**Emise skleníkových plynů a jejich snižování s využitím prvků precizního zemědělství**

M. Štolcová

**Úvod**

Změny klimatu jsou dnes viditelné na mnohých místech naší planety. Hlavní příčinou této změny je tzv. skleníkový efekt. Chování některých plynů v zemské atmosféře se se dá totiž přirovnat ke skleněným tabulkám skleníku – zadržují sluneční teplo a nedovolují mu uniknout ven, což vede ke zvyšování teploty na povrchu naší země. Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je oxid uhličitý (**CO2**), který k oteplování přispívá přibližně ze 70 %. Jeho koncentrace v atmosféře rostou především kvůli spalování fosilních paliv, ale například i kácení pralesů nebo výrobě oceli a cementu. Dalšími významnými skleníkovými plyny jsou metan (**CH4**), který do atmosféry uniká hlavně při těžbě fosilních paliv a chovu dobytka, a oxid dusný (**N2O**) vznikající zejména při používání umělých dusíkatých hnojiv. Ke skleníkovým plynům náleží také halogenderiváty uhlovodíků, veřejnosti dobře známé jako freony.

K zastavení klimatické změny je klíčové dosáhnout celosvětově tzv. klimatické neutrality – rovnováhy mezi emisemi uhlíku a jeho pohlcováním z atmosféry do takzvaných úložišť uhlíku. Aby bylo dosaženo čistých (nulových) emisí, musí být celosvětové emise CO2 vyváženy zachycováním uhlíku. Uhlíkové úložiště je jakýkoli systém, který pohlcuje více uhlíku, než emituje. Hlavními přírodními zachytávači uhlíku jsou půda, lesy a oceány. Na druhou stranu se však uhlík přirozeně zachycený například lesy může znovu uvolnit do atmosféry lesními požáry, změnami ve využívání půdy nebo těžbou dřeva. Proto je pro dosažení klimatické neutrality především nutné snížit emise CO2 a je potřeba, aby se do tohoto procesu zapojili a vzájemně spolupracovali všichni: od podniků a institucí až po státy a mezinárodní organizace. Evropská unie se rozhodla jít příkladem a snaží se vytvořit podmínky pro postupné splnění požadavku klimatické neutrality do roku 2050. Strategie pro dosažení tohoto cíle jsou známy pod pojmem Zelená dohoda pro Evropu, která mimo jiné zahrnuje aktuální balíček „Fit for 55“ obsahující závazná pravidla, která mají za cíl snížit emise skleníkových plynů minimálně o 55 % do roku 2030 (ve srovnání s rokem 1990).

Strategií, kterými lze snižovat produkci emisí skleníkových plynů v zemědělství, je celá řada. Tato rešerše se týká především odvětví chovu skotu, které je veřejností často vnímáno jako jeden z hlavních přispěvatelů ke globálnímu oteplování. Cílem je poukázat na faktické podíly zemědělství na produkci emisí a diskutovat možnosti jejich snižování různými cestami včetně využití prvků precizního zemědělství.

**Emise skleníkových plynů**

Za rok 2021 celý svět vypustil do atmosféry 55 miliard tun ekvivalentu oxidu uhličitého (Our World in Data, 2023). Největší podíl měla Čína, která vyprodukovala 25 % celosvětových emisí skleníkových plynů. Druhým největším znečišťovatelem jsou USA (11 %). Za 7 % celkových emisí je zodpovědná EU, podobně jako Indie nebo Jižní Amerika (Jones et al., 2023). Ekvivalent oxidu uhličitého neboli zkráceně **CO2eq**, je metrická míra používaná k porovnání emisí různých skleníkových plynů na základě přepočtu na ekvivalentní množství oxidu uhličitého se stejným potenciálem globálního oteplování (Eurostat Statistics Explained, 2023). Například podle standardního výpočtu je metan 28krát silnější skleníkový plyn než oxid uhličitý (při uvažovaném stoletém horizontu), tedy 1 tuna metanu představuje 28 tun CO2eq. Tento výpočet však v poslední době bývá zpochybňován a nový výpočet ukazuje, že metan je jen 8krát silnější skleníkový plyn než CO2 (Muller et Muller, 2017; Lynch et al., 2020; Smith et al. 2021). Tyto nové argumenty a výpočty dosud nejsou ve značné části vědecké a politické komunity přijímány, ale množství důkazů pro tvrzení, že původní výpočty byly nadhodnoceny, stále roste (Meissner et al., 2023).

