



PLÁN [OBNOVY]



Dodávateľské reťazce mlieko - mliečne výrobky

štúdiá s ohľadom na uhlíkovú stopu



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

1	Úvod.....	3
2	Ciele, rozsah a výskumné otázky.....	4
3	Metodologické východiská a systémové hranice	5
4	Vertikála mlieko – od farmy po spotrebiteľa	6
4.1	Farma.....	6
4.2	Zvoz mlieka	6
4.3	Mliekareň.....	6
4.4	Distribúcia a obchod.....	6
4.5	Spotrebiteľ.....	6
5	Legislatívny a normatívny rámec.....	8
6	Ekonomika tvorby hodnoty a cenová transmisia	9
7	Profil rizík a odolnosť reťazca.....	10
8	Uhlíková stopa: metodika, profily a dominantné zdroje.....	11
9	Prípadová štúdia: scenáre znižovania emisií	12
10	Meranie, dohľadateľnosť a reporting.....	13
11	Scenáre dekarbonizácie a citlivostná analýza.....	14
12	Odporúčania pre prax.....	15
13	Implementačné bariéry a riadenie zmeny	16
14	Záver.....	17



1 Úvod

Mliečna vertikála je jednou z najkomplexnejších a zároveň najcitlivejších častí potravinového systému, pretože jej základom je biologický proces premeny krmív a vody na mlieko, ktorý sa odohráva v organizme dojnice a je podmienený genetickým potenciálom zvieráťa, welfare, zdravotným stavom i podmienkami ustajnenia. Na rozdiel od obilnín, ktoré možno skladovať celé mesiace, má surové mlieko bez okamžitého ochladenia životnosť len niekoľko hodín, čo znamená, že celý reťazec je vystavaný na princípe continuity a nepretržitej hygieny. Motivácia skúmať uhlíkovú stopu mliečneho reťazca vychádza z dvoch dôvodov: po prvé, ide o významný zdroj emisií skleníkových plynov, keďže priemerná uhlíková stopa litra mlieka v EÚ sa pohybuje približne od 1,2 do 1,6 kg CO₂e, pričom najväčší podiel predstavuje metán z trávenia kráv; po druhé, mlieko a mliečne výrobky sú významnou zložkou výživy, pričom spotreba v Európe sa podľa štatistík pohybuje v intervale 120 až 200 kg mliečneho ekvivalentu na obyvateľa ročne (supply), a keďže aj drobné zníženie emisií na liter môže mať pri takto vysokej spotrebe obrovský kumulatívny efekt, ide o oblastný prieskum s významnými implikáciami. Sektor má okrem toho zásadný ekonomický a sociálny význam: na Slovensku tvoria mliečne hospodárstva 10 – 15 % hrubej poľnohospodárskej produkcie, zamestnávajú tisíce ľudí a podporujú celé odvetvie spracovateľského priemyslu – od mliekarní cez logistiku až po obalový sektor – avšak súčasne čelia tlaku klimatických zmien, sprísňujúcich sa regulácií EÚ v oblasti welfare a životného prostredia a rastúcim spotrebiteľským očakávaniam ohľadom kvality a udržateľnosti.



2 Ciele, rozsah a výskumné otázky

Hlavným cieľom štúdie je podať ucelený a multidisciplinárny pohľad na mliečny reťazec s dôrazom na jeho uhlíkovú stopu a preskúmať možnosti znižovania emisií pri zachovaní ekonomickej životaschopnosti fariem i mliekarní. V tejto súvislosti sme si položili štyri hlavné výskumné otázky:

1. Ktoré fázy reťazca sú z hľadiska emisií najkritickejšie?
Očakáva sa, že enterická fermentácia tvorí približne 40 – 50 % uhlíkovej stopy, hospodárenie s hnojom 20 – 30 %, výroba a doprava krmív 15 – 20 % a spracovanie v mliekarni okolo 10 %, pričom tieto podiely závisia od lokálnych podmienok, metodiky LCA a použitej sady emisných faktorov.
2. Aké sú hlavné nákladové položky a ako sa prekrývajú s emisnými hot-spotmi?
Krmivo predstavuje 40 – 50 % nákladov farmy a zároveň je najväčším zdrojom emisií, zatiaľ čo energia, práca a welfare tvoria menšie, ale nemenej významné položky.
3. Aké technológie a organizačné postupy majú najväčší potenciál znížiť uhlíkovú stopu?
Sústredíme sa na krmné aditíva (napr. 3-NOP schválené v EÚ), anaeróbnu digestciu, elektrifikáciu mliekarní a digitalizáciu chladiaceho reťazca.
4. Ako environmentálne opatrenia vplyvajú na ekonomiku?
V niektorých prípadoch môžu viesť aj k úsporám, napríklad pri znižovaní strát cez lepšie chladenie alebo pri výrobe vlastnej energie prostredníctvom digestora.
Rozsah práce pokrýva celý reťazec od chovu dobytka cez spracovanie a distribúciu až po správanie spotrebiteľa, pričom uvažujeme aj vedľajšie toky – srvátku, odpadové vody, obaly a potravinový odpad.



