Mėsai auginamų galvijų sistemų ŠESD

Literatūros apžvalga

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija
apva

Leidinys parengtas įgyvendinant projektą „Klimato kaitos mažinimo advokacija žemės ūkyje“. Šis dokumentas finansuojamas Klimato kaitos programos lėšomis, kurią administruoja Aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūra.

Paveikslėliai, naudojami leidinyje, sugeneruoti naudojant dirbtinio intelekto įrankį.

Parengė VšĮ Baltijos aplinkos forumas, 2025

Cituoti: *Pamerneckytė G., Baltijos aplinkos forumas. (2025). Mėsai auginamų galvijų sistemų ŠESD: Literatūros apžvalga. https://bef.lt/?item_id=26689*

Pastaba: *Ši apžvalga nėra baigtinis dokumentas. Autoriai mano, kad visa reikalinga informacija apie ŠESD emisijas jautienos gamybos sistemose dar nėra iki galo surinkta ir prieinama vienoje vietoje. Šis dokumentas yra Baltijos aplinkos forumo komandos bandymas apibendrinti ir susisteminti šiuo metu prieinamus mokslinius duomenis. Kviečiame diskutuoti, teikti pastabas ir pasiūlymus – siekiame, kad šios temos supratimas toliau gilėtų bei būtų pagrįstas kuo tikslesniais ir išsamesniais duomenimis.*

Turinys

1. Įžanga *4*

2. Metodologija *4*

3. Apžvalgos rezultatai *5*

3.1 Tyrimų metodologijos ir kintamųjų įvairovė **5**

Skirtingi galvijų laikymo būdai **6**

3.1.1 Meta-analizės ir apžvalginiai straipsniai 7

3.2 ŠESD jautienos produkcijos sistemose **7**

3.2.1 Enterinis metanas ir pašarų įtaka emisijoms 7

3.2.2 Dirvožemio anglies sugėrimas 8

3.2.3 Pašarų tipo ir ganymo sistemų įtaka metano emisijoms 8

3.3 Individualių mokslinių tyrimų, demonstruojančių ganymo sistemų pranašumą pavyzdžiai **10**

3.3.1 Pavyzdys 1 10

3.3.2 Pavyzdys 2 10

3.3.3 Pavyzdys 3 11

3.3.4 Pavyzdys 4 11

4. Išvados *12*

5. Literatūros sąrašas *13*

Priedas 2 ..... *16*

Priedas 3 ..... *17*

1. Įžanga

Ši apžvalga analizuoja galvijų auginimo sistemų įtaką šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijoms. Apžvalgoje remiamasi moksliniais straipsniais apie ekstensyvias ganyklines bei intensyvias, grūdiniais pašarais grįstas, galvijų auginimo sistemas. Analizuojamas poveikis auginant mėsinius galvijus ir pieninius galvijus, kurie vėliau naudojami mėsai. Apžvalgoje remiamasi moksliniais tyrimais ir meta-analizėmis, kurios nagrinėja įvairius veiksnius, lemiančius jautienos gamybos ŠESD emisijas, įskaitant pašarų tipą, kokybę, ganymo praktiką, ganyklų anglies sugėrimą ir kaupimą, bei metano emisijų intensyvumą.

Dauguma nagrinėtų tyrimų rodo, kad grūdinio pagrindo pašarais šeriami, dažniausiai patalpose laikomi galvijai išskiria mažiau ŠESD vienam skerdienos kilogramui pagaminti, lyginant su žole šeriamų, ganomų galvijų skerdiena. Mokslininkai tokius skirtumus aiškina efektyvesniu grūdinių pašarų virškinimu ir trumpu gyvulių auginimo laikotarpiu. Tuo tarpu tyrimai, nagrinėjantys rotacines bei regeneracines ganymo sistemas, kur žole mintantys galvijai išskiria daugiau enterinio metano dėl žolės virškinamumo, rodo, kad pievų savybė sugerti ir kaupti anglį turi potencialo mažinti bendrą sistemos ŠESD kiekį, tačiau tai priklauso nuo konkrečių ūkininkavimo sąlygų ir valdymo metodų.

Į mūsų apžvalgą įtrauktos tyrimų šia tema meta-analizės rodo, kad skaičiuojant jautienos gamybos ŠESD balansą, ganyklų anglies sugėrimas bei kaupimas dažnai nėra (tinkamai) įvertinti, o tai gali iškreipti rezultatus.

