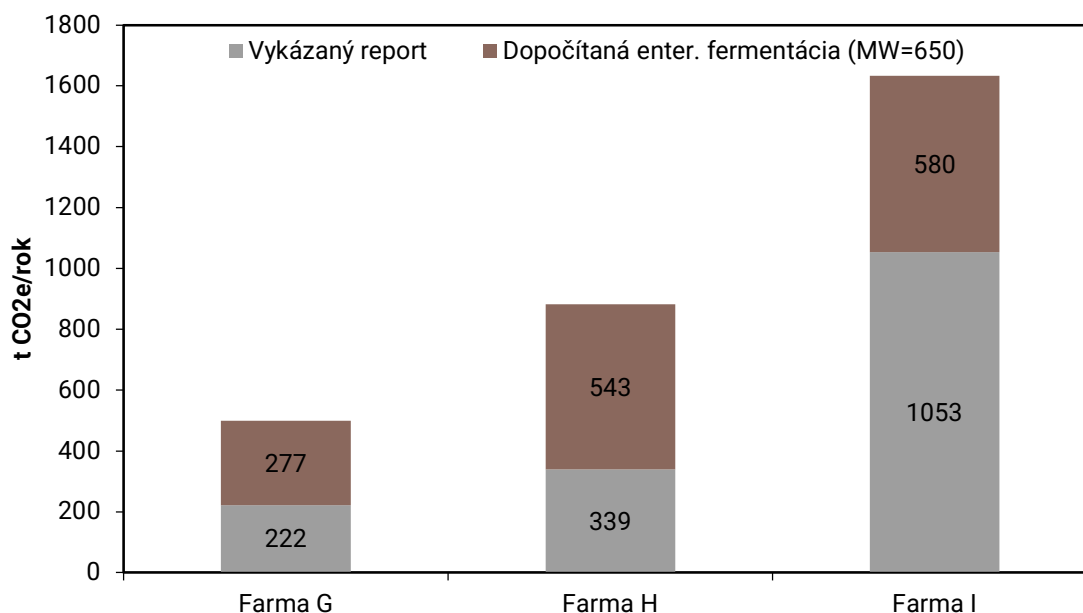
Tab. 5 Mäsové farmy – dopočet a intenzita živočíšnej výroby (enter. + hnoj) na kg živej hmotnosti (ž.h.).

** implikovaná celková stopa = (enter.+hnoj) ÷ ~75 %; jatočná hmot. ≈ 0,53 × živá.

Farma / referencia	Dopočet enter. ferm.	Korig. stopa	Enter.+hnoj kg/kg ž. h.	Impl. celk.** kg/kg ž.h.
Farma I	+580 t	~1 633 t	8,4	11
Farma H	+543 t	~882 t	11,5	15
Farma G	+277 t	~499 t	8,3	11
Farma B	58 t (OK)	216 t	8,5	11
Ref. – hovädzie EÚ (celk.)	–	–	11 – 13	(20 – 24 /kg jat.)
Ref. – nové čl. štáty EÚ	–	–	vyššie	až ~40 /kg jat.
Ref. – podiel enter.+hnoj	–	–	~64 – 84 % stopy	–

Tab. 5 Mäsové farmy – dopočet a intenzita živočíšnej výroby (enter. + hnoj) na kg živej hmotnosti (ž.h.). ** implikovaná celková stopa = (enter.+hnoj) ÷ ~75 %; jatočná hmot. ≈ 0,53 × živá.

Dopočet chýbajúcej enterickej fermentácie mäsového dobytká



Graf 2 Dopočet enterickej fermentácie mäsových fariem; úsečky = citlivosť 600 – 700 kg.

Miera podhodnotenia. Dopočítaná enterická fermentácia mení stopu dramaticky: Farma G rastie o 277 t (+124 %, viac než celý pôvodný report), Farma H o 543 t (+160 %), Farma I o 580 t (+55 %).



Po dopočte živočíšna výroba (enter. + hnoj) predstavuje 8,3 – 11,5 kg CO₂e/kg živej hmotnosti – implikovaná celková stopa (~11 – 15 kg/kg ž.h.) zapadá do európskeho referenčného pásma.

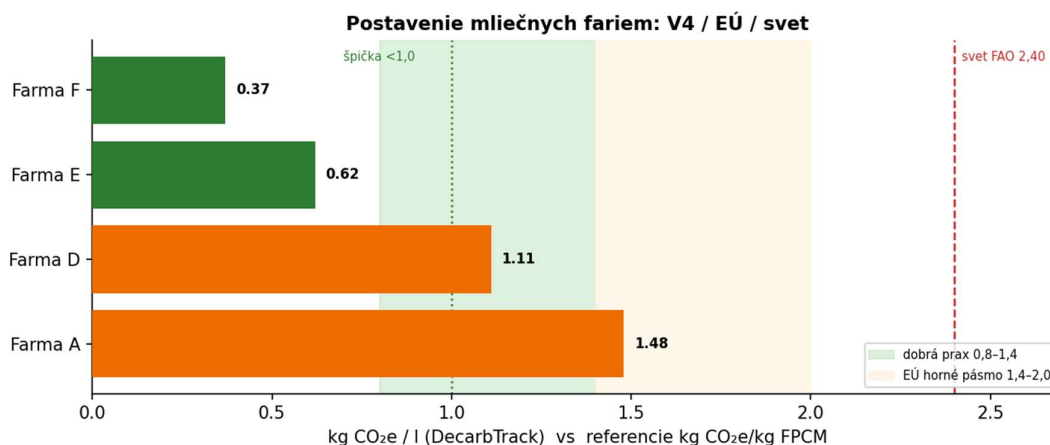


5 Porovnanie s referenčnými hodnotami (V4/EÚ/svet)

Pri základnom výpočte nástroja sa uhlíková stopa mlieka (0,31 – 1,48 kg CO₂e/l) stanovuje na základe ekonomickej alokácie. Globálne a európske štúdie (napríklad FAO) však pre exaktné medzinárodné porovnania využívajú biofyzikálnu alokáciu, kedy sa emisie prepočítavajú na kilogram tzv. štandardizovaného mlieka korigovaného na tuk a bielkoviny (FPCM). Pre zabezpečenie maximálnej objektívnosti musíme brať túto skutočnosť do úvahy.

Tab. 6 Referenčné hodnoty uhlíkovej stopy mlieka.