3 Metodologické východiská a systémové hranice

Metodika vychádza z analýzy životného cyklu (LCA), ktorá sleduje všetky materiálové a energetické toky od poľnohospodárskej výroby až po spotrebiteľa. Definovali sme štyri úrovne systémových hraníc:

1. **Brána farmy** – emisie z enterickej fermentácie, emisie z hnoja, výroba a aplikácia hnojív, pestovanie krmív a spotreba palív pri mechanizácii.
2. **Brána mliekarne** – energia na pasterizáciu (72 – 75 °C), homogenizáciu, fermentáciu, syrenie a balenie. V literatúre sa pri moderných mliekarnách uvádzajú hodnoty 0,04 – 0,10 kWh/l elektriny (najmä pre pohony, chladenie a čerpadlá) a ďalších 0,10 – 0,20 kWh/l vo forme tepla alebo pary. Celková energetická náročnosť sa tak pohybuje približne v intervale 0,15 – 0,30 kWh/l, pričom vyššie hodnoty sú typické pre menšie prevádzky alebo bez rekuperácie. Tento rozdiel je dôležité uvádzať oddelene, pretože elektrina spadá do Scope 2 (s rôznymi emisnými faktormi podľa národného mixu), zatiaľ čo teplo z plynu alebo biomasy sa zohľadňuje v Scope 1.
3. **Brána maloobchodu** – distribúcia v chladiarenských vozidlách, skladovanie v chladiacich skladoch a straty pri narušení chladiaceho reťazca.
4. **Od kolísky po hrob** – spotrebiteľské správanie, ktoré zahŕňa chladenie v domácnostiach (100 – 300 kWh/rok na chladničku) a potravinový odpad, pričom pre mlieko sa v EÚ odhaduje, že sa vyhodí približne 7 – 10 % objemu, hoci celkový potravinový odpad domácností môže dosahovať až 20 %.

Emisie sú členené podľa GHG Protocol: Scope 1 (metán z kráv, N₂O z hnoja, energia na farme), Scope 2 (nakúpená elektrina a teplo v mliekarni) a Scope 3 (výroba krmív, doprava, obaly, spotrebiteľské straty). Pre výpočty používame emisné faktory podľa IPCC 2019 Refinement, kde napríklad jedna dojnica v európskych podmienkach vypustí ročne približne 100 – 120 kg CH₄, čo predstavuje 2,5 – 3,0 t CO₂e. Výsledky sú prezentované s ohľadom na intervaly spoľahlivosti a v rámci citlivostnej analýzy, pričom pre porovnateľnosť uvádzame aj prepojenie na metodiku PEFCR pre mliečne produkty (aktualizovanú v roku 2025). Na elektrinu používame rozsah 0,15–0,30 kg CO₂e/kWh (EU27/SR podľa roku), výsledky uvádzame ako intervaly.



4 Vertikála mlieko – od farmy po spotrebiteľa

4.1 Farma

Na Slovensku je aktuálne približne 114 tisíc dojníc (Eurostat 2024), pričom priemerná dojivosť sa pohybuje okolo 7 500 litrov ročne, čo zodpovedá európskemu priemeru. Každá dojnica však vyprodukuje aj značné množstvo emisií:

- **Enterická fermentácia:** 100 – 120 kg CH₄/rok = 2,5 – 3,0 t CO₂e/rok.
- **Hospodárenie s hnojom:** pri nesprávnom skladovaní unikajú CH₄ a N₂O, avšak kryté sklady alebo anaeróbna digestia dokážu znížiť tieto emisie o 30 – 50 %.
- **Krmivá:** pestovanie kukurice, sóje a ďalších zložiek tvorí 15 – 20 % uhlíkovej stopy, pričom závislosť na importe (najmä sója z Južnej Ameriky) prináša aj riziko LUC emisií a ceny.

4.2 Zvoz mlieka

Emisie z dopravy sme odhadli na základe štandardných faktorov 80 – 120 g CO₂/t·km pre chladiarenské nákladné vozidlá. Pri typickej cisterne s kapacitou 25 000 litrov (≈ 26 ton) a vzdialenosti 100 km vychádza spotreba približne 0,006 – 0,012 kg CO₂e na liter mlieka. Vyššie hodnoty (okolo 0,02 kg/l) sa objavujú pri nižšej vyťažnosti alebo pri preprave na väčšie vzdialenosti. Tento výpočet zohľadňuje aj energetickú náročnosť chladenia počas prepravy. Konverzné faktory pre g CO₂/t·km vychádzajú z metodiky DEFRA 2024.

4.3 Mliekareň

V mliekarni sa mlieko filtruje, pasterizuje a ďalej spracúva na rôzne výrobky. Pri moderných prevádzkach sa typicky dosahuje:

- Elektrina: 0,04 – 0,10 kWh/l (pohony, čerpadlá, chladenie, ventilátory),
- Teplo/para: 0,10 – 0,20 kWh/l (predovšetkým pasterizácia, CIP),
- Spolu: približne 0,15 – 0,30 kWh/l v závislosti od veľkosti a rekuperácie tepla.

Pre uhlíkovú stopu je kľúčové uvádzať elektrinu a teplo oddelene: elektrina = Scope 2 (emisie podľa národného elektro-mixu a roku), teplo z vlastného plynu/biomasy patrí do Scope 1, zatiaľ čo nakupované teplo/para = Scope 2. V citlivostnej analýze preto používame rozsah emisných faktorov elektriny (napr. 0,15 – 0,30 kg CO₂e/kWh podľa mixu a roku) a uvádzame výsledky ako intervaly, nie jediné číslo. Rekuperácia tepla a tepelné čerpadlá môžu znížiť spotrebu tepla o 20 – 40 %.

4.4 Distribúcia a obchod

Mliečne výrobky sú vysoko citlivé na chladiaci reťazec, keďže každé narušenie vedie k znehodnoteniu a následnému vyhodneniu. Návrátky v maloobchode dosahujú v praxi približne 3 – 5 %, čo predstavuje významné ekonomické aj emisné straty, avšak v širšom kontexte štatistiky potravinového odpadu ukazujú, že retail ako celok tvorí približne 8 % odpadu a väčšia časť sa presúva na domácnosti.