2. Metodologija

Šios apžvalgos pagrindinis tikslas yra surinkti ir apibendrinti esamą informaciją apie mėsinių galvijų auginimo būdus ir jų išskiriamą ŠESD. Apžvalga remiasi moksliniais tyrimais, suteikia galimybę skaitytojui gilintis toliau.

Straipsnių paieškai buvo pasitelkta „*Google Scholar*“ paieškos platforma ir naudotos raktinės frazės, tokios kaip – *beef production systems* (jautienos gamybos sistemos), *beef greenhouse gas emissions* (jautienos šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos) *ir Beef production grazing/pasture vs. housing greenhouse gas* (jautienos gamyba: ganyklinės vs. tvartinės sistemos – ŠESD emisijos). Atrenkant straipsnius prioritetas teiktas naujesniems bei dažniau cituotiems moksliniams straipsniams. Į analizę neįtraukti straipsniai, kurių kontekstas visiškai neatitiko Lietuvos klimato, žemės ūkio realijų ar analizuojamų klausimų. Atrinktų mokslinių tyrimų analizės metu taikėme „sniego gniūžtės“ metodą. Taigi, atrinkti straipsniai tiria šias temas:

1) ŠESD emisijos galvijus ganant ganyklose arba juos šeriant grūdinio-pagrindo pašarais,
2) ŠESD emisijos skirtingose ganymo sistemose,
3) Meta-analizės ir apžvalginiai straipsniai apie ŠESD emisijas galvijininkystėje.

Išanalizuoti 64 reikšmingiausi straipsniai (Priedas 3). Šiai analizei atrinktų mokslinių tyrimų geografinis pasiskirstymas yra gan platus, tačiau dominuoja Šiaurės Amerikoje tirtos galvijų sistemos.

3. Apžvalgos rezultatai

3.1 Tyrimų metodologijos ir kintamųjų įvairovė

Analizuotuose moksliniuose straipsniuose dažniausiai naudojamas funkcinis vienetas nustatyti galvijų sistemos poveikį ŠESD yra **anglies dvideginio ekvivalentų kilogramais išskirtais kilogramui skerdenos ar gyvojo svorio pagaminti**. Tačiau tai kelia diskusijų, nes gali būti nepastebėti kiti svarbūs mėsos gamybos poveikiai.

Siekiant įvertinti su jautienos gamyba susijusias ŠESD emisijas procesuose – nuo veršelių gimimo iki skerdimo – daugelyje mokslinių straipsnių taikoma **gyvavimo ciklo vertinimo** (**GCV**, angl. *Life Cycle Assessment*) metodologija (Daesoo Kim et al., 2022; de Vries et al., 2015; Lynch, 2019; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022). Visuose peržiūrėtuose GCV tyrimuose, bei meta-analizėse pašarų gamybos emisijos yra įtrauktos į bendrus sistemų ŠESD skaičiavimus.

Daugelis tyrimų lygina jautienos gamybos sistemas pagal vieną ar kelis kriterijus – pavyzdžiui, šėrimo ar laikymo tipą – tačiau pačios sistemos dažnai skiriasi ir kitais esminiais aspektais, tokiais kaip veislė, gyvulių tankis, pašarų sudėtis ar gydymo praktikos. Dėl šių papildomų skirtumų tampa sudėtinga aiškiai atriboti konkretaus veiksnio įtaką ŠESD emisijoms net viename tyrime, o dar sudėtingiau – palyginti skirtingus tyrimus tarpusavyje. Tai apsunkina išvadų apibendrinimą ir tikslių rekomendacijų formulavimą.

Lentelė 1. Tiriamųjų objektų potencialūs kintamieji tarp tyrimų

Jautienos gamybos sistemų požymiai	**Variantai skirtinguose straipsniuose**
Tipas	Veršeliai iš pieninių bandų, mėsinių veislių veršeliai
Veislė	Angus, Hereford, Charolais, Simmental, Limousin, Nellore (Bos indicus), Senepol, Raramuri Criollo.
Laikymo pobūdis	Šėryklos, tvartai, nuolatinis ganymas, regeneracinis ganymas, rotacinis ganymas, ekstensyvus ganymas
Hormoniniai priedai	Taikoma (skirtingi intensyvumai), netaikoma
Gyvulių skaičius bandoje	-
Pašarų sudėtis	Žoliniai pašarai (žolė, šienas, silosas), koncentruoti pašarai (iš grūdų, baltyminių rupinių ir aliejų (gaunamų sutraiškius aliejinius augalus).