Referencia (kg CO ₂ e/kg FPCM)	Hodnota	Poznámka
Svet – FAO (2010)	2,40	globálny priemer (±26 %)
Svet – prehľad 21 krajín (2022)	2,11	rozpätie 0,74 – 5,99
EÚ industrializ. regióny	1,0 – 2,0	FAO
Dobrá prax (CE Delft)	0,8 – 1,4	metán najväčší podiel
Špička (NZ, IE, UK, US)	< 1,0	vysoká efektívnosť
V4 / Slovensko	–	najnižšia env. efektívnosť v EÚ; veľký potenciál zníženia



Graf 3 Postavenie mliečnych fariem voči referenčným pásmam.

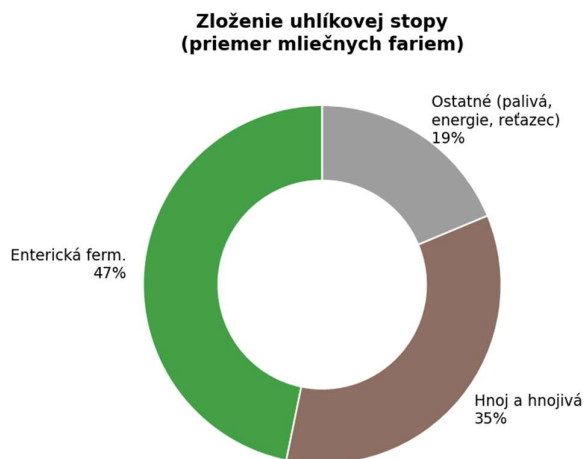
Hoci makro-analýzy environmentálnej efektívnosti historicky radia slovenské poľnohospodárstvo na koniec európskeho rebríčka (čo implikuje obrovský potenciál zníženia emisií bez straty tržieb), hodnotené farmy z tohto reportu tento stereotyp výrazne narúšajú. Ukazujú vysoko diferencovaný, no mimoriadne pozitívny obraz. Farmy F a E vďaka svojej vysokej úžitkovosti nielenže dosahujú úroveň "Dobrej praxe", ale priamo sa radia k absolútnej európskej a svetovej klimatickej špičke (pod 1,0 kg CO₂e). Farmy A a D so svojou nižšou dojivosťou oscilujú v hornej časti európskeho pásma. Ich stopa je z pohľadu strednej Európy v úplnom poriadku, no ukazujú jasný priestor pre optimalizáciu (najmä prostredníctvom úpravy kŕmnych dávok).



6 Faktory najviac ovplyvňujúce produkciu CO₂

Naprieč všetkými sledovanými farmami absolútne dominujú priame procesné emisie (Scope 1) pochádzajúce zo živočíšnej výroby. Analýza identifikovala nasledujúce poradie faktorov podľa sily ich vplyvu na celkovú uhlíkovú stopu:

1. **Enterická fermentácia a hnoj (Živočíšna výroba):** Predstavuje v priemere 78 % celkovej stopy (s extrémnym rozpätím 53 % až 94 % v závislosti od podielu rastlinnej výroby). Ide o suverénne najsilnejší faktor.
2. **Rozsah chovu:** Fyzický počet zvierat a objem vyprodukovaného mlieka/mäsa, ktorý logicky určuje absolútnu výšku emisií podniku.
3. **Nakladanie s hnojom a hnojivami:** Mimoriadne významný faktor najmä pri farmách s obrovským podielom rastlinnej výroby (ako ukázala zmiešaná Farma C) alebo pri špecifickom manažmente hnojovice (Farma D).
4. **Palivá a mobilná technika (Scope 1 - traktory):** Predstavujú stredný až menší vplyv na celkovú stopu.
5. **Nakupované energie (Scope 2 - elektrina):** Vykazujú takmer zanedbateľný, len okrajový vplyv.



Graf 4 Zloženie uhlíkovej stopy (priemer mliečnych fariem).

Dáta z grafu a analýz ukazujú, že úspory elektrickej energie či výmena žiaroviek, majú na farmách len okrajový vplyv (cca 2 až 4 % stopy). **Skutočná dekarbonizácia poľnohospodárstva stojí a padá vo väčšej miere na živočíšnej výrobe** – na kvalite výživy prežúvavcov, zvyšovaní dojivosti a modernom manažmente hnoja.

Hoci jadro reportu oprávnenne pokrýva Scope 1 (ktorý tvorí gro emisií), hlbšia štrukturálna analýza ukazuje, že ani nepriame emisie z dodávateľského reťazca nesmieme ignorovať. Kým nakupovaná elektrina (Scope 2) je zanedbateľná, samotný **dodávateľský reťazec (Scope 3) tvorí významných 10 až 18 % celkovej uhlíkovej stopy fariem**. Pri živočíšnej výrobe sú totiž kľúčovými faktormi nakupované jadrové krmivá (emisie z ich pestovania a transportu, napr. dovezená sója z Južnej Ameriky) a výroba nakupovaných priemyselných hnojív. Znižovanie tejto časti nepriamej stopy



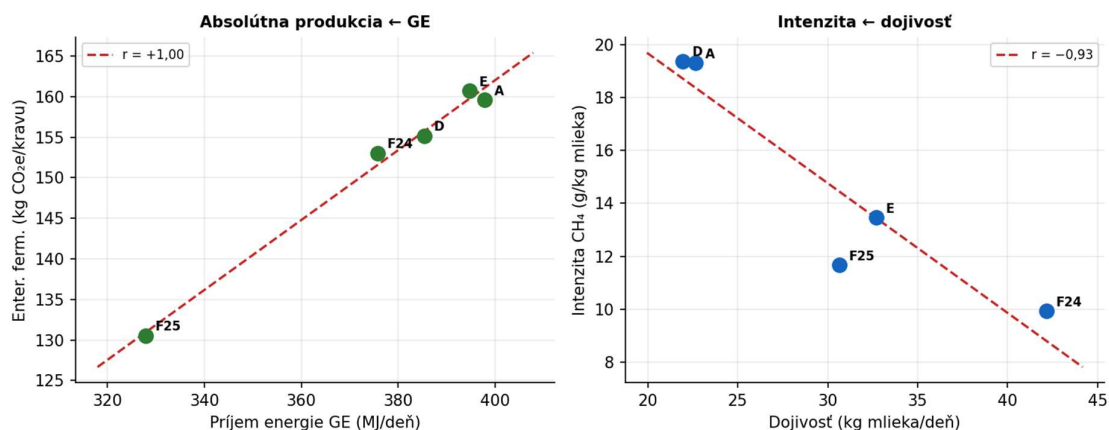
nespočíva v technológiách na farme, ale v zmene obchodnej politiky – v optimalizácii nákupov, využívaní organických hnojív a najmä v **preferovaní lokálne vypestovaných krmív**.