4.5 Spotrebiteľ

V domácnostiach sa mliečne výrobky skladujú v chladičkách so spotrebou 100 – 300 kWh/rok, pričom rozdelenie tejto energie medzi rôzne potraviny je metodicky náročné, ale v priemere môže



pridať rádovo stotiny kilogramov CO₂e na liter. Podstatnejší je však potravinový odpad: pre mlieko sa v EÚ odhaduje, že sa vyhodí približne 7 – 10 % predaného objemu (napr. v UK 7 % podľa WRAP), čo v prepočte znamená dodatočné emisie v rozmedzí 0,1 – 0,2 kg CO₂e/l, hoci ak započítame všetky mliečne výrobky a celkový potravinový odpad, môže tento podiel narásť až k 20 %.



5 Legislatívny a normatívny rámec

Mliečny reťazec patrí medzi najprísnejšie regulované sektory potravinárstva, pretože mlieko je vysoko citlivé na mikrobiálnu kontamináciu a má zásadný význam pre verejné zdravie. Základným právnym rámcom je nariadenie (ES) č. 178/2002 o všeobecných zásadách potravinového práva a nariadenie (ES) č. 852/2004 o hygiene potravín, pričom pre potraviny živočíšneho pôvodu platí špecifické nariadenie (ES) č. 853/2004, ktoré detailne stanovuje pravidlá pre získavanie surového mlieka, jeho chladenie a transport. Konkrétne povinnosti zahŕňajú pravidelné testovanie stád na tuberkulózu, brucelózu a leukózu, hygienické postupy pri dojení, okamžité ochladenie surového mlieka na ≤ 6 °C a prepravu v cisternách z materiálov vhodných pre styk s potravinami. Prerušenie chladiaceho reťazca je pritom považované za závažné porušenie legislatívy.

Konkrétne povinnosti zahŕňajú:

- **Zdravotný status stáda:** dojnice musia byť pravidelne testované na tuberkulózu, brucelózu a leukózu.
- **Hygiena dojenia:** povinnosť čistiť vemená pred dojením, používanie hygienických pomôcok a pravidelná sanitácia zariadení.
- **Teplota surového mlieka:** mlieko musí byť okamžite ochladené na ≤ 6 °C.
- **Transport:** cisterny musia byť vyrobené z materiálov vhodných pre potraviny a vybavené chladiacim systémom.
- **Chladiaci reťazec:** prerušenie chladiaceho reťazca je považované za závažné porušenie.

Okrem hygienických predpisov je významná aj environmentálna legislatíva: EÚ zaviedla povinnosť merania a reportovania emisií skleníkových plynov podľa rámca CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) a štandardov ESRS (European Sustainability Reporting Standards). Mliekarne a väčšie farmy budú musieť od roku 2025 poskytovať verifikovateľné údaje o uhlíkovej stope, pričom relevantný je najmä štandard ESRS E1 – Climate Change, ktorý požaduje ciele dekarbonizácie, stratégie mitigácie a plán tranzície. Z hľadiska metodiky je odporúčané používať rámec Product Environmental Footprint (PEF) a jeho kategóriové pravidlá pre mliečne výrobky (PEFCR Dairy Products, aktualizácia 2025), ktoré stanovujú jednotné funkčné jednotky, alokácie (napr. srvátka, hnoj) a end-of-life modely.



6 Ekonomika tvorby hodnoty a cenová transmisia

Ekonomika mliečného reťazca je komplexná a citlivá na mnohé vonkajšie faktory.

Na úrovni farmy

- **Krmivá:** predstavujú 40 – 50 % celkových nákladov, pričom ceny kolíšu v závislosti od globálnych trhov (najmä sója z Južnej Ameriky) a od domácej produkcie (silážna kukurica). V období rokov 2021 – 2022 globálna energetická a komoditná kríza zvýšila cenu sóje nad 400 €/t, čo spôsobilo výrazné zhoršenie marží.
- **Práca a welfare:** zabezpečenie personálu a dodržiavanie štandardov welfare zvyšuje náklady, ale súčasne zlepšuje zdravie a dojivosť, čo má pozitívny ekonomický efekt.
- **Energia:** pohon dojární, osvetlenie, ventilácia a čerpadlá tvoria 10 – 15 % nákladov farmy, pričom rast cien elektriny v rokoch 2022 – 2023 významne zvýšil ich podiel.

V mliekarni

- **Energia a teplo:** spotreba sa pohybuje na úrovni 0,2 – 0,3 kWh/l, čo pri cene 0,20 €/kWh znamená 0,04 – 0,06 €/l, pričom pri náraste ceny nad 0,25 €/kWh sa elektrifikácia s rekuperáciou stáva návratná do 6 rokov.
- **Obaly:** plastové a kartónové obaly tvoria 10 – 15 % nákladov, pričom rast cien papiera a plastových granúl v rokoch 2022 – 2023 zvýšil ich význam.
- **Logistika:** distribúcia v chladiarenských vozidlách stojí približne 5 – 8 % ceny výrobku a je citlivá na ceny pohonných hmôt.

Cenová transmisia

Cenový reťazec je charakteristický oneskorením: zvýšenie cien energií alebo krmív sa k spotrebiteľovi prenáša až po 3 – 6 mesiacoch. Maloobchodné reťazce súčasne vyvíjajú tlak na nízke ceny a farmári často upozorňujú, že výkupná cena mlieka nepokrýva výrobné náklady. V čase energetickej krízy na Slovensku (2021 – 2022) stúpli náklady na výrobu litra mlieka z priemeru 0,32 € na 0,42 €, zatiaľ čo výkupná cena sa pohybovala len okolo 0,38 – 0,40 €, čo spôsobilo negatívne marže a tlak na štátne dotácie.