Skirtingi galvijų laikymo būdai

- **Šėryklos**: Intensyvi gyvulininkystės sistema, kur galvijai laikomi uždarose, dažniausiai betoninėse aikštelėse, kur jiems tiekiama specialiai paruošti pašarų mišiniai. Tai leidžia greitai pasiekti augimo tikslus, tačiau turi neigiamą poveikį aplinkai ir gyvūnų gerovei.
- **Tvartai**: Galvijai laikomi uždaruose pastatuose, kuriuose kontroliuojama temperatūra, drėgmė ir pašarai, išleidžiami pasivaikščioti į mažas aikšteles lauke. Tvartų sistema užtikrina apsaugą nuo laukinių gyvūnų, tačiau riboja galvijų natūralų elgesį.
- **Nuolatinis ganymas**: Galvijai nuolat ganosi atvirose pievose, nesikišant į ganymo procesą, nekontroliuojant kuriose ganyklos vietose gyvuliai leidžia daugiau laiko t.t.. Tai natūralesnė sistema, tačiau gali lemti pievų degradaciją nuo perteklinio ganymo/perganymo, ar eroziją
- **Regeneracinis ganymas**: Tai holistinis požiūris, kuriame galvijų ganymas yra tik viena iš priemonių dirvožemio sveikatos gerinimui. Regeneracinis ganymas siekia ne tik apsaugoti pievas, bet ir atgaivinti dirvožemį, skatinti biologinį aktyvumą ir anglies kaupimą. Tai dažnai apima daugiau inovatyvių praktikos ir tvarumo principų nei paprastas rotacinis ganymas.
- **Rotacinis ganymas**: Tai sistema, kai galvijai nuosekliai perkeliami iš vienos ganyklos į kitą pagal nustatytą grafiką, kad būtų užtikrintas pievų atsinaujinimas. Ganyklos po vieno naudojimo turi laiko atsistatyti, tačiau šio metodo pagrindinis tikslas – optimizuoti gyvulių pašarų naudojimą ir išvengti pievų degradacijos nuo perteklinio ganymo/perganymo.

Teksto intarpas 1. Skirtingi galvijų laikymo būdai

Kai kurie moksliniai tyrimai lygina grūdinio pagrindo pašarais su žolinio pagrindo pašarais šeriamų galvijų sistemas, kiti pamini, jog „koncentratai taip pat buvo įtraukti į žolėmis šeriamų bandų racioną“, bet nepateikia mišrių pašarų sudėties proporcijų. Dar kiti tyrimai lygina skirtingus jautienos gamybos etapus, kuriuose naudojami skirtingi pašarai.

ŠESD galvijų sistemose tyrimai dažniausiai remiasi IPCC (Tarptautinės klimato kaitos ekspertų grupės) duomenimis, integruodami juos į savo modelius, skaičiavimus ar analizės metodikas – tai padidina rezultatų palyginamumą tarp skirtingų tyrimų, šalių ar sektorių. IPCC siūlo kelias emisijų skaičiavimo imtis (ang. *Tier*), iš kurių dažniausiai naudojamos imtis 1 ir imtis 2: pirmoji taiko bendruosius koeficientus, o antroji turi išvystytas konkrečioms sąlygoms pritaikytas metodologijas ir formules, į kurias tyrinėtojai gali įstatyti konkrečius jų kontekstą atitinkančius skaičius (IPCC, 2006).

3.1.1 Meta-analizės ir apžvalginiai straipsniai

Iš atrinktų straipsnių, septyni buvo meta-analizės, leidžiančios įvertinti ŠESD tendencijas remiantis daugelio tyrimų duomenimis – tai užtikrina didesnį apibendrinimo ir patikimumo lygį. Keturios meta-analizės lygino pramonines jautienos gamybos sistemas su ganymo pagrindu veikiančiomis sistemomis, vertinant jų ŠESD emisijas (Cusack et al., 2021; Daesoo Kim et al., 2022; de Vries et al., 2015; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022; Veysset et al., 2014). Šie tyrimai apėmė įvairius pašarų tipus, šėrimo intensyvumą, anglies srautų įtraukimą bei regioninius skirtumus. Jie analizavo dešimtis pirminių tyrimų, siekdami įvertinti bendras tendencijas ir nustatyti pagrindinius veiksnius, lemiančius emisijų kiekius jautienos gamyboje. Jordon et al. (2022) literatūros apžvalga tyrė mokslinius darbus apie rotacinį ganymą ir daugiamečių žolinių mišinių taikymą pievose bei jų poveikį galvijų sistemų ŠESD. Septintoji meta-analizė (Ren et al., 2024) apėmė 1 473 stebėjimus apie dirvožemio anglies pokyčius ganymą taikančiose sistemose visame pasaulyje, vertindama ganymo intensyvumo ir aplinkos veiksnių sąveiką bei jų įtaką anglies sugėrimui bei kaupimui.