7 Faktory najviac ovplyvňujúce enterickú fermentáciu

Podľa metodiky IPCC (Tier 2) je celková enterická fermentácia primárne matematickým súčinom troch premenných: fyzického počtu zvierat, ich celkového denného príjmu hrubej energie (GE) a konverzného faktora metánu (Y_m).

Analýza detailných dát z mliečnych fariem odhalila exaktné závislosti medzi fyziológiou zvierat a produkciou emisií:



Graf 5 Faktory enterickej fermentácie: (vľavo) absolútna produkcia ← GE ($r = +1,00$); (vpravo) intenzita ← dojivosť ($r = -0,93$).

Z grafu a dátovej analýzy jasne vystupujú štyri hlavné faktory:

1. **Príjem hrubej energie (GE):** Výsledky potvrdzujú absolútnu priamu úmeru (korelácia $r = +1,00$) medzi príjmom energie a produkciou metánu na kravu. Platí jednoduché fyzikálne pravidlo: čím viac hmoty musí krava zožrať na pokrytie svojich zachovných a produkčných potrieb, tým viac metánu v bachore vyprodukuje.
2. **Dojivosť:** Kým príjem krmiva určuje absolútny metán, dojivosť je kľúčom k relatívnej uhlíkovej efektivite (korelácia $r = -0,93$). Závislosť ukazuje, že pri zvyšovaní dojivosti sa absolútne fixné emisie kravy (tzv. zachovná dávka) rozložia do podstatne väčšieho objemu nadojeného mlieka, čím stopa na jeden liter dramaticky klesá.
3. **Stráviteľnosť krmnej dávky (DE % a faktor Y_m):** Hoci je stráviteľnosť jedným z najsilnejších teoretických nástrojov dekarbonizácie (čím vyššia stráviteľnosť, tým menej metánu), v tomto konkrétnom dátovom súbore mliečnych fariem sa jej vplyv prejavil len mierne. Dôvodom je, že všetky hodnotené mliečne farmy disponujú relatívne podobne kvalitnými objemovými krmivami (DE v úzkom rozmedzí 71 – 74 %), čím faktor Y_m kolíše len minimálne (6,07 – 6,21 %). Pri väčšej variabilite alebo porovnaní s extenzívnymi chovmi by sa tento vplyv prejavil oveľa drastickejšie.
4. **Štruktúra stáda:** Na celkovom metáne podniku sa laktujúce dojnice podieľajú 60 až 91 %. Zvyšok tvorí takzvaný neproduktívny odchov (jalovice, suchostojné kravy), ktorý generuje emisie, no neprodukuje trhové mlieko. Optimalizácia a skrátenie doby odchovu jalovíc je preto nezanedbateľným faktorom znižovania stopy.

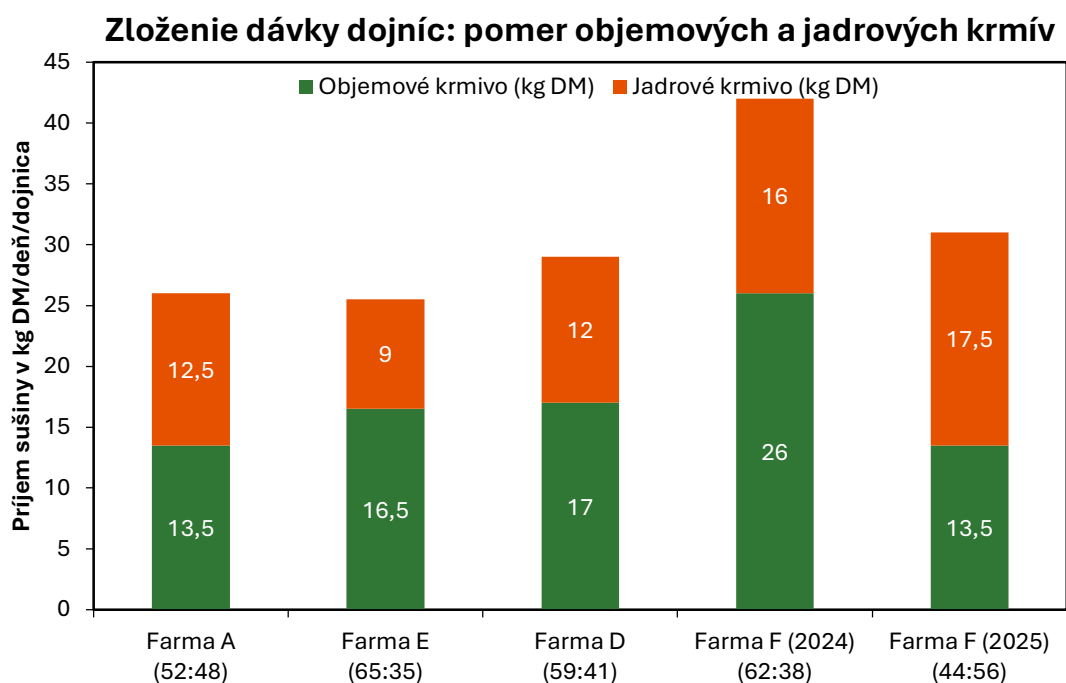
Graf 6 ukazuje, že vyšší celkový príjem sušiny, podporený vyšším podielom jadrového krmiva, je kľúčovým predpokladom pre dosahovanie špičkovej dojivosti. Analýza zloženia krmných dávok v Grafe 6 priamo vysvetľuje, prečo sa celková stráviteľnosť (DE %) medzi farmami líši a ako tento pomer ovplyvňuje tvorbu metánu.