Kromě absolutních hodnot emisí skleníkových plynů jsou vypovídající také relativní změny v produkci emisí od roku 1990 do roku 2021 ve vybraných částech světa. Na jedné straně stojí EU, potažmo celá Evropa, které se spolu s Velkou Británií, USA a dalšími státy daří emise skleníkových plynů snižovat, a tím naplňovat sen o klimatické neutralitě. Avšak na opačné straně jsou země jako Čína, Indie, Turecko, Rusko, Saudská Arábie a další, ve kterých naopak emise skleníkových plynů stále rostou, jelikož v těchto zemích se masivně těží ropa či zemní plyn, nebo dochází k obrovskému nárůstu průmyslu a zároveň k ne zcela šetrnému zacházení s půdou a odpady.

***Podíl zemědělství na produkci emisí skleníkových plynů***

Zemědělská činnost přispívá ke globálnímu oteplování především produkcí metanu z bachorové a střevní fermentace hospodářských zvířat a také oxidu dusného při používání hnojiv a hospodaření s půdou. Navíc zemědělství, stejně jako jakákoli jiná průmyslová výroba, využívá také velké množství energie a paliv, které jsou zdrojem emisí oxidu uhličitého.

Jednou z nejzásadnějších informací pro rozhodování se v otázce snížení emisí je znalost podílu a role jednotlivých sektorů na celkové produkci emisí skleníkových plynů. Data vycházející ze studie Poore et Nemecek z roku 2018 ukázala, že celosvětově tvorbě emisí vévodí energetika. Zemědělství spolu s **LUCF** (Land-use Change and Forestry, změna využívání půdy a lesnictví) tvořily 18,4 % z celkových emisí skleníkových plynů. Samotný chov dobytka, na který je vyvíjen tlak z důvodu emisí CH4, pak necelých 6 %. Pokud k živočišné výrobě připočteme i rybolov, dostaneme se na produkci 8 % celkových světových emisí. Co se týká „problematiky“ LUCF, je potřeba krátkého vysvětlení. Lesy tradičně CO2 pohlcují (kategorie LUCF má pak „záporné“ emise), ale při požárech či odlesňování se naopak stanou zdrojem emisí CO2. Bez započítání LUCF se v roce 2019 zemědělství podílelo na celosvětové produkci emisí skleníkových plynů 12 % a ve státech EU to bylo 11 % (Our World in Data, 2023; European Environmental Agency, 2023).

V České republice se na produkci emisí skleníkových plynů nejvíce podílejí elektrárny a teplárny, doprava, výroba a stavby (energie budov). Zemědělství je na pátém místě a tvoří zhruba 6 % celkových emisí v ČR (bez započítání LUCF), přičemž asi 50 % z toho připadá na živočišnou výrobu (v celé EU je to asi 30 %).

***Emise skleníkových plynů a chov skotu***

Přežvýkavci mají jedinečnou schopnost využívat krmiva bohatá na celulózu, která jsou jinými živočichy nestravitelná. To je umožněno velkou rozmanitostí mikroorganismů, které osidlují bachor a rozkládají krmivo pomocí fermentačních procesů. Hlavními produkty mikrobiální bachorové fermentace jsou těkavé mastné kyseliny (acetát, propionát a butyrát), které jsou vstřebávány a dále využívány zvířetem, a také oxid uhličitý a vodík (**H2**), které jsou metanogenními bakteriemi přeměňovány na odpadní plyn – metan. Tento proces udržuje nízký parciální tlak H2, což posouvá fermentaci k produkci méně redukovaných konečných produktů včetně klíčového acetátu (Moss et al., 2000). Vzniklý metan není využíván samotným zvířetem, ale představuje energetickou ztrátu a je následně odstraněn z organismu především eruktací (říháním) a dýcháním. Menší část metanu (10–15 %) vzniká ve střevech a odchází přirozeně konečníkem v procesu zvaném flatulence. Průměrná dojnice vypustí ročně do atmosféry přibližně 160 kg metanu (Hristov et al., 2015). Množství produkovaného metanu závisí na mnoha faktorech, včetně stravitelnosti krmiva, celkového množství fermentovaných sacharidů, poměru tvořených mastných kyselin a koncentrace vodíku a zastoupení mikroorganismů v bachoru (Garnsworthy et al., 2019).