Meta-analizė/apžvalginis straipsnis	**Apžvelgtų tyrimų skaičius**
De Vries et al. (2015)	14 tyrimų
Pishgar-Komleh & Beldman (2022)	21 tyrimas
Cusack et al. (2021)	57 tyrimai (292 lyginti ūkiai)
Daesoo Kim et al. (2022)	57 cituoti šaltiniai
Veysset et al. (2014)	59 ūkiai
Jordon et al. (2022)	115 ūkių
Ren et al. (2024)	1473 stebėtų ganyklų

3.2 ŠESD jautienos produkcijos sistemose

3.2.1 Enterinis metanas ir pašarų įtaka emisijoms

Daugumoje straipsnių pabrėžiama, kad ŠESD emisijų vertinimas skirtingose jautienos gamybos sistemose yra sudėtingas ir neturėtų būti supaprastintas. Ši situacija atsispindi tyrimų rezultatų įvairovėje bei taikomose metodologijose.

Moksliniai tyrimai rodo, kad metanas sudaro didžiausią galvijų auginimo / laikymo išskiriamų ŠESD proporciją (35–66 %), ir demonstruoja, kad pašaro sudėtis bei kokybė yra pagrindinis enterinio metano kiekius lemiantis faktorius, ir žoliniais pašarais (ypač prastesnės kokybės) šeriami galvijai išskiria daugiau metano per skerdienos kilogramą, nei šeriami grūdiniais pašarais (Capper, 2012; Cusack et al., 2021; de Vries et al., 2015; Hristov et al., 2013; Jordon et al., 2022; Klopatek et al., 2022; Leip et al., 2010; Mogensen et al., 2015; Nguyen et al., 2010; Opio et al., 2013; Pam Iwanchysko, 2019; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022). Skirtingas pašarų virškinamumas ir metano konversijos koeficientai lemia didelius išskiriamo metano kiekio skirtumus, kai lyginame ganomus ir šėryklose šeriamus galvijus. Koeficientų pavyzdžiai Priedas 2.

Remiantis meta-analizėmis ir apžvalginiais straipsniais, dauguma tyrimų rodo, kad intensyvios gyvulininkystės sistemos, pagrįstos grūdinės kilmės pašarais, dažnai pasižymi mažesnėmis ŠESD emisijomis nei ganomų galvijų sistemos, ypač kai į skaičiavimus neįtraukiamas

dirvožemio anglies kaupimo procesas (Cusack et al., 2021; Daesoo Kim et al., 2022). Nors galvijų sistemų intensyvinimas dažnai sumažina emisijas dėl trumpesnio gamybos ciklo, tai neapima visų ŠESD srautų. Tokios sistemos dažnai priklauso nuo iškastinio kuro bei trąšų.

3.2.2 Dirvožemio anglies sugėrimas

Nors didelis analizuotų mokslinių tyrimų skaičius bent pamini dirvos bei augalijos anglies sugėrimą ir kaupimą, visi šie mokslininkai sutinka, jog tai labai kompleksiškas ir menkai ištirtas procesas. Anglies sugėrimas ganyklų dirvožemyje – tai procesas, kurio metu ganyklose augantys augalai per fotosintezę sugeria anglies dioksidą iš atmosferos ir kaupia anglį savo biomasėje bei dirvožemyje. Tinkamai valdomos ganyklos, gali padidinti dirvožemio organinės anglies kiekį ir taip prisidėti prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo. Anglies sugėrimo bei kaupimo rodikliai priklauso nuo klimato, gyvulių tankumo, žolės tipo, azoto prieinamumo ir žemės naudojimo istorijos (Paustian et al., n.d.) Pavyzdžiui, regeneracinis ganymas degraduotose pievose gali paskatinti spartų anglies kaupimą, tačiau brandžiose pievose anglies balansas gali būti artimas nuliui, nes potencialas jau išnaudotas (Garnett et al., 2017).