1. Priama závislosť (Viac jadra = Vyššie DE %): Jadrové krmivá (obilniny, kukuričné či sójové šroty) obsahujú ľahko fermentovateľné sacharidy a ich stráviteľnosť je v tráviacom trakte prirodzene podstatne vyššia (často presahuje 80 %) v porovnaní s objemovými krmivami (siláže, senáže), ktoré obsahujú vyšší podiel ťažšie stráviteľnej štruktúrálnej vlákniny. Naše dáta túto fyzikálnu závislosť exaktne potvrdzujú. Farmy s najvyšším podielom jadra v sušine, napríklad Farma F v roku 2025 (podiel jadra až 56 %) a Farma A (48 %), logicky dosahujú najvyššiu celkovú stráviteľnosť krmnej dávky (DE = 73,6 %, resp. 72,7 %). Naopak, farmy opierajúce sa dominantne o objemové krmivá, napríklad Farma E (len 35 % jadra) alebo Farma F v staršom systéme z roku 2024 (38 % jadra), majú celkové DE % utlmené na úroveň okolo 70,8 % až 70,9 %.

2. Fyziologický a klimatický paradox: Z pohľadu jednoduchšej matematiky by sa mohlo zdať, že ideálnym mitigačným riešením je maximalizácia podielu jadrového krmiva – čím viac jadra, tým vyššie DE %, tým nižší metánový konverzný faktor (Y_m). Toto riešenie však naráža na dva tvrdé limity. **Fyziologický limit** - krava je prežúvavec a ak by podiel jadra (škrobu) presiahol zdravú hranicu na úkor štruktúrálnej vlákniny z objemových krmív, došlo by k poklesu pH v bachore (acidóza), čo by radikálne znížilo schopnosť tráviť celú dávku a ohrozilo zdravie zvieratá. A následne **klimatický limit (Presun emisií do Scope 3)**: Kým jadrové krmivo potláča priamu enterickú fermentáciu na farme (Scope 1), jeho pestovanie a import zvyčajne nesie obrovskú nepriamu uhlíkovú stopu z dodávateľského reťazca (Scope 3).

Skutočnou výzvou dekarbonizácie preto nie je umelé "dopovanie" dávky nakupovaným jadrovým krmivom, ale **maximalizácia stráviteľnosti (DE %) samotných objemových krmív**. Ak farma zvládne dokonalý manažment zberu vlastnej siláže a senáže (napr. skoršou kosbou pre nižší obsah lignínu), dokáže zvýšiť celkové DE % dávky a znížiť tvorbu metánu (Y_m) bez toho, aby musela nakupovať emisne drahé jadrové krmivá.



Graf 6 Zloženie dávky dojníc (objemové vs jadrové krmivo, sušina); vyšší príjem a viac jadra podporujú vyššiu dojivosť.



8 Porovnanie fariem: enterická fermentácia, hnoj a stráviteľnosť

Nasledujúca tabuľka a analýza priamo porovnáva farmy v troch kritických, navzájom prepojených oblastiach: v produkcii enterického metánu, v systéme hospodárenia s hnojom a v kvalite krmnej dávky.

Tab. 7 Porovnanie fariem. Intenzita = enterický CH_4 na kg mlieka; DE % = stráviteľnosť dávky; * dopočítaná enterická fermentácia.

Farma	Typ	Enter. ferm. t CO_2e	Intenzita g CH_4/kg	DE %	Ym %	Hnoj kg/kus	Systém hnoja
A	mliečna	1 104	19,3	72,7	6,12	1 401	skladovanie tuhého hnoja
D	mliečna	1 186	19,4	72,2	6,14	389	hlboká podstielka + hnojovica
E	mliečna	1 494	13,5	70,9	6,21	559	denná aplikácia na pole
F	mliečna	1 928	9,9	70,8	6,21	1 006	denná aplikácia na pole
G	mäsová	277*	—	66,7	6,42	474	podstajňový + denná apl.
H	mäsová	543*	—	66,6	6,42	467	podstajňový + denná apl.
I	mäsová	580*	—	66,4	6,43	463	podstajňový + denná apl.

8.1 Enterická fermentácia

Pri enterickej fermentácii je nevyhnutné odlíšiť celkový objem od uhlíkovej intenzity. V logike rozsahu chovu jasne dominuje Farma F (vyprodukuje 1 928 – 2 409 ton CO_2e), čo je priamym dôsledkom najväčšieho stáda. Z pohľadu uhlíkovej intenzity na kilogram mlieka je však situácia opačná. Najhoršiu intenzitu dosahujú Farmy A a D (vyše 19 g CH_4/kg mlieka) z dôvodu najnižšej dojivosti (okolo 22 kg/deň). Naopak, Farma F so špičkovou dojivosťou 42 kg/deň vykazuje najlepšiu intenzitu len 9,9 g CH_4/kg . Dôvodom je známy dilučný efekt – fixná záchovná potreba kravy sa rozloží na podstatne väčší objem predaného mlieka.