7 Profil rizík a odolnosť reťazca

Mliečny reťazec čelí viacerým typom rizík:

1. **Biologické riziká** – ochorenia zvierat ako mastitída môžu znížiť dojivosť až o 30 %, zatiaľ čo epidémie (napr. BSE v minulosti) viedli k masovým utrateniam stád.
2. **Klimatické riziká** – horúčavy nad 30 °C spôsobujú pokles dojivosti o 10 – 20 %, suchá obmedzuje dostupnosť krmiva a riziká sa zvyšujú s rastúcou frekvenciou extrémnych javov, ktoré zaznamenáva EEA.
3. **Prevádzkové riziká** – výpadok elektriny v dojárni alebo chladiarni môže viesť k znehodnoteniu tisícov litrov mlieka; záložné zdroje energie sú preto čoraz častejším investičným riešením.
4. **Dodávateľské riziká** – závislosť od dovozu sóje ako bielkovinového krmiva znamená vystavenie geopolitickým a logistickým šokom; alternatívou sú lucerna, hrach, repkový šrot alebo ďatelinoviny, ktoré však majú odlišný nutričný profil a ovplyvňujú dojivosť.
5. **Regulačné riziká** – sprísňovanie emisných noriem (metán, amoniak) môže zvýšiť kapitálové požiadavky, najmä na kryté sklady hnoja či anaeróbne digestory.

Odolnosť reťazca možno zvýšiť diverzifikáciou krmív, využívaním obnoviteľných zdrojov na farme (bioplynové stanice, solárne panely), záložnými generátormi, digitalizáciou monitoringu a dlhodobými kontraktmi medzi farmármi a mliekarňami, ktoré zdieľajú riziká i úspory.



8 Uhlíková stopa: metodika, profily a dominantné zdroje

Priemerná uhlíková stopa litra mlieka v Európe sa pohybuje v intervale 1,2 – 1,6 kg CO₂e/l (resp. kg FPCM), pričom výsledok závisí od systému chovu, metodiky alokácie a použitej GWP sady (AR5 alebo AR6). Rozdelenie podľa hlavných zdrojov emisií ukazuje:

- **Enterická fermentácia (40 – 50 %)** – priemerná krava produkuje 100 – 120 kg CH₄ ročne, čo je kľúčový zdroj emisií.
- **Hospodárenie s hnojom (20 – 30 %)** – pri nesprávnom skladovaní vznikajú emisie CH₄ a N₂O; kryté sklady alebo anaeróbna digestia dokážu tieto emisie znížiť o 30 – 50 %.
- **Výroba a doprava krmív (15 – 20 %)** – stopa je silne ovplyvnená podielom importovaných komponentov (najmä sóje) a prípadnými LUC emisiami.
- **Spracovanie v mliekarni a chladiaci reťazec (≈10 %)** – energia na pasterizáciu, chladenie a balenie tvorí relatívne menší podiel, avšak dá sa efektívne znižovať cez elektrifikáciu a rekuperáciu.

Spotrebiteľská fáza môže stopu zvýšiť až o 15 – 20 %, ak započítame chladenie v domácnostiach a potravinový odpad, ktorý podľa WRAP a EÚ štatistík dosahuje pre mlieko približne 7 – 10 % predaného objemu, pričom pre mliečne výrobky ako celok sa uvádzajú vyššie hodnoty.



9 Prípadová štúdia: scenáre znižovania emisií

Vypracovali sme tri scenáre dekarbonizácie, ktoré ukazujú rozdiely medzi nízkonákladovými a kapitálovo náročnými opatreniami.

Scenár A – nízkonákladový

Zahŕňa krytie skladov hnoja, optimalizáciu pasterizácie a rekuperáciu tepla, pričom tieto opatrenia prinášajú redukciu emisií o 10 – 15 %. Investičná náročnosť je nízka a návratnosť sa pohybuje v intervale 2 – 4 roky, keďže úspora energie a zníženie strát prinášajú okamžitý ekonomický efekt.

Scenár B – stredný

Využíva kŕmne aditíva na báze 3-NOP, ktoré sú od roku 2022 v EÚ povolené pre dojnice a dokážu redukovať enterický metán o 20 – 30 %. Súčasťou scenára je robotické dojenie, ktoré zlepšuje welfare a umožňuje detailný monitoring zdravia, a elektrifikácia pasterizácie s využitím obnoviteľných zdrojov. Redukcia emisií sa pohybuje v rozmedzí 25 – 30 %, návratnosť je strednodobá (5 – 7 rokov) a závisí najmä od ceny aditív (0,05 – 0,08 €/l mlieka) a od cien elektriny.

Scenár C – vysoký

Zahŕňa anaeróbnu digestiu hnoja s výrobou bioplynu, elektrifikáciu logistiky (chladiarenské dodávky na batérie) a kombináciu obnoviteľných zdrojov (solárne panely, kogenerácia). Redukcia emisií dosahuje 40 – 50 %, pričom investičná náročnosť je vysoká a návratnosť sa odhaduje na 8 – 12 rokov. Okrem redukcie emisií však prináša aj energetickú sebestačnosť farmy alebo mliekarene.



10 Meranie, dohľadateľnosť a reporting

Moderný mliečny reťazec si vyžaduje presný a digitálny zber dát, ktorý je možné integrovať do ERP systémov a prepojiť na reporting podľa GHG Protocol, ESRS a PEFCR.

- **Na farme:** senzory zdravia zvierat (teplota, aktivita, dojivosť), automatické snímače spotreby elektriny a vody, metánové senzory a váženie krmív.
- **V mliekarni:** kontinuálne meranie teploty pasterizácie, spotreby energie na linkách, množstva srvátky a strát pri CIP procesoch.
- **V logistike:** GPS a teplotné senzory v cisternách a chladiarenských vozidlách.
- **V maloobchode:** monitoring teploty chladiacich vitrín, zber dát o návratkách a digitálna integrácia predajných údajov.

Integrácia dát umožňuje auditovateľný reporting a externú verifikáciu, pričom jednotná dátová ontológia (identifikátor každej šarže od farmy po obchod) zvyšuje transparentnosť a dôveru partnerov i spotrebiteľov.