Dirvos anglies pokyčiai priklauso nuo vietovės, aplinkos ir antropogeninių aplinkybių, žemės ploto būsenos, buvusios ir esamos paskirties ir valdymo (Hristov et al., 2013). **Dažnas lyginamasis mokslinis straipsnis dirvos anglies balansą fiksuoja, kaip pasiekusį pusiausvyrą, ar kaip nepakankamai ištirtą sritį ir dėl to šio proceso neįtraukia į ūkio ŠESD apskaitą** (Capper, 2012; de Vries et al., 2015). De Vries et al. (2015) skirtingais pašarais šeriamų galvijų ŠESD palyginimų meta-analizėje, tik vienas mokslinis darbas įtraukė dirvos anglies sugėrimo procesą. Kitos dvi meta-analizės (Lynch, 2019; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022) dėl tyrimų atsižvelgiančių į anglies sugėrimą stokos, šio proceso į savo analizes iš viso neįtraukė. Meta-analizėje įtraukusioje anglies sugėrimo temą (Cusack et al., 2021), iš 290 galvijų auginimo būdų ŠESD palyginimų, vos 69 šį procesą įskaičiavo. Literatūros apžvalga, tyrinėjuusi rotacinį ganymą ir daugiamečių žolinių mišinių taikymą pievose, analizavo šių ganymo aspektų įtaką anglies sugėrimui dirvožemyje (Jordon et al., 2022).

Apibendrinant, anglies sugėrimas bei kaupimas dirvožemyje dažnai lieka neįvertinti dėl sudėtingumo ir duomenų stokos, nors jie gali reikšmingai paveikti bendrą emisijų balansą.

3.2.3 Pašarų tipo ir ganymo sistemų įtaka metano emisijoms

Ganymu grindžiamos ir regeneracinės sistemos

Įtraukus dirvožemio anglies sugėrimo bei kaupimo veiksnius, dalis tyrimų nustatė, kad žoline mityba grindžiamos arba regeneracinės sistemos gali būti emisijų požiūriu konkurencingos ar net pranašesnės (de Vries et al., 2015; Jordon et al., 2022; National Trust, 2012; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022; Rowntree et al., 2016; Stanley et al., 2018).

Žoliniais pašarais šeriamų galvijų ŠESD emisijos ir enterinio metano išsiskyrimas priklauso nuo pašarinių pievų produktyvumo, galvijų veislės ir priežiūros sprendimų. Netinkamai valdomas

ganymas gali nualinti pievas ir paskatinti dirvožemyje sukauptos anglies praradimą (Ren et al., 2024), o sveikos, produktyvios ganyklos – ypač taikant gerai suplanuotą rotacinį ar regeneracinį ganymą – gali reikšmingai mažinti emisijas. Taigi, gerai valdomose ganymo sistemose gerėja pašaro kokybė, spartėja galvijų augimas ir mažėja enterinis metano išsiskyrimas (Beauchemin et al., 2011a; Daesoo Kim et al., 2022; Hristov et al., 2013; Jordon et al., 2022; Lynch, 2019; Mosier et al., 2021; Opio et al., 2013; Pishgar-Komleh & Beldman, 2022; Stanley et al., 2018).

Be to, šviežias pašaras, gautas tiesiai iš ganyklos, dažnai yra geresnės kokybės nei šienas ar silosas (Leip et al., 2010), o jo kokybę galima dar pagerinti integruojant ankštinius augalus (Hristov et al., 2013; Rivero et al., 2024). Pastebėta, kad ekologiniai ūkiai išskiria šiek tiek (statistiškai nežymiai) mažiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų, daugiausia - dėl mažesnių emisijų pašarų gamyboje ir didesnio vietinių, neperdirbtų žolinių pašarų naudojimo, kurie mažina CO_2 ir N_2O emisijas, nors metano emisijos gali būti šiek tiek didesnės (Pishgar-Komleh & Beldman, 2022).

Ganomų galvijų mėšlas, priešingai nei skystas ar saugomas mėšlas, paprastai sukelia mažesnį CH_4 išsiskyrimą (IPCC, 2006).

Rotacinis ganymas ir anglies kaupimas dirvožemyje

Vienas iš daug žadančių ganymo metodų – rotacinis ganymas, leidžiantis ganykloms pailsėti, intensyvinti fotosintezę, suaktyvinti dirvožemio mikrobiologinius procesus, skatinti augalų ataugimą ir šaknų vystymąsi bei formuoti storesnį dirvožemio organinių medžiagų sluoksnį, prisidedantį prie ilgalaikio anglies sugėrimo (Beauchemin et al., 2011b; Conant et al., 2001; Jordon et al., 2022; MacHmuller et al., 2015; Ren et al., 2024; Rivero et al., 2024; Rowntree et al., 2016; Soussana et al., 2004; Stanley et al., 2018; Teague et al., 2011; Wang et al., 2015). Tačiau, kaip jau minėta, anglies kaupimo potencialas priklauso nuo vietinių dirvožemio, klimato ir apkrovos sąlygų – kai kuriose ekosistemose kaupimo poveikis gali būti ribotas.