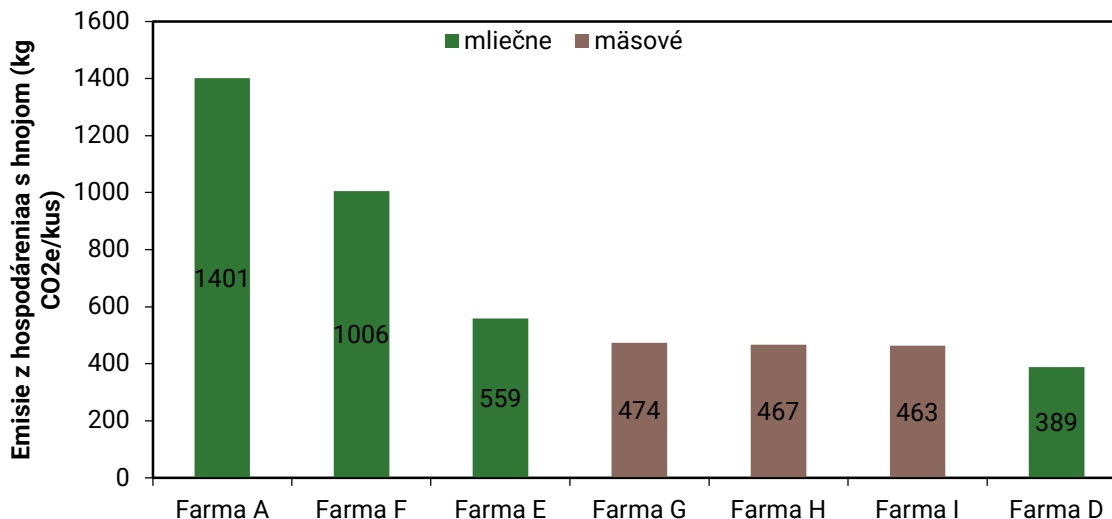
8.2 Hospodárenie s hnojom

Systém ustajnenia a skladovania hnoja dokáže uhlíkovú stopu modulovať s vysokou variabilitou. **Najvyššie emisie (Farma A):** Skladovanie tuhého hnoja z veľkého, vysokoprodukčného stáda generuje pri Farme A masívne emisie až 1 401 kg CO_2e na kus, čím sa stáva najväčším znečisťovateľom v tejto kategórii (kvôli vysokej tvorbe oxidu dusného - N_2O). **Klimaticky najpriaznivejší systém (Farmy E a F):** Tieto farmy využívajú dennú aplikáciu hnoja na pole, čím sa vyhnú dlhodobému anaeróbnemu (bezokyslíkatému) skladovaniu a emisie z hnoja u nich padajú na minimum. Rozdiel v systémoch presne kvantifikuje Metánový konverzný faktor (MCF). Kým



hnojovica v jame má MCF na úrovni 17 %, pevný hnoj len okolo 2 % a denná aplikácia dokonca len 0,1 %. To znamená, že prechodom z hnojovcových jám na dennú aplikáciu dokáže farma utlmiť tvorbu metánu z výkalov až 170-násobne. Technológia hnoja je preto druhou najsilnejšou pákou dekarbonizácie.

Hospodárenie s hnojom: emisie na kus podľa systému



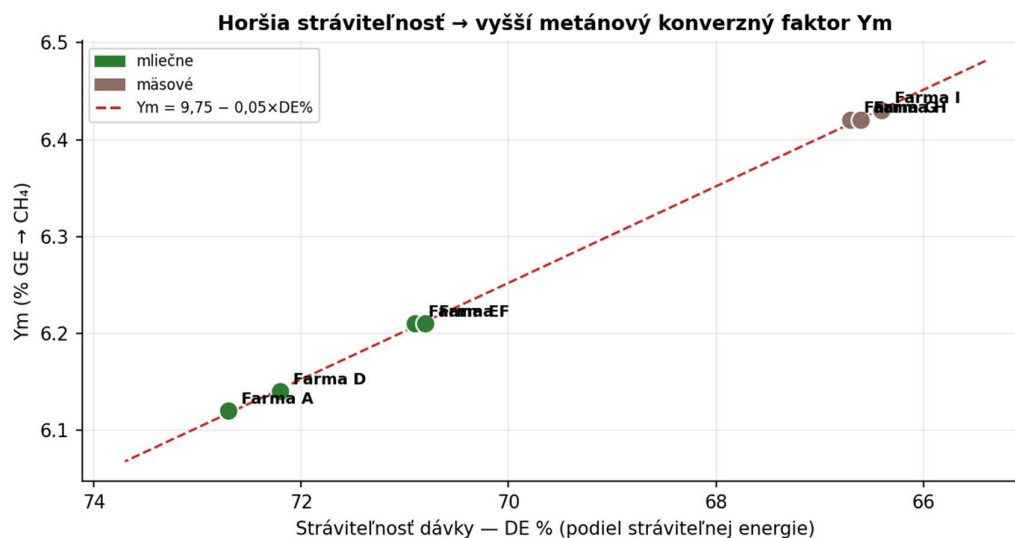
Graf 7 Emisie z hnoja na kus prežúvavca podľa systému nakladania.

8.3 Stráviteľnosť dávky a jej dvojaký prejav

Najnižšiu stráviteľnosť v celom výbere majú mäsové farmy (DE sa pohybuje len na úrovni 66 %, najhoršie Farma I so 66,4 %), keďže ich zvieratá konzumujú extenzívne a menej kvalitné objemové krmivo (seno, slama, staršie pastviny). Dojnice na mliečnych farmách poberajú špičkové siláže s DE 70,8 – 72,7 %.

Znížená kvalita krmív zhoršuje uhlíkovú stopu farmy hneď dvakrát. **V bachore (Vyššie Ym):** Nižšia stráviteľnosť (DE %) automaticky zvyšuje faktor Ym ($Ym = 9,75 - 0,05 \times DE \%$). Kým dojnice premieňajú na metán 6,1 % až 6,2 % prijatej energie, mäsové farmy až vyše 6,4 %. Z rovnakej hrsti krmiva tak vznikne viac plynu. **Následne produkcia hnoja.** Zviera horšie krmivo nedokáže plnohodnotne stráviť, preto väčšie množstvo prchavých organických látok a dusíka prejde traktom priamo do trusu. Tento nevyužitý "odpad" sa následne stáva výborným palivom pre extrémne vysokú tvorbu metánu (CH₄) a oxidu dusného (N₂O) na hnojovisku.





Graf 8 Vzťah stráviteľnosti (DE %) a metánového konverzného faktora Ym – nižšia stráviteľnosť znamená vyššiu tvorbu metánu na jednotku energie.

Metodické upozornenie k mliečnym farmám: V rámci skupiny našich mliečnych fariem sú rozdiely v stráviteľnosti krmív absolútne minimálne (všetky sú vo výbornom úzkom pásme 70,8 – 72,7 %). Z tohto dôvodu určuje rozdiely v ich uhlíkovej intenzite takmer výhradne odlišná dojivosť, nie krmivo. Skutočný klimatický "signál" stráviteľnosti vidíme až v tvrdom porovnaní elitných mliečnych fariem s extenzívnymi mäsovými chovmi.



9 Overenie výpočtu oproti referenčným hodnotám

Pre garantovanie metodologickej správnosti reportu sme podrobili jednotlivé vstupné a výstupné zložky nástroja (týkajúce sa enterickej fermentácie) krížovej kontrole s globálne uznávanými štandardmi IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) a odbornou literatúrou.