11 Scenáre dekarbonizácie a citlivostná analýza

Citlivostná analýza ukázala, že:

- pri cene elektriny nad 0,25 €/kWh sa elektrifikácia mliekarne s rekuperáciou stáva návratná do 6 rokov,
- pri cene sóje nad 400 €/t sa ekonomicky oplatí nahradiť časť proteínov lokálnymi zdrojmi (lucerna, repkový šrot),
- redukcia metánu pomocou aditív je vysoko účinná, avšak jej prínos závisí od ceny aditív a od stability účinku v rôznych kŕmnych dávkach,
- anaeróbna digestcia je výhodná v prípade vyššieho počtu zvierat (≥ 500 dojníc), keďže fixné náklady sa rozpočítavajú na väčší objem produkcie.
- Výsledky potvrdzujú, že ekonomická atraktivita opatrení je podmienená nielen technologickými parametrami, ale aj externými faktormi ako sú ceny energií, komodít a emisné faktory národného energetického mixu.



12 Odporúčania pre prax

Na základe výsledkov možno formulovať odporúčania pre jednotlivé články reťazca:

- **Farmy (Scope 1 dominancia):** zaviesť krmné aditíva redukujúce enterický metán (napr. 3-NOP s účinnosťou 20 – 30 %), investovať do krytých skladov hnoja alebo anaeróbných digesterov (úspora až 1,5 t CO₂e/krava/rok), digitalizovať monitoring zdravia stáda a pripraviť adaptačné opatrenia na horúčavy (tínenie, ventilácia, sprchy).
- **Mliekarne (Scope 2 a čiastočne Scope 1):** elektrifikovať pasterizáciu a chladenie s využitím rekuperácie tepla, zavádzať tepelné čerpadlá a solárne panely, minimalizovať straty mlieka pri spracovaní (1 – 2 %) a zvyšovať podiel obnoviteľnej energie (cieľ 50 % podľa PEFCR Dairy Products 2025).
- **Distribúcia a obchod (Scope 3):** optimalizovať chladiarenskú logistiku pomocou GPS a IoT senzorov, investovať do energeticky efektívnych skladov, znížiť návratky (3 – 5 % objemu) pomocou prediktívneho plánovania a dynamických zliav, a edukovať spotrebiteľov o správnom skladovaní a interpretácii dátumov minimálnej trvanlivosti (zníženie potravinového odpadu o 2 – 3 %).
- **Spotrebiteľ (Scope 3 – use phase):** podporiť osvetu o správnom skladovaní a využívaní dátumov minimálnej trvanlivosti, keďže potravinový odpad v domácnostiach (7 – 10 % objemu mlieka) môže pridať až 0,2 kg CO₂e/l k celkovej stope.



13 Implementačné bariéry a riadenie zmeny

Najväčšou bariérou implementácie klimaticky priaznivých technológií v mliečnom reťazci je kapitálová náročnosť. Investície do anaeróbných digestorov, elektrifikovaných pasterizačných liniek či moderných chladiarenských skladov sa pohybujú v stovkách tisíc až miliónoch eur, čo je pre mnohé farmy a mliekarne nad rámec ich vlastných zdrojov.

Ďalšími významnými bariérami sú:

- **Nedostatok kvalifikovaného personálu** – moderné technológie vyžadujú špecialistov na obsluhu bioplynových staníc, energetických systémov či digitálnych monitorovacích nástrojov.
- **Kultúrne a organizačné prekážky** – časť farmárov je konzervatívna a obáva sa rizika spojeného s novými postupmi, najmä ak návratnosť investícií presahuje 5 – 7 rokov.
- **Regulačné riziká** – sprísňovanie emisných noriem (metán, amoniak) a reportingových povinností môže krátkodobo zvýšiť náklady. Od roku 2025 však bude reporting uhlíkovej stopy povinný pre veľké podniky podľa CSRD a ESRS E1 – Climate Change, čo vytvára tlak na zavedenie meracích a monitorovacích systémov.

Možnosti prekonania bariér:

- **Finančné nástroje EÚ:** Modernizačný fond, Program LIFE a schémy v rámci Európskej zelenej dohody (Green Deal) umožňujú čerpať dotácie alebo zvýhodnené úvery na nízkouhlíkové technológie.
- **Národná podpora:** štátne pilotné projekty zamerané na anaeróbnu digestiu, krmné aditíva či digitalizáciu fariem môžu znížiť riziko počiatočných investícií.
- **Partnerstvá v reťazci:** modely farmár – mliekareň – obchod, kde sa náklady a úspory delia medzi viaceré články reťazca, zvyšujú ekonomickú stabilitu a umožňujú spoločný reporting podľa CSRD.
- **Vzdelávanie a tréning:** odborné kurzy pre farmárov, mliekarne a logistické firmy, zamerané na nové technológie a ESG reporting, zvyšujú prijatie opatrení a redukujú obavy z komplexnosti regulácií.

Riadenie zmeny by malo byť postavené na kombinácii:

1. finančnej podpory (CAPEX dotácie a úvery),
2. povinného a transparentného reportingu (CSRD/ESRS, PEFCR Dairy Products 2025),
3. budovania kompetencií (vzdelávanie, technická asistencia) a
4. partnerstiev, ktoré zdieľajú riziká a úspory.

Takýto prístup umožní, aby sa technologická dekarbonizácia mliečneho reťazca stala nielen regulačnou povinnosťou, ale aj príležitosťou na zvýšenie efektívnosti, reputácie a dlhodobej odolnosti sektora.