Samotná živočišná výroba se na celosvětové produkci skleníkových plynů podílí z 6 až 8 %, v rámci emisí vyprodukovaných v EU jsou to ale pouhá 3 %. Celková produkce emisí vznikajících v zemědělství od roku 1990 do roku 2019 se v EU snížila o 25 %, což je dáno zejména snížením stavů hospodářských zvířat. Pro porovnání je vhodné si připomenout, že za stejné období se zvýšila o 65 % produkce emisí z letecké a lodní dopravy, o 26 % z dopravy pozemní a o 15 % ze sektoru LUCF, což je dáno zejména nevhodným hospodařením s lesy (Our World in Data, 2023).

**Možnosti snižování emisí skleníkových plynů v odvětví chovu skotu**

Zemědělství hraje v kontextu boje s emisemi v podstatě dvojí roli, protože je jak producentem skleníkových plynů, tak má zároveň potenciál být součástí řešení vedoucího k dosažení uhlíkové neutrality. Udržitelné zemědělské postupy, jakými jsou ekologické zemědělství a agrolesnictví, mohou pomoci zachycovat uhlík v půdě a tím snižovat emise. Omezovat produkci emisí v zemědělství lze různými cestami; je možné redukovat spotřebu živočišných produktů, zefektivnit výrobu, ekologicky hospodařit s půdou, omezit používání umělých hnojiv, hledat alternativní zdroje energie a paliv. V chovech skotu se nejčastěji lze setkat se strategiemi založenými na úpravě výživy, podávání inhibitorů metanu nebo genetické selekci s cílem snížit tvorbu metanu. Na produkci emisí má vliv také zdraví a dlouhověkost zvířat, čemuž je paradoxně zatím věnována jen malá pozornost.

***Výživa a selekce***

Mezi doporučené strategie pro snižování emisí skleníkových plynů, především metanu, patří inhibitory metanu přidávané do krmiv. Zkoumalo se například podávání rostlinných olejů, tříslovin, vyšší zastoupení koncentrovaných krmiv, nebo využití dusičnanů jako „pohlcovačů“ vodíkových elektronů (Beauchemin et al., 2020). Vyšší míra zařazení olejů však negativně ovlivňuje příjem krmiva, funkci bachoru a užitkovost zvířat, konkrétně složky mléka (Cobellis et al., 2016). Zvýšení podílu koncentrovaných krmiv s sebou nese vysoké náklady a představuje poměrně vysoké riziko narušení bachorových funkcí (Agle et al., 2010). Třísloviny mohou mít negativní vliv na stravitelnost živin. V případě dusičnanů mohou jejich zavedení do praxe bránit obavy o zdraví zvířat, ačkoli autoři jiných studií žádný vliv na zdraví nezaznamenali (např. Olijhoek et al., 2016). Inhibitor metanu, který má v současné době největší potenciál, je 3-nitrooxypropanol (**3-NOP**), který inhibuje enzym zodpovědný za tvorbu tohoto plynu v trávicím traktu dojnic (Pitta et al., 2022). Tato látka dokáže zajistit pokles denních emisí metanu o 28 až 32 % a nemá žádný vliv na příjem sušiny ani produkci (Hristov et al., 2022). Kvůli své chemické struktuře a rozpustnosti je však pravděpodobně doba trvání účinku 3-NOP v bachoru poměrně krátká (Hristov et Melgar, 2020). Tricarico et al. (2022) proto navrhli další zkoumání jeho účinnosti v průběhu času a v závislosti na podílu neutrálně detergentní vlákniny v krmné dávce. Aktuálně je 3-NOP schválen Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA, 2021) a pod názvem Bovaer® má povolení k prodeji ve více než 45 zemích včetně EU. Nicméně na trhu v současné chvíli není dostupný, pravděpodobně z důvodu nedostatečných výrobních kapacit a podle neoficiálních informací se plánuje výstavba velké továrny na jeho výrobu v Brazílii.

Genetická selekce krav s nízkou produkcí metanu je jednou z dalších metod k zajištění snížení emisí skleníkových plynů. Na rozdíl od dietních strategií má genetika výhodu v tom, že její účinky jsou aditivní a trvalé. Intenzita metanu (množství metanu vyprodukovaného na jednotku vyrobeného mléka) je slibnou vlastností (fenotypem), která by mohla být zahrnuta do selekčního indexu (Kandel et al., 2018). Výsledky nizozemské studie naznačily, že přidáním produkce metanu jako selekčního kritéria lze snížit intenzitu jeho emisí o 24 % do roku 2050 (de Haas et al., 2021), což naznačuje, že rovněž pomocí nástrojů genetiky je možné významně přispět k dosažení cíle stanoveného EU, kterým je dosažení klimatické neutrality. Stejná studie zároveň upozorňuje, že pro zajištění požadované spolehlivosti pro genomickou predikci je zapotřebí zaznamenávat data o produkci metanu na sto farmách (o průměrné velikosti 150 krav) po dobu nejméně 2 let.