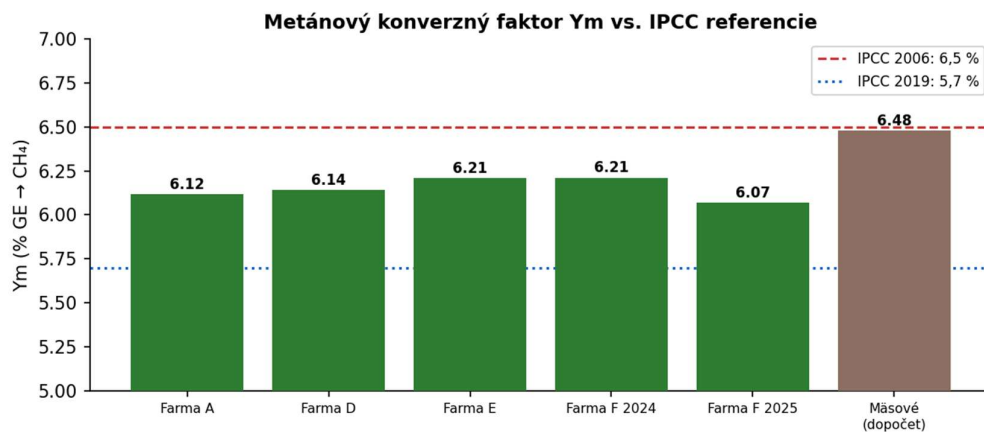
Tab. 8 Porovnanie zložiek výpočtu s referenčnými hodnotami.

Veličina	Nástroj	Referencia	Vyhodnotenie
Ym – dojnice (%)	6,07 – 6,21	IPCC 2006: 6,5 IPCC 2019: 5,7	medzi verziami IPCC; závislé od DE % – v poriadku
Ym – mäsový dobytok (%)	6,42 – 6,63	objemová dávka ~6,5 – 7,0	vyššie ako dojnice (menej stráviteľná dávka) – správne
CH ₄ / dojnicu (kg/rok)	131 – 161	vysoko-prod. >120; nízko-prod. 34 – 73	horná časť pásma – zodpovedá vysokému príjmu
CH ₄ / kg mlieka (g)	9,9 – 19,4	namerané 15 – 42 (Ø 25,6)	na spodku/pod pásmom → vysoká dojivosť
CH ₄ / ks ostatný dobytok (kg)	60 – 90	IPCC ~57 (ľahšie zvieratá)	vyššie – zvieratá 600 kg, Tier 2 to zachytáva

Z detailného porovnania vyplynuli nasledovné validačné zistenia:

- **Hodnota Ym pre dojnice (6,07 – 6,21 %):** Výsledky dokonale oscilujú medzi staršou metódou IPCC z roku 2006 (ktorá plošne udávala Ym = 6,5 %) a najnovšou aktualizáciou IPCC z roku 2019 (ktorá pre vysokoúžitkové kravy s vynikajúcim krmivom znižuje hodnotu na 5,7 %). Nástroj správne nereaguje plošne, ale flexibilne vypočítava Ym na základe kvality krmiva (DE %), čím potvrdzuje svoju analytickú presnosť.
- **Hodnota Ym pre mäsový dobytok (6,42 – 6,63 %):** Nástroj exaktne zachytil horšiu stráviteľnosť objemových krmív u extenzívne chovaného mäsového dobytka. Hodnoty nad 6,4 % presne zodpovedajú typickým tabuľkovým referenciám pre kŕmenie na pastvinách a sú logicky vyššie ako pri dojniciach, čo potvrdzuje fyzikálnu správnosť výpočtu.
- **Absolútna ročná produkcia CH₄ na dojnicu (131 – 161 kg):** Umiestnenie na vrchnej hranici literárnych pásiem (>120 kg) je absolútne korektné. Tieto dojnice dosahujú vysokú úžitkovosť (až nad 30 kg mlieka denne), čo vyžaduje masívny príjem hrubej energie (GE). Metodika Tier 2 tento vysoký príjem správne pretavila do vyššej absolútnej ročnej produkcie plynu.
- **Metánová intenzita na liter mlieka (9,9 – 19,4 g):** Hodnoty fariem z tohto reportu "podliezajú" štandardné historické merania (priemer 25,6 g). Je to priamy a želaný dôsledok spomínaného dilučného efektu – špičkovej dojivosti, ktorá rozpúšťa emisie.
- **Ostatný dobytok a odchov (60 – 90 kg CH₄/ks):** Hoci staršie paušálne tabuľky (Tier 1) udávajú priemer len okolo 57 kg, modelované slovenské chovy vykazujú vyššie hodnoty. Je to tým, že nástroj na úrovni Tier 2 exaktne počíta s reálnou živou váhou zvierat (ktoré často presahujú 600 kg) namiesto podhodnotených celoeurópskych priemerov pre mladé zvieratá.





Graf 9 Ym z nástroja vs. IPCC 2006 (6,5 %) a IPCC 2019 (5,7 %).

Všetky vypočítané hodnoty generované nástrojom sú nielen **vecne správne**, ale s vysokou presnosťou zapadajú do medzinárodne uznávaných referenčných rozpätí IPCC a odbornej literatúry. Akékoľvek zdanlivé odchýlky (ako napríklad vyššia absolútna tvorba CH₄ na kus alebo podliezanie uhlíkovej intenzity) sú obhájitelné nadštandardnou produkčnou silou zvierat, ich fyzickou hmotnosťou a detailnejším alokačným prístupom v modeli (Tier 2).



10 Kľúčové metodické zistenia a kvalita dát

Počas spracovania a analýzy uhlíkových stôp jednotlivých podnikov sme identifikovali niekoľko kritických metodických aj užívateľských faktorov. Ich správne pochopenie a adresovanie je kľúčom k ďalšiemu zvyšovaniu presnosti dekarbonizačného reportingu.

10.1 Plnohodnotný prístup Tier 2 a potreba laboratórnych rozborov

Nástroj v základe využíva pokročilú a plnohodnotnú metodiku IPCC Tier 2, v ktorej kvalita krmnej dávky presne vstupuje do výpočtu cez príjem energie (GE) a faktor stráviteľnosti ($Y_m = 9,75 - 0,05 \times DE \%$). Súčasným obmedzením je však hrubá dátová granularita na vstupe – nástroj momentálne čerpá stráviteľnosť (DE %) primárne zo štandardnej tabuľkovej databázy krmív. **Odporúčanie:** Keďže (ako sme preukázali v predošlých kapitolách) má parameter DE % dvojaký vplyv na emisie (trestá farmu v bachore aj na hnojovisku), obohatenie vstupov o exaktné dáta z reálnych laboratórnych rozborov krmív z konkrétnych fariem by radikálne zvýšilo presnosť aj kredibilitu celkovej uhlíkovej stopy podniku.