14 Záver

Mliečna vertikála predstavuje zásadný článok potravinového systému, pričom priemerná uhlíková stopa jedného litra mlieka (resp. 1 kg FPCM) sa v európskych podmienkach pohybuje na úrovni 1,2 – 1,6 kg CO₂e/kg FPCM. Najväčší podiel na emisnom profile majú Scope 1 zdroje – enterický metán (≈45 %) a hospodárenie s hnojom (≈25 %). Scope 2 (nakúpená elektrina a teplo v mliekarni) a Scope 3 (krmivá, transport, obaly, spotrebiteľské straty) tvoria menší, no stále významný podiel (≈30 %). Existuje veľký priestor na znižovanie emisií pri zachovaní ekonomickej životaschopnosti. Najväčšie príležitosti ležia v obmedzovaní metánu (napr. krmne aditíva typu 3-NOP, welfare opatrenia), v hospodárení s hnojom (kryté sklady, anaeróbna digestia) a v energetickej efektívnosti mliekarní (rekuperácia, elektrifikácia). Ekonomické a environmentálne ciele sa často prelínajú: opatrenia, ktoré znižujú emisie, zároveň zvyšujú efektívnosť a znižujú náklady.

Kľúčové závery:

- Uhlíková stopa mlieka je vysoká, ale redukovateľná.
- Najväčšie emisie pochádzajú z enterického metánu a hospodárenia s hnojom.
- Najefektívnejšie opatrenia sú kombinované – technologické (anaeróbna digestia, rekuperácia), organizačné (predikcia dopytu) a obchodné (zdieľanie úspor).
- Dekarbonizácia prináša nielen nižšie emisie, ale aj ekonomické úspory a vyššiu odolnosť voči rizikám.
- Transparentný reporting podľa CSRD/ESRS a PEFCR je kľúčom k dôvere partnerov, spotrebiteľov a regulátorov.



15 Prílohy

15.1 Slovník pojmov a skratiek

Uhlíková stopa (Carbon Footprint) – súhrn emisií skleníkových plynov vyjadrených v CO₂e, vzťahujúci sa na liter mlieka alebo kilogram výrobku.

LCA (Life Cycle Assessment) – analýza životného cyklu výrobku od farmy po spotrebiteľa vrátane všetkých vstupov a výstupov.

PEF (Product Environmental Footprint) – metodika EÚ pre hodnotenie environmentálnej stopy produktov, odporúčaná pre zverejňovanie dát podľa CSRD.

PEFCR Dairy Products (2025) – kategóriové pravidlá EÚ pre hodnotenie environmentálnej stopy mliečnych výrobkov (funkčná jednotka: kg fat-and-protein-corrected milk, pravidlá alokácie srvátky a hnoja, end-of-life scenáre).

GHG Protocol – medzinárodný štandard pre výpočet emisií podľa Scope 1, 2 a 3.

Enterická fermentácia – proces v bachore prežúvavcov, pri ktorom vzniká metán ako vedľajší produkt trávenia.

Anaeróbná digestia (AD) – rozklad hnoja bez prístupu kyslíka, pri ktorom sa uvoľňuje bioplyn, ktorý možno energeticky využiť.

3-NOP (3-nitrooxypropanol, obchodne Bovaer) – kýmne aditívum povolené v EÚ od roku 2022, ktoré inhibuje tvorbu metánu u kráv, s redukčnou účinnosťou 20 – 30 %.

Kogenerácia (CHP) – kombinovaná výroba tepla a elektriny, často na báze bioplynu z AD.

Scope 1/2/3 – klasifikácia emisií podľa GHG Protocol (priame, nepriame z energií, ostatné nepriame).

CSRD/ESRS – nové pravidlá EÚ pre povinný reporting udržateľnosti, platné od roku 2025 pre veľké podniky.

15.2 Rámcová mapa indikátorov a metodika merania

Farma

- Dojivosť (l/krava/rok): priemer SR ~7 500 l.
- Počet dojníc (2024, Eurostat): ~114 000 kusov.
- Spotreba krmiva (kg sušiny/krava/deň): 20 – 25 kg.
- Emisie metánu (kg CH₄/krava/rok): 100 – 120 kg (≈ 2,5 – 3,0 t CO₂e).
- Emisie z hnoja (kg CO₂e/krava/rok): 1,0 – 1,5 t, redukovateľné krytím a digestorom.

Mliekareň

- Spotreba energie (kWh/l mlieka): 0,2 – 0,3 kWh/l.
- Miera strát pri spracovaní: 1 – 2 %.
- Podiel obnoviteľnej energie: priemer EÚ ~20 %, cieľ 50 %.



Distribúcia a obchod

- Energetická náročnosť logistiky (MJ/t-km): 0,8 – 1,2 MJ/t-km pri chladiarenských autách.
- Emisie z dopravy: ~0,006 – 0,012 kg CO₂e/l (pri 100 km a dobrej vyťaženi).
- Podiel návratiek: 3 – 5 % objemu.
- Spotreba energie na chladenie (kWh/týždeň): 5 – 8 kWh na 100 kg výrobkov.

Spotrebiteľ

- Podiel vyhodeneného mlieka: 7 – 10 % (WRAP, EÚ dáta); pre všetky mliečne výrobky vyššie (až do 20 %).
- Priemerná uhlíková stopa odpadu: 1,2 – 1,6 kg CO₂e/kg výrobku.

Metodika merania

- Farmy: metánové senzory, váženie krmív, monitoring hnoja.
- Mliekarne: elektromery na linkách, kontinuálne meranie teplôt, bilančné merania strát.
- Logistika: GPS a snímače teploty v cisternách a dodávkach.
- Obchod: sledovanie návratiek, digitalizácia predajných dát.

15.3 Metodika zberu dát, kvalita údajov a integrácia do reportingu

Zber dát

- Automatické senzory: meranie teploty a vlhkosti v skladoch hnoja, v cisternách a mliekarňach.
- ERP systémy: prepojenie výrobných a energetických dát s obchodnými.
- Laboratórne testy: kvalita mlieka (tuk, bielkoviny, inhibítory).