Rivero et al. (2024) pažymi, kad rotacinio ganymo metu galvijai mažiau selektyviai renkasi pašarą, todėl, nors individualus gyvulių svorio prieaugis gali būti mažesnis, visų augalų rūšių augimas suintensyvėja, o sausosios medžiagos produkcija padidėja net 38 %.

Rotacinis ganymas taip pat leidžia tolygiau pasiskirstyti galvijų šlapimui dirvožemyje, optimizuojant azoto naudojimą ir sumažinant N_2O emisijas (Beauchemin et al., 2011b; Rowntree et al., 2016; Stanley et al., 2018). Be to, tokia sistema gali padėti sumažinti sintetinių trąšų poreikį, o tai dar labiau mažina emisijas (Garnett et al., 2017; Rowntree et al., 2016).

Verta atkreipti dėmesį ir į plačiai taikomų metodologijų tikslumą (Ren et al., 2024; Stanley et al., 2018). Ren et al. (2024) parodė, jų modelis, kuris yra paremtas beveik pusantro tūkstančio ganyklų anglies kaupimo stebėjimo porų duomenimis, generuoja kitokius ganymo įtakos ganyklų anglies kaupimus skaičius. Pavyzdžiui borealiniuose regionuose, kur ganymo intensyvumas yra mažas arba vidutinis, Ren et al. (2024) skaičiavimai rodo tendenciją priešingą IPCC 1-ma imtimi paremtiems skaičiavimams – dirvožemio anglies atsargos didėja, nors IPCC remtos prognozės rodo nežymų mažėjimą. Stanley et al. (2018) ūkiuose įdiegta įranga, taip pat demonstravo net 36% mažesnius išskiriamo metano kiekius.

Tai lemia tai, kad dažnai taikomi, IPCC 1-os imties, rodikliai neatsižvelgia į specifines sąlygas ir kompleksišką ganymo poveikį. Remiantis lauko stebėjimais, dirvožemio anglies kiekis didėja su ganymo intensyvumu iki tam tikro maksimumo, o vėliau, peržengus slenkstį, anglies sugėrimo intensyvumas mažėja. Šie slenksčiai ir maksimumai labai priklauso nuo ekoregionų, žemės naudojimo istorijos ir biotinių bei abiotinių veiksnių (Ren et al., 2024).

3.3 Individualių mokslinių tyrimų, demonstruojančių ganymo sistemų pranašumą pavyzdžiai

Nors ganymas turi potencialą išskirti mažiau ŠESD ar net pasiekti neigiamą balansą (išskiria mažiau ŠESD nei sugeria), tai demonstruojančių mokslinių tyrimų yra publikuota mažai, o jų metodologijos - skiriasi. Šiame skyriuje detaliau analizuojame keletą mokslinių darbų, kuriuose galvijų ganymo sistemų ŠESD yra mažesnės nei grūdiniais pašarais šeriamų ar įprastai ganomų galvijų sistemos.

3.3.1 Pavyzdys 1

Jungtinės Karalystės gamtosaugos organizacija „*National Trust*“ atliko tyrimą (nerecenzuotą), kuriame palygino įprastas pusiau intensyvias, ekstensyvias bei ekologiškas jautienos gamybos sistemas, įskaičiuojant ganyklų anglies sugėrimą (National Trust, 2012). Tyrime buvo naudoti šie anglies kaupimo kiekiai skirtingo tipo ganykloms: 0,24 t C/ha/metus nuolatinėms pievoms visuose ūkiuose; pereinant nuo įprastinio prie ekologinio ūkininkavimo, dirvožemio anglies kiekis didėja sparčiau per 20 metų laikotarpį; 0,42 t C/ha/metus pievose ir 0,55 t C/ha/metus ariamuose laukuose. Mažiausi ŠESD kiekiai buvo nustatyti ekstensyviuose įprastiniuose ūkiuose, nenaudojančiuose didelių kiekių baltyminių pašarų ar trąšų, pasiekiančiuose didesnį jautienos gamybos našumą bei mažesnes enterines emisijas. Pavyzdžiui, vienas iš šių ūkių, buvo tradicinis mėsinių galvijų mišrus ūkis, kuriame galvijai ganosi ganyklose, ir yra papildomai šeriami saikingais kiekiais bulvių ir cukrinių runkelių išspaudų, pasižyminčių mažais CO_2 ekvivalento rodikliais. Mėšlas šiame ūkyje yra perduodamas augalininkystės ūkiams, taip perkeliant mėšlo sukuriamas emisijas. Daugiausiai ŠESD išskyręs ūkis (pusiau intensyvus) turėjo skaitlingesnę bandą, kurios gyvuliai dėl veislės savybių brendo lėčiau, todėl reikėjo daugiau pašarų, didėjo enterinės bei mėšlo tvarkymo emisijos. **Visi šie veiksniai lėmė, kad prasčiausiai pasirodęs ūkis išskyrė 30 kg CO_2e/kg gyvojo svorio ŠESD, o mažiausiai taršus ūkis išskyrė vos 0,8 kg CO_2e/kg gyvojo svorio.** Visgi, šiame tyrime trūksta aiškaus ŠESD skaičiavimo metodikos bei išsamių ūkių aprašymų.