***Zdraví a dlouhověkost***

Hristov et al. (2013) byli jedněmi z prvních, kteří považovali zdraví zvířat a jejich předčasné vyřazení za velmi důležité faktory ovlivňující užitkovost zvířat a dopadající také na produkci emisí skleníkových plynů. Grace et al. (2015) odhadli, že nemoci hospodářských zvířat celosvětově snižují užitkovosti až o 25 %. Zdraví zvířat lze také považovat za důležité pro adekvátní konverzi krmiv na potraviny živočišného původu, přičemž při optimálním využití krmiv bude produkováno menší množství skleníkových plynů na jednotku produktu (Niemann et al., 2011). Ke snížení intenzity produkce skleníkových plynů se tak nabízí cesta dlouhověkosti a zdraví chovaných zvířat. Pomocí modelového výpočtu bylo zjištěno, že s rostoucím pořadím laktace klesá množství emisí skleníkových plynů na kilogram mléka, přičemž do třetí laktace byl tento pokles velmi dramatický (von Soosten et al., 2020). Také Garnsworthy (2004) dospěl k závěru, že zlepšení plodnosti krav by mohlo snížit emise metanu až od 24 %, a to především díky dlouhověkosti a tedy nižší potřebě obměňovat stádo.

Vysoká užitkovost je logicky spjata s vyššími celkovými emisemi, ale v přepočtu na jednotku produktu (kg mléka) emise s rostoucí užitkovostí klesají (Zehetmeier et al., 2012). S vysokou produkcí je často bohužel spojen horší zdravotní stav, protože vysokoprodukční dojnice potřebují pro splnění svých energetických požadavků na laktaci vysoký příjem sušiny, kterého fyziologicky po porodu nejsou schopny dosáhnout. Dostávají se do negativní energetické bilance (**NEB**), která je přímo spojena s poruchami imunitního systému, což vede ke zhoršení zdraví. U krav s NEB se často objevuje ketóza, dislokace slezu, laminitidy, poruchy plodnosti a mastitidy. Relativně nedávná studie Mostert et al. (2018a) ukázala vliv subklinické ketózy (**SKC**) na emise skleníkových plynů. Autoři na základě svých výpočtů došli k závěru, že každý případ SCK zvýšil emise skleníkových plynů v průměru o 21 kg CO2eq/t **FPCM** (fat-protein-corrected milk), tj. zvýšení o 2,3 %. Pokud se u krav vyskytla pouze SCK, zvýšení bylo v průměru o 0,9 %. U krav s SCK a dalšími onemocněními (mastitida, metritida, dislokace slezu nebo laminitida) to bylo v průměru o 3,4 %. K navýšení emisí až o 20,4 % došlo u krav s SCK, které byly zároveň předčasně vyřazeny ze stáda. U krav s SKC, které uhynuly, došlo k navýšení emisí o 50,2 %. Obdobná studie stejných autorů (Mostert et al., 2018b) se týkala vlivu onemocnění končetin na emise skleníkových plynů. Onemocnění končetin jsou velmi častým problémem u dojených stád skotu a vedou k poklesu příjmu krmiva, poklesu dojivosti, zhoršení plodnosti a zvyšují riziko předčasného vyřazení ze stáda. Autoři zde došli k závěru, že na každý případ krávy s onemocněním končetin (digitální dermatitida, nemoc bílé čáry, vřed nebo kombinace) se emise na tunu FPCM zvýšily v průměru o 1,5 %, přičemž dopad na emise se snižoval s rostoucím pořadím laktace.