Kvalita údajov

- Validačné pravidlá: kontrola konzistencie medzi doživnosťou a dodávkami.
- Kalibrácie: pravidelná kalibrácia elektromerov a snímačov.
- Interné audity: porovnanie materiálových a energetických bilancií.

Integrácia do reportingu

- Mapovanie indikátorov na ESG štandardy (GRI, ESRS).
- Jednotná dátová ontológia – každá šarža mlieka má identifikátor od farmy po obchod.
- Externá verifikácia – audit uhlíkových dát treťou stranou.

15.4 Orientačné scenáre a kvantifikované efekty

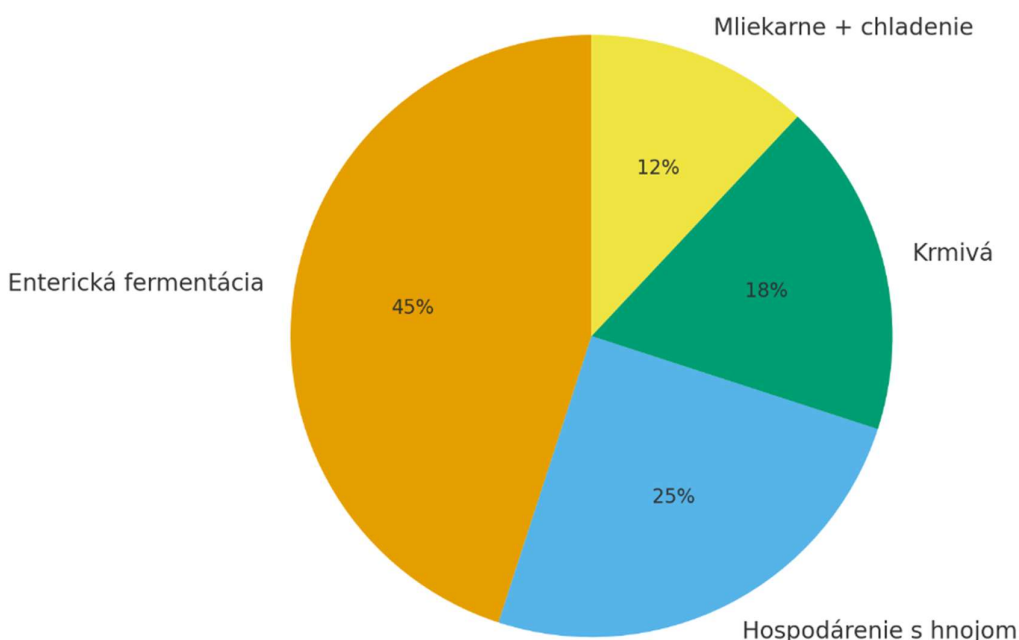
- **Scenár A – Kryté sklady hnoja**
 - Redukcia emisií z hnoja o 30 %.
 - Úspora ≈ 0,3 – 0,4 t CO₂e/krava/rok.
 - Farma s 500 kravami = 150 – 200 t CO₂e/rok.



- **Scenár B – Krmné aditíva (3-NOP)**
 - Redukcia enterického metánu o 20 – 30 %.
 - Úspora: 0,5 – 0,8 t CO₂e/krava/rok.
 - Farma s 500 kravami = 250 – 400 t CO₂e/rok.
- **Scenár C – Anaeróbna digescia + kogenerácia**
 - Zachytenie metánu z hnoja a jeho využitie na výrobu energie.
 - Úspora: 1,0 – 1,5 t CO₂e/krava/rok.
 - Farma s 500 kravami = 500 – 750 t CO₂e/rok.

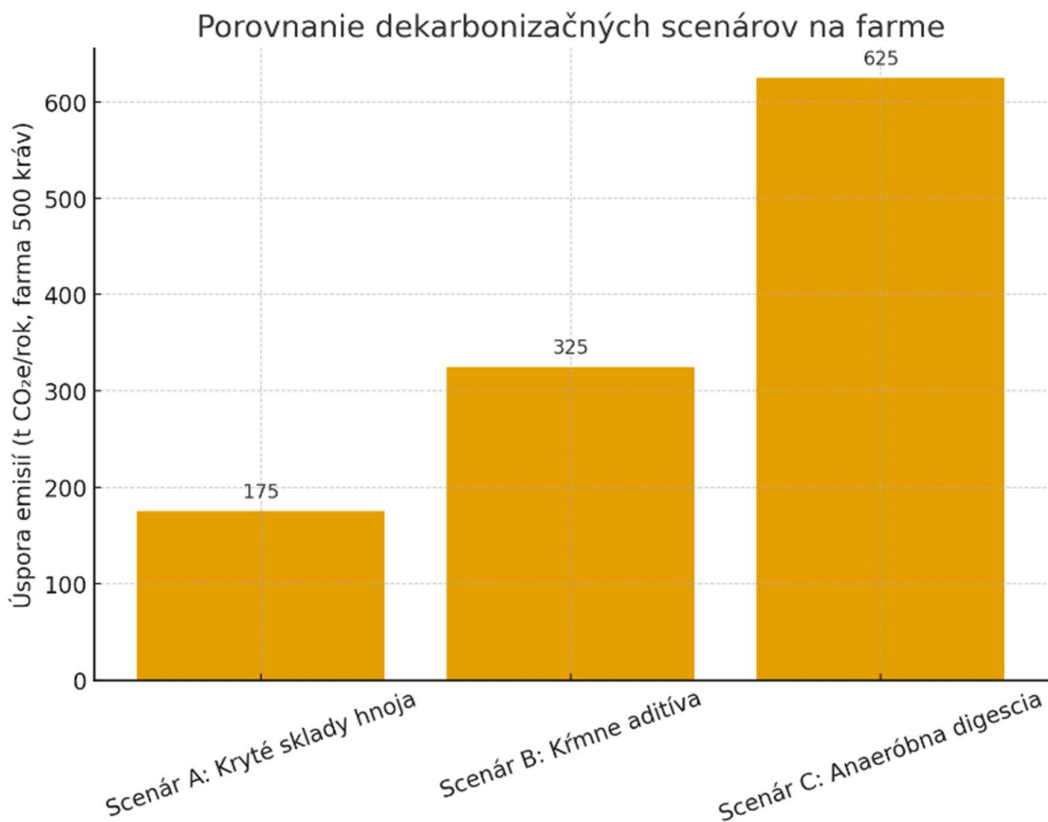
Tieto údaje ukazujú, že technologické opatrenia na farme dokážu znížiť uhlíkovú stopu o 20 – 50 % už v krátkodobom horizonte.