10.2 Metodické vylepšenie pri mäsovom dobytku

Pri pôvodnom generovaní reportov z nástroja sme identifikovali systematický nedostatok pri chovoch bez trhovej produkcie mlieka (mäsový dobytok). Užívateľské rozhranie pri týchto chovoch nevyžadovalo zadanie "hmotnosti dospeljej samice", čo spôsobilo, že model nedokázal vypočítať rastovú energiu, čím sa výpočet enterickej fermentácie úplne vynuloval a report tak chovy radikálne podhodnocoval (emisie z hnoja sa však počítali nezávisle a správne). V tomto finálnom hodnotení bola pre mäsové farmy enterická fermentácia metodicky dopočítaná, čím sa ich stopa konečne zrealizovala na európsky štandard. Riešením je vyžadovať živú hmotnosť dospelých samíc ako povinný údaj pri zadávaní hodnôt do kalkulačky.

10.3 Čistenie dát a eliminácia fatálnych užívateľských chýb

Analýza zdrojových dát (Excel) odhalila extrémne vysokú chybovosť pri zadávaní parametrov zo strany samotných užívateľov (fariem), čo si vyžiadalo masívne čistenie dát a filtrovanie duplicít. Do tohto finálneho reportu boli použité výhradne verzie dát očistené od zjavných anomálií, z ktorých vyberáme dva najkritickejšie prípady:

- **Extrémny preklep v počte zvierat:** Pri jednej z fariem bol namiesto reálneho stavu 456 kusov dobytka zadán chybný vstup 175 456 kusov. To vygenerovalo nezmyselnú uhlíkovú stopu vo výške 419 924 ton CO₂e, čo by z farmy urobilo jedného z najväčších znečisťovateľov v štáte.
- **Anomália v manažmente hnoja (Farma C):** Zmiešaná Farma C pôvodne vykazovala masívny a neobhájiteľný medzoročný skok emisií z hnoja (z 1 338 t na 8 775 t CO₂e). K chybe došlo na strane užívateľa pri výbere štruktúry manažmentu hnoja (napríklad omylom zadán plne anaeróbny systém pre všetky zvieratá). V tomto reporte je extrémna hodnota zrevizovaná a nahradená historicky konzistentnou hodnotou 1 338 t CO₂e. Celková stopa Farmy C sa týmto metodickým očistením zrealizovala z chybných 9 437 ton na objektívnych 2 652 ton CO₂e.



11 Mitigačné páky a odporúčania

Mliečne farmy: zvyšovať dojivosť na kravu (najsilnejšia páka intenzity), zlepšovať stráviteľnosť dávky a optimalizovať pomer objemové : jadrové (znižuje Y_m), skrátiť vek pri prvom otelení (menej enterickej fermentácie v odchove), efektívny manažment hnoja.

Mäsové farmy: doplniť **referenčnú hmotnosť dospeljej samice ako povinný údaj** – tým sa dopočíta enterická fermentácia aj chýbajúca CH_4 -zložka hnoja (N_2O z hnoja je už v reporte); až potom je stopa úplná a porovnateľná.

Nástroj a proces: validácie úplnosti (napr. „zvieratá bez dávky“, „mäsový dobytok bez hmotnosti dospeljej samice“, horné limity stavov), jednoznačné označenie finálnej verzie reportu, možnosť vlastných rozborov krmív pre presnejšie DE %/ Y_m .

Pre demonštráciu sily jednotlivých mitigačných pák sme namodelovali tri na seba nadväzujúce scenáre. Tieto modely matematicky potvrdzujú, že základným kameňom dekarbonizácie nie je len slepé hľadanie vyššej dojivosti, ale v prvom rade zvyšovanie kvality objemových krmív.

1. Zvýšenie stráviteľnosti krmnej dávky (Farma E)

Zvyšovanie stráviteľnosti krmív (DE %) predstavuje najefektívnejší spôsob znižovania emisií, pretože rieši samotnú fyziologickú príčinu vzniku metánu a znižuje objem potravy, ktorý krava potrebuje zožrať. Tento scenár sme namodelovali pre **Farmu E**, ktorá má vynikajúcu dojivosť (32,7 kg/deň), ale jej krmná dávka (DE = 70,9 %) má priestor priblížiť sa k špičkovým chovom (kde DE presahuje 74 %).

Čo sa stane, ak farma lepším manažmentom zberu siláže zvýši stráviteľnosť o +4 % (na DE = 74,9 %) pri zachovaní rovnakej dojivosti?

- **Klesne konverzný faktor (Y_m):** Vďaka lepšej stráviteľnosti sa zníži podiel energie, ktorý sa v bachore stratí vo forme metánu (Y_m klesne z 6,21 % na 6,00 %).
- **Klesne príjem hrubej energie (GE):** Krmivo je výživnejšie, preto krave na rovnaký výkon stačí zožrať menej hmoty. Denný príjem hrubej energie klesne z 395 MJ/deň na 374 MJ/deň.
- **VÝSLEDNÝ EFEKT:** Tieto dva faktory spôsobia, že produkcia metánu klesne zo 161 kg na 147 kg CH_4 na kravu. Iba zvýšením kvality objemových krmív (bez nadojenia čo i len litra mlieka navyše) farma **zniži stopu o viac ako 8,5 %** a zároveň masívne ušetrí na objeme spotrebovaného krmiva.

2. Zvýšenie dojivosti (Farma A)

Keď už má farma zvládnutú kvalitu krmív, prichádza na rad maximalizácia produkcie. Tento scenár sme namodelovali pre **Farmu A**, ktorá má momentálne nižšiu dojivosť (22,7 kg/deň) a najvyšší priestor na zlepšenie (19,3 g CH_4 /kg mlieka).

Čo sa stane, ak farma vďaka lepšej výžive zvýši dojivosť o 10 % (na 24,97 kg/deň) pri zachovaní veľkosti stáda?

- **Záchovná potreba sa rozpustí:** Krava minie na údržbu vlastného tela ("záchovnú dávku") rovnaké množstvo energie, ale tento fixný náklad sa rozpočíta do väčšieho objemu predaného mlieka (ročný nárast o 10 % na 1,63 mil. kg).
- **Absolútne emisie mierne stúpnu:** Keďže krava tvorí viac mlieka, musí zjesť o niečo viac potravy. Absolútna enterická fermentácia (1 104 t CO_2e) stúpne okrajovo (o 2 - 3 %).