Gülzari et al. (2018) sledovali vliv subklinických mastitid na emise skleníkových plynů na norských farmách. Mastitidy mají velký vliv na snížení produkce mléka a také na vyřazení mléka z prodeje, což jednak snižuje rentabilitu, ale také je to v podstatě plýtvání a emise související s tvorbou mléka byly vyprodukovány zbytečně. Zároveň mastitidy celkově snižují zdraví krav a zvyšují riziko předčasného vyřazení ze stáda. Autoři zjistili, že emise produkované na kg FPCM u krav s mastitidou (resp. počtem somatických buněk (**PSB**) 800 tis. buněk/ml) byly o 3,7 % vyšší než u krav bez mastitidy (PSB 50 tis. buněk/ml). Ale i krávy s mírnější mastitidou (PSB 400 tis. buněk/ml) měly o 3,3 % vyšší produkci emisí oproti zdravým kravám. V jedné ze starších studií (Williams et al., 2013) je popsáno, že mastitida zvyšuje produkci emisí o 7 až 8 %.

První volbou pro terapii mastitid jsou antibiotika, jejichž přílišné používání stojí za rozvojem mikrobiálních rezistencí a výskytem reziduí antimikrobiotik v potravinách a přírodě. Kromě toho ale mohou mít dopad i na emise skleníkových plynů, protože mění složení mikroflóry v organismu léčeného zvířete. Tetracyklin a některá další širokospektrá antibiotika jsou obecně méně účinná proti metanogenním bakteriím, které při poklesu ostatní mikroflóry (citlivé na antibiotika), vítězí v boji o vodík a roste tak produkce metanu (Dridi et al., 2011; Khelaifia et Drancourt, 2012). Kvůli vzniku reziduí mají antibiotika také dopad na vnější ekosystémy. Například bylo prokázáno, že v hnoji krav léčených antibiotiky byla významně snížena přítomnost koprofágních brouků z čeledi chrobákovitých, což je ekologicky významná skupina hmyzu v mnoha prostředích. Koprofágní hmyz, zejména pak brouci, mají v ekosystému významnou roli – podílí se na odstraňování trusu, čímž přispívají k sekundárnímu roznosu semen, urychlení živinového koloběhu, snižují množství krev sajících much a výskyt nemocí jimi přenášených a redukují množství parazitů na pastvině (Nichols et al., 2008). Tato zjištění poukazují na jednu z negativních vlastností antibakteriálních léčiv: i když nejsou přímo toxická pro necílová zvířata, mohou mít řadu neočekávaných účinků tím, že mění mikrobiotu hospodářských zvířat (Hammer et al., 2016).

**Role precizního zemědělství ve snižování produkce skleníkových plynů**

Precizní zemědělství, někdy označováno také jako zemědělství 4.0, se vrací k přesně cílenému a individualizovanému přístupu k řízení ve všech oblastech zemědělské výroby, které je méně náročné na pracovní sílu a efektivnější díky integraci moderních technologií. Tento cílený přístup by měl umožnit nepřetržité sledování jednotlivých zvířat a rostlin, zvýšení produktivity a snížení vstupů v rámci celého zemědělského systému. Precizní zemědělství v podstatě usnadňuje uskutečnit správné věci na správném místě a ve správný čas. Existují dvě podskupiny precizního zemědělství. Jedna, aktuálně více prozkoumaná a lépe financovaná, se týká rostlinné výroby, a druhá, na kterou cílí i tato rešerše, je zaměřena na využívání technologií v chovech hospodářských zvířat (Cutress, 2020).

Hlavním cílem precizního zemědělství v oblasti živočišné výroby je učinit chov hospodářských zvířat ekonomicky, sociálně a environmentálně udržitelnější, čehož se snaží dosáhnout prostřednictvím monitoringu a interpretací chování zvířat a případnému individuálnímu přístupu k nim. Podle Kaufmanna (2015) by přijetí moderních technologií mohlo přispět k řešení dopadů chovu hospodářských zvířat na změnu klimatu. Intenzifikace může být rozumnou strategií při snižování emisí skleníkových plynů, jelikož znamená, že k dosažení stejné produkční úrovně stačí méně zvířat (Wall et al., 2010). Úspěšné intenzifikace lze dosáhnout prostřednictvím vylepšení genetiky zvířat, optimalizace krmení, přijetím technologií, které by umožňovaly přesné řízení reprodukce a včasný odhad poruch zdraví.