Rozdelenie uhlíkovej stopy litra mlieka (priemer EÚ)



Koláčový graf znázorňuje priemernú štruktúru uhlíkovej stopy mlieka v Európe. Enterická fermentácia predstavuje najväčší podiel (≈45 %), čo potvrdzuje, že metán z trávenia kráv je kľúčovým zdrojom emisií. Hospodárenie s hnojom tvorí približne 25 %, čo je oblasť, kde technologické opatrenia (kryté sklady, anaeróbna digescia) prinášajú najväčší efekt. Krmivá predstavujú 18 %, pričom ich stopa závisí najmä od podielu importovaných bielkovinových zdrojov. Mliekarne a chladiaci reťazec tvoria menší, ale nemenej dôležitý podiel (≈12 %), kde sa dá uplatniť elektrifikácia, rekuperácia a optimalizácia chladenia.





Graf porovnáva úspory emisií v troch modelových scenároch pre farmu so 500 kravami.

- **Scenár A (kryté sklady hnoja)** prináša úsporu ≈175 t CO₂e/rok. Ide o opatrenie s nízkou investičnou náročnosťou a rýchlou návratnosťou.
- **Scenár B (kŕmne aditíva)** má vyšší efekt – cca 325 t CO₂e/rok. Úspech však závisí od ceny aditív a ich dostupnosti.
- **Scenár C (anaeróbná digestcia)** prináša najväčšiu úsporu – až 625 t CO₂e/rok. Okrem redukcie emisií poskytuje aj vlastný zdroj energie (bioplyn).

Porovnanie ukazuje, že kombinácia opatrení znižuje uhlíkovú stopu na farme o 20 – 50 %, pričom investične náročné riešenia (digestcia) majú najväčší absolútny prínos.



16 Zoznam použitej literatúry

1. FAO. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Dostupné na: <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
2. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Dostupné na: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf>
3. POORE, J. – NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science, 2018, 360(6392), 987–992. Dostupné na: <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
4. EUROPEAN COMMISSION. Product Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products. Brussels: European Commission, 2021. Dostupné na: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_DairyProducts.pdf
5. EUROPEAN COMMISSION. Product Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products – Updated version. Brussels: European Commission, 2025. Dostupné na: https://ec.europa.eu/environment/pefcr_dairy_2025.pdf
6. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. Copenhagen: EEA, 2022. Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu/publications>
7. EUROSTAT. Agricultural statistics – milk and dairy production. Luxembourg: Eurostat, 2024. Dostupné na: <https://ec.europa.eu/eurostat>
8. EUROPEAN UNION. Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) and European Sustainability Reporting Standards (ESRS). Brussels: EU, 2023. Dostupné na: <https://finance.ec.europa.eu/csrd>
9. GERBER, P.J. et al. Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO, 2013. Dostupné na: <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
10. WEISS, F. – LEIP, A. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment. Animal, 2012, 6(2), 198–210. Dostupné na: <https://doi.org/10.1017/S1751731111002149>
11. ŠTATISTICKÝ ÚRAD SR. Poľnohospodárska produkcia – mlieko a mliečne výrobky. Bratislava: Štatistický úrad Slovenskej republiky, 2021. Dostupné na: <https://slovak.statistics.sk>
12. EUROPEAN DAIRY ASSOCIATION. Sustainability in the dairy sector. Brussels: EDA, 2020. Dostupné na: <https://www.euromilk.org>
13. IDF. World Dairy Situation Report 2024. Brussels: International Dairy Federation, 2024. Dostupné na: <https://fil-idf.org>
14. ARLA FOODS. Climate Check 2022 – Farmer benchmarking report. Viby: Arla Foods amba, 2022. Dostupné na: <https://www.arla.com/sustainability/climatecheck>
15. EFSA. Scientific Opinion on the safety and efficacy of 3-nitrooxypropanol (3-NOP) as a feed additive for dairy cows. EFSA Journal, 2021, 19(1), 6372. Dostupné na: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6372>
16. DEFRA. UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting – 2024. London: Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2024. Dostupné na: <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>



17. WRAP. Milk Waste in UK Households. Banbury: Waste and Resources Action Programme, 2021. Dostupné na: <https://wrap.org.uk/resources/report/milk-waste-uk-households>
18. OUR WORLD IN DATA. Milk consumption per capita (kg milk equivalent). Oxford: Global Change Data Lab, 2023. Dostupné na: <https://ourworldindata.org/grapher/milk-consumption-per-capita>
19. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Climate change impacts and adaptation in agriculture in Europe. Copenhagen: EEA, 2023. Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-agriculture>
20. GHG PROTOCOL. Corporate Standard – Scope 1, 2 and 3 definitions. Washington D.C.: World Resources Institute, 2015. Dostupné na: <https://ghgprotocol.org>





Autor:

Ing. Andrej Bencel, PhD.

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre



www.decarb.uniag.sk