3.3.2 Pavyzdys 2

Presumido et al. (2020) tyrimas Portugalijoje lygino ŠESD kiekį pusiau intensyvioje galvijų sistemoje (SIS) ir ekstensyvioje ekologiškoje sistemoje (EOS). SIS gyvuliai buvo šeriami vietiniu šienu ir koncentratais, o EOS galvijai buvo šeriami „ganykloje ir ūkyje išaugintais pašarais, daugiausia - iš šiaudų ir šieno, ir taip pat naudojant komercinius koncentratus“ (Presumido et al., 2020). Taigi, net ir EOS sistema nėra vien ganyklinė,

bet pašarų sudėties santykiai tyrime nepateikti. Abiejų sistemų ganyklos buvo tręšiamos kas 2–3 metus. Skirtingai nei daugelyje kitų tyrimų, šiame tyrime enterinio metano emisijos buvo 25 % didesnės SIS sistemoje, ir bendros CO_2e emisijos siekė 22,3 kg CO_2-eq/kg skerdienos SIS atveju ir 16,4 kg CO_2-eq/kg skerdienos - EOS. Neaišku, ar tyrimas įtraukė anglies sugėrimą ganyklose, taip pat kokios pagrindinės priežastys lėmė geresnius EOS sistemos rezultatus. Viena iš galimų priežasčių galėtų būti EOS pašaro racione esantys koncentruoti pašarai. Tyrimas nepateikia pakankamai detalaus ŠESD emisijų vertinimo metodikos aprašymo ar aiškios ūkių tipologijos analizės, kad būtų galima daryti patikimesnes išvadas.

3.3.3 Pavyzdys 3

JAV Aukštutinio Vidurio Vakarų regione atliktas mokslinis tyrimas, lyginęs jautienos auginimo baigiamuosius etapus rotacinio ganymo ir šėrimo tvartuose (ang. *feedlot*) , nustatė, neigiamą CO_2e balansą (−6,65 kg CO_2-e/kg skerdienos) rotacinio ganymo jautienos sistemoje (be trąšų) (Stanley et al., 2018). Tvarte užaugintų galvijų skerdenų svoris buvo 45 % didesnis nei rotacinio ganymo galvijų (atitinkamai 405 kg ir 280 kg), ir pastarieji išskyrė dvigubai daugiau enterinio metano, o bendros ŠESD emisijos siekė 6,09 ir 9,62 kg CO_2-e/kg skerdienos, atitinkamai tvarte šeriamų ir ganyklose auginamų galvijų atveju. Keturių metų ganyklų anglies sugėrimo intensyvumas siekė 3,59 Mg C/ha per metus, įtraukus ir į ganyklas sugertus anglies kiekius, rotacinio ganymo ŠESD siekė −6,65 kg CO_2-e/kg, o tvarto - 6,12 skerdienos. Nors nėra aišku, kiek ilgai ganyklos aktyviai kaups anglį, mokslininkai daro prielaidą, kad šis procesas, galimai ir lėtesniu tempu, tęsis dar bent keletą metų. Enterinio metano emisijos buvo matuojamos ūkyje naudojant įdiegtą įrangą, kurių rezultatai parodė 36 % mažesnes metano emisijas nei apskaičiuotas pagal IPCC numatytas formules. Mokslininkai pripažįsta, kad plečiant gerai valdomas ganyklines jautienos gamybos praktikas, bendras jautienos gamybos kiekis regioniniu mastu sumažėtų, tačiau tai būtų pateisinama dėl aplinkosauginių naudų.