V literatuře existuje několik důkazů o účinnosti prvků precizního zemědělství na snížení celkové environmentální zátěže chovu hospodářských zvířat. Některé se týkají zlepšování mikroklimatu ve stájích prasat či drůbeže pomocí automatického řízení ventilace nebo systému pro monitoring prachu (Zhang et al., 2023; Demmers et al., 2015). Jak je popsáno výše, environmentální dopad lze snížit omezováním nežádoucích emisí, které vznikají, pokud se zvířata potýkají se zdravotními problémy. Velký potenciál precizního zemědělství tedy spočítá v systémech včasného varování, které dávají chovateli možnost jednat, jakmile se objeví první signály poškozeného zdraví nebo pohody zvířat (Dominiak et Kristensen, 2017). Jako příklad lze uvést využití technologií v reálném čase – senzory pro měření různých plynů ve stáji, real-time analyzátory složek mléka, senzory pro zaznamenávání aktivity, času přežvykování a žraní, nástroje obrazové analýzy, systém precizního krmení – které mohou výrazně zlepšit produkční výsledky i welfare zvířat a zároveň nepřímo minimalizovat environmentální stopu (van Hertem et al., 2017). Nástroje precizního krmení a monitoring krmného chování umožňuje krmnou dávku přesně nastavit tak, aby byly splněny energetické požadavky zvířat a zároveň se předcházelo jejich překrmování. Čas přežvykování je jasným ukazatelem pohody zvířat a snižuje se při akutním stresu, nemoci nebo vysoké hustotě obsazení ve stáji (Soriani et al., 2012). Senzory pro zaznamenávání aktivity slouží především k preciznímu řízení reprodukce (vyhledávání říje), ale také umožňují včas detekovat problémy s kulháním (Zhao et al., 2018). Bell et al. (2014) zjistili, že úspěšná produkce spojená s dobrým zdravím a plodností, by mohla snížit emise skleníkových plynů o 0,9 % na jednotku produktu. Kromě samotného snížení emisí má zachování dobrého zdraví další environmentální prospěch, protože udržování zvířat v dobrém zdravotním stavu může snížit používání antibiotik, což představuje účinný způsob k zabránění vzniku a šíření antimikrobiální rezistence (Thanner et al., 2016).

**Závěr**

Zemědělství se spolu se sektorem LUCF (změna ve využívání půdy a lesnictví) na celosvětové produkci emisí podílely zhruba 18 %. Bez započítání LUCF tento podíl činil12 %, ve státech EU pak 11 %. Samotná živočišná výroba se na celosvětové produkci skleníkových plynů podílí z 6 až 8 %, v rámci emisí vyprodukovaných v EU jsou to ale pouhá 3 %. Navíc se v EU v období  1990 až 2019 podařilo snížit emise ze zemědělství o cca 25 %. Za stejnou dobu naopak výrazně narostly emise z dopravy (o 65 % z lodní a letecké a o  26 % z pozemní) a LUCF (o 15 %). Zemědělství hraje zásadní roli v dostupnosti potravin a nejen v rozvojových zemích zastává také nezastupitelné socioekonomické funkce. Důležitá je rovněž role pastvin využívaných domestikovanými býložravci, protože jsou obrovským zdrojem fotosyntézy a ukládání uhlíku do půdy. Dále je potřeba připomenout, že emise metanu mají podle některých zdrojů mnohem nižší dopad, než se původně předpokládalo. I přes tato fakta je zemědělství a především odvětví živočišné výroby často vnímáno jako jeden z hlavních přispěvatelů ke globálnímu oteplování.

Cílem této rešerše bylo poukázat na různé možnosti snižování produkce emisí v chovech skotu. Nejčastěji se lze setkat se strategiemi založenými na úpravě výživy nebo podávání inhibitorů metanu. Velmi zajímavou cestou ke snížení emisí je také zaměření genetické selekce na dlouhověkost a intenzitu produkce metanu. Jako smysluplné se jeví dbát na zdraví zvířat, protože zvířata s poruchami zdraví přirozeně produkují více emisí. V dlouhodobém horizontu se chov zdravých a dlouhověkých zvířat s dobrou plodností projeví v nižší potřebě obměny stáda, což ve výsledku sníží i celkové emise. Dobrého zdraví a plodnosti lze docílit pomocí různých prvků precizního zemědělství, které monitorují chování a zdravotní stav zvířat prakticky neustále, což umožňuje chovatelům včas preventivně či léčebně zasáhnout.

**Literatura**

Agle, M., Hristov, A. N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P., Vaddella, V. K. 2010. Effect of dietary concentrate on rumen fermentation, digestibility, and nitrogen losses in dairy cows. *J. Dairy Sci*. 93, 4211–4222.

Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., Wang, M. 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*. 14(Suppl 1), s2–s16.