- **VÝSLEDNÝ EFEKT:** Napriek miernemu nárastu absolútnych emisií klesne uhlíková intenzita na liter mlieka z 19,3 g na **18,4 g CH₄ / kg** (zlepšenie o takmer 5 %).

3. Genetická selekcia na menší telesný rámec

Ak má farma vyriešené krmivá aj dojivosť, najvyššou formou optimalizácie je genetická selekcia na tzv. efektívitu konverzie krmiva (Feed Efficiency). Moderné dojnice sa historicky šľachtili na masívny telesný rámec (650 – 700 kg). Veľká časť zjedenej energie tak neslúži na mlieko, ale na "vykurovanie" tohto obrovského tela (záchovná energia).

Čo sa stane, ak farma cielenou plemenitbou zníži priemernú hmotnosť svojich dojníc o 10 % (zo 650 kg na 585 kg), ale tieto menšie zvieratá si zachovajú rovnakú dojivosť?

- **Klesne záchovná potreba:** Pri ľahších zvieratách klesne metabolická veľkosť tela o takmer 8 %, čím sa radikálne zníži fixná energetická réžia organizmu.
- **Menej potrebného krmiva:** Menšia krava minie na seba menej energie, takže jej stačí zožrať o takmer 3 % menej hrubej energie (GE) na produkciu rovnakého množstva mlieka.
- **VÝSLEDNÝ EFEKT:** Množstvo vyprodukovaného metánu klesne priamo úmerne k nižšiemu príjmu potravy (o **cca 3 %**). Keďže nadojený objem mlieka sa nezmenil, uhlíková intenzita klesne o rovnaké 3 %. Ako bonus farma pri stáde 500 dojníc ročne ušetrí stovky ton krmiva a vyprodukuje úmerne menej hnojovice.

4. Synergický efekt všetkých faktorov

Ak farma začne systematicky implementovať **všetky odporúčania súčasne** - pre tento modelový príklad vezmeme do úvahy farmu so slabšími východiskovými parametrami (hmotnosť dojníc 650 kg, dojivosť 22,7 kg/deň a nižšia kvalita krmív), ktorej súčasná uhlíková intenzita je **19,3 g CH₄ / kg mlieka**.

Farma zavedie trojitú stratégiu:

1. Zvýši stráviteľnosť objemových krmív o +4 %.
2. Zvýši produkciu mlieka o +10 %.
3. Postupne vyselektuje stádo na menší telesný rámec s hmotnosťou nižšou o 10 %.

Výsledkom je efektívny chov. Menšia krava má zníženú záchovnú potrebu, takže sama o sebe potrebuje menej energie. Keďže farma začne vyrábať vysoko stráviteľné krmivo, krava z neho získa obrovské množstvo čistej energie bez toho, aby vyprodukovala zbytočný metán. Túto extra energiu okamžite pretaví do vyššej produkcie mlieka.

Tieto plynulé zmeny sa navzájom umocňujú. Zvýšená stráviteľnosť zníži stopu o cca 8,5 %, výpočet na základe produkcie mlieka stlačí uhlíkovú stopu o ďalších 8 % a zmenšenie kravy pridá ďalšie 3 % k dobru. Keď sa tieto efekty spoja, celková uhlíková intenzita strmhľav klesne.

VÝSLEDNÝ EFEKT: Farma zníži svoju uhlíkovú intenzitu z pôvodných 19,3 g na **15,7 g CH₄ / kg mlieka**. To predstavuje **kumulatívny pokles emisií o takmer 19 %**.

Tento synergický scenár dokazuje, že dekarbonizácia v poľnohospodárstve nie je o jednom magickom a drahom technologickom riešení, ale o špičkovom a detailnom manažmente celého chovu. Farma, ktorá tento postup zavedie, dosiahne úroveň tých najlepších európskych chovov (tzv. "Dobrá prax") a popritom zásadne zvýši svoju ekonomickú rentabilitu vďaka masívnej úspore krmív.



12 Závery

Uhlíková stopa hodnotených fariem je v priemere zo 78 % tvorená priamo živočíšnou výrobou (enterickou fermentáciou a produkciou hnoja). Analýza preukázala jednoduché fyzikálne princípy: kým absolútnu veľkosť emisií určuje primárne rozsah stáda a príjem energie (GE), uhlíkovú efektívnosť na liter mlieka diktuje dojivosť a špičková kvalita krmív.

V celoeurópskom kontexte dosahujú najlepšie slovenské farmy vo výbere čísla, ktoré ich radia priamo k svetovej environmentálnej špičke. Mnohé ďalšie (najmä farmy s nižšou dojivosťou) majú, naopak, pred sebou výrazný priestor na optimalizáciu. To je plne v súlade so štatistickým postavením Slovenska ako krajiny s historicky najväčším mitigačným potenciálom pre zníženie poľnohospodárskych emisií v EÚ.

Pri mäsových chovoch sa po audítorskom dopočte enterickej fermentácie potvrdilo, že ich produkcia plne zapadá do európskeho štandardného pásma. Úspešná cesta k dekarbonizácii nespočíva v slepom investovaní do okrajových technológií, ale výlučne v jadre samotnej bachorovej fyziológie: v raste produktivity, efektívnosti krmív a ukážkovom manažmente zvierat.

Zdroje referenčných hodnôt

- IPCC 2019 Refinement, kap. 10 – rovnice Tier 2, Ym, emisné faktory; IPCC 2006 (Ym 6,5 %, DE 70 %).
- FAO (2010) a systematický prehľad J. Dairy Sci. (2022, 21 krajín) – uhlíková stopa mlieka.
- CE Delft – sustainable dairy sector (0,8 – 1,4 kg CO₂e/kg mlieka); Miran & Güngör (2025) – env. efektívnosť mliečnych fariem EÚ (postavenie SR).
- Faktory uhlíkovej stopy mlieka, záp. Európa (71 fariem, 2023); variabilita enterického CH₄ (UK, 18 fariem, 15 – 42 g/kg).
- Uhlíková stopa hovädzieho mäsa: EÚ ~23,5 kg CO₂e/kg jat. hmot.; CAPRI 14 – 40 kg/kg; podiel enterickej ferm. 44 – 62 %.





autor:

Ing. Ondrej Hanušovský, PhD.

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

2026



www.decarb.uniag.sk