3.3.4 Pavyzdys 4

Rowntree et al. (2016) atliko GCT tyrimą lyginantį dvi ganymo sistemas. Į jį, įtraukė ganyklų anglies sugėrimą, pritaikydami tris skirtingus anglies sugėrimo ganyklose intensyvumus, -3, 0, 3 Mg C/ha per metus. Mičigano valstijoje, JAV, mokslininkai lygino dvi ganymo sistemas: 1) rotuojamą, ekstensyvią (1 gyvulys/ha), didelės apkrovos (100 000 kg gyvo svorio/ha/ dieną) ganymo sistema, kai laukai nelaistomi; 2) 2,5 gyvulių/ha, mažos apkrovos (30 000 kg gyvo svorio/ha/ dieną) ganymo sistema, kai laukai laistomi. ŠESD skaičiavimuose pritaikant didžiausią anglies sugėrimo dirvožemyje intensyvumą (3 Mg C/ha), rotacinio ganymo sistemoje buvo suskaičiuotas neigiamas ŠESD balansas (išreikštas -2,11 Mg C/ha per metus). Net ir su neutraliu ar neigiamu (kai anglis yra išskiriama intensyviau nei sugeriama) anglies sugėrimo dirvožemyje intensyvumu, suskaičiuotas ŠESD balansas rotacinio ganymo sistemoje buvo žemesnis nei nuolatinėse ganyklose. Mokslininkai atliko skaičiavimus tiek pagal IPCC 1 imties (Tier 1) duomenis, tiek ir naudojant duomenis gautus tiesiogiai ūkyje. Rezultatai skyrėsi. Tyrėjai daro išvadą, kad gerai valdoma ganomų galvijų

auginimo sistema gali reikšmingai prisidėti prie jautienos anglies pėdsako mažinimo ir kad IPCC formulės neatspindi visų galimų situacijų.

4. Išvados

Ši literatūros apžvalga atskleidė, kad jautienos gamybos ŠESD emisijų vertinimai labai priklauso nuo pasirinktų metodologijų, funkcinių vienetų ir analizuojamų kintamųjų. Dauguma tyrimų naudoja gyvavimo ciklo vertinimo metodologiją bei IPCC gaires, tačiau tiek emisijų apskaičiavimo lygmenys, tiek įtraukiami duomenys – ypač apie pašarų gamybą, anglies sugėrimą ir mėšlo tvarkymą – tarp tyrimų labai skiriasi. Nors dažniausiai kaip funkcinis vienetas naudojamas ŠESD kiekis vienam skerdenos kilogramui, tai gali užgožti kitus svarbius sistemų skirtumus ar poveikius.

Dauguma tyrimų neįtraukia dirvožemio anglies sugėrimo, ir dažnai nustatoma, kad grūdinių pašarų pagrindu šeriamų, intensyvių sistemų ŠESD emisijos yra mažesnės, nes šios sistemos pasižymi greitesniu prieaugiu ir trumpesniu gyvulio gyvenimo ciklu. Vis dėlto, tokie rezultatai neatskleidžia viso poveikio masto, ypač kai ignoruojamas potencialus anglies kaupimas ganyklose.

Lyginant grūdinio pagrindo pašarais šeriamų galvijų ir ganyklines jautienos gamybos sistemas, yra tyrimų, nustačiusių, kad ganomų galvijų sistemos sukelia mažesnes tiesiogines emisijas, kai įvertinamas anglies sugėrimas dirvožemyje. Vis dėlto, rezultatai nėra vienareikšmiai – reikšmingą poveikį turi pašarų sudėtis, ganymo intensyvumas, klimato zona, dirvožemio tipas ir kiti agroekologiniai veiksniai. Tačiau ganyklų anglies sugėrimo potencialas kol kas vis dar yra menkai ištirtas ir sunkiai įtraukiamas į kiekybinius vertinimus. Tuo tarpu netinkamai valdomas ganymas ar per didelė gyvulių koncentracija gali lemti neigiamą poveikį dirvožemiui ir emisijų padidėjimą.

Reikšminga problema išlieka tyrimų duomenų nepakankamumas apie konkrečias pašarų proporcijas, mišrias sistemas ir vietinius veiksnius. ŠESD skaičiavimai dažnai apsiriboja emisijomis gyvavimo ciklo pradžioje arba tik iki gyvulio skerdimo, neįtraukiant platesnių socialinių, ekonominių ar ekosisteminių poveikių