Bell, M. J., Garnsworthy, P. C., Stott, A. W., Pryce, J. E. 2014. Effects of changing cow production and fitness traits on profit and greenhouse gas emissions of UK dairy systems. *J. Agric. Sci*. 153, 138–151.

Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M., Yu, Z. 2016. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *Sci. Total Environ*. 545, 556–568.

Cutress, D. 2020. Can Precision Farming Help Mitigate Climate Change? *Farming Connect*. 1–8.

De Haas, Y., Veerkamp, R. F., De Jong, G., Aldridge, M. N. 2021. Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal*. 15, 100294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100294>.

Demmers, T.G.M., Tong, Q., Rooijakkers, L., Koenders, E. 2015. Monitoring dust concentration in broiler houses. Precision Livestock Farming 2015 - Papers Presented at the 7th European Conference on Precision Livestock Farming, *ECPLF*. 2015, 525–530.

Dominiak, K. N., Kristensen, A. R. 2017. Prioritizing alarms from sensor-based detection models in livestock production - a review onmodel performance and alarm reducing methods. *Comput. Electron. Agric*. 133, 46–67.

Dridi B, Fardeau M-L, Ollivier B, Raoult D, Drancourt M. 2011 The antimicrobial resistance pattern of cultured human methanogens reflects the unique phylogenetic position of archaea. *J. Antimicrob. Chemother*. 66, 2038–2044.

EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances usedin Animal Feed), Bampidis V. et al. 2021. Scientific Opinion on the safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer®10) for ruminants for milk production andreproduction (DSM Nutritional Products Ltd). *EFSA Journal.* 19(11):6905. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905>.

European Environmental Agency. 2023. Agriculture and food system. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/agriculture-and-food?size=n_10_n&filters%5B0%5D%5Bfield%5D=readingTime&filters%5B0%5D%5Btype%5D=any&filters%5B0%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D%5Bname%5D=All&filters%5B0%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D%5BrangeType%5D=fixed&filters%5B1%5D%5Bfield%5D=issued.date&filters%5B1%5D%5Btype%5D=any&filters%5B1%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D=Last%205%20years&filters%5B2%5D%5Bfield%5D=language&filters%5B2%5D%5Btype%5D=any&filters%5B2%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D=en>

Eurostat Statistics Explained. 2023. Glossary: Carbon dioxide equivalent. [https://ec.europa.eu/eurostat/](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent).

Garnsworthy, P. C. 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: A modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim. Feed Sci. Technol*. 112, 211–223.

Garnsworthy, P. C., Difford, G. F., Bell, M. J. et al. 2019. Comparison of methods to measure methane for use in genetic evaluation of dairy cattle. *Animals*. 9, 837. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9100837>.

Grace, D., Bett, B., Lindahl, J., Robinson, T. 2015. Climate and Livestock Disease: Assessing the Vulnerability of Agricultural Systems to Livestock Pests under Climate Change Scenarios. *CCAFS Working Paper*. CGSpace: Copenhagen, Denmark 29 s.

Gülzari, Ş. Ö., Ahmadi, B. V., Stott, A. W. 2018. Impact of subclinical mastitis on greenhouse gas emissions intensity and profitability of dairy cows in Norway. *Prev. Vet. Med*. 150, 19–29.

Hammer, T. J., Fierer, N., Hardwick, B. et al. 2016. Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. *Proc Biol Sci*. 283(1831):20160150. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0150>.

Hristov, A. N., Melgar, A. 2020. Short communication: Relationship of dry matter intake with enteric methane emission measured with the GreenFeed system in dairy cows receiving a diet without or with 3-nitrooxypropanol. *Animal*. 14(Suppl. 3), s484–s490.

Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, D., Arndt, C. 2022. Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *J. Dairy Sci*. 105, 8543–8557.

Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F. et al. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112, 10663–10668.

Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J. et al. 2013. Special topics - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of animal management mitigation options. *J. Anim. Sci*. 91, 5095–5113.

Jones, M. W., Peters, G. P., Gasser, T. et al. 2023. National contributions to climate change due to historical emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide. *Sci. Data*. <https://zenodo.org/records/7636699#.ZFCy4exBweZ>.

Kandel, P., Vanderick, S., Vanrobays, M.-L., Soyeurt, H., Gengler, N. 2018. Consequences of genetic selection for environmental impact traits on economically important traits in dairy cows. *Anim. Prod. Sci*. 58, 1779–1787.

Kaufmann, T., 2015. Sustainable livestock production: low emission farm - the innovative combination of nutrient, emission and waste management with special emphasis on Chinese pig production. *Anim. Nutr*. 1, 104–112.

Khelaifia S, Drancourt M. 2012 Susceptibility of archaea to antimicrobial agents: applications to clinical microbiology. *Clin. Microbiol. Infect*. 18, 841–848.

Lynch, J., Cain, M., Pierrehumbert, R., Allen, M. R. 2020. Demonstrating GWP: A means of reporting warmingequivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. *Environ. Res. Let*. 15. 044023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7e>.

Meissner, H. H., Blignaut, J. N., Smith, H. J., du Toit, C. J. L. 2023. The broad-based eco-economic impact of beef and dairy production: A global review. *S. Afr. J. Anim*. 53. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v53i2.11>.

Moss, A. R., Jouany, J. P., Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech*. 49, 231–253.

Mostert, P. F., van Middelaar, C. E., Bokkers, E. A. M., de Boer, I. J. M. 2018a. The impact of subclinical ketosis in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *J. Clean. Prod.* 171, 773–782.

Mostert, P.F., van Middelaar, C. E., de Boer, I. J. M., Bokkers, E. A. M. 2018b. The impact of foot lesions in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *Agric. Syst.* 167, 206–212.

Muller, R. A., Muller, E. A. 2017. Fugitive methane and the role of atmospheric half -life: An overview. *Geoinform. Geostat*. 5. 3. DOI: <https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000162>.

Niemann, H., Kuhla, B., Flachowsky, G. 2011. Perspectives for feed-efficient animal production. *J. Anim. Sci*. 89, 4344–4363.

Nichols, E., Spector, S., Louzada, J. et al. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv*. 141, 1461–1474.

Olijhoek D. W., Hellwing A. L. F., Brask M. et al. 2016. Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. J. Dairy Sci. 99, 6191–6205.

Our World in Data. 2023. Greenhouse gas emissions. <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>.

Pitta, D.W., Indugu, N., Melgar, A. et al. 2022. The effect of 3-nitrooxypropanol, a potent methane inhibitor, on ruminal microbial gene expression profiles in dairy cows. *Microbiome.* 10, 146. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01341-9>.

Poore, J., Nemecek, T. 2018. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 360, 987–992.

Smith, M. A., Cain, M., Allen, M. R. 2021. Further improvement of warming-equivalent emissions calculation. *Clim. Atmosph. Sci*. 4. 19. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00169-8>.

Soriani, N., Trevisi, E., Calamari, L. 2012. Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *J. Anim. Sci*. 90, 4544–4554.

Thanner, S., Drissner, D., Walsh, F. 2016. Antimicrobial resistance in agriculture. *MBio* 7, e02227-15. DOI: <https://doi.org/10.1128/mbio.02227-15>.

Tricarico, J. M., de Haas, Y., Hristov, A. N. et al. 2022. Symposium review: Development of a funding program to support research on enteric methane mitigation from ruminants. *J. Dairy Sci.* 105, 8535–8542.

Van Hertem, T., Rooijakkers, L., Berckmans, D., et al. 2017. Appropriate data visualisation is key to precision livestock farming acceptance. *Comput. Electron. Agric*. 138, 1–10.

von Soosten, D., Meyer, U., Flachowsky, G., Dänicke, S. 2020. Dairy cow health and greenhouse gas emission intensity. *Dairy*. 1, 20–29.

Wall, E., Simm, G., Moran, D. 2010. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal*. 4, 366–376.

Williams, A., Chatterton, J., Heately, G., Curwen, A., Elliot, J. 2013. The benefits of improving cattle health on environmental impacts and enhancing sustainability. *Sustainable intensification: The pathway to low carbon farming*. Edinburgh. 25–27.

Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H., Heissenhuber, A. 2012. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal*. 6, 154–166.

Zhang, G., Kai, P., Zong, C. 2013. Precision ventilation to improve indoor air quality and reduce ammonia emission of pig production housing. Precision Livestock Farming 2013 - Papers Presented at the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, *ECPLF.* 2013, 883–892.

Zhao, K., Bewley, J.M., He, D., Jin, X. 2018. Automatic lameness detection in dairy cattle based on leg swing analysis with an image processing technique. *Comput. Electron. Agric.* 148, 226–236.

**Zpracovala**: Ing. Magdaléna Štolcová, Ph.D., Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Přátelství 815, 104 00, Praha – Uhříněves, stolcova.magdalena@vuzv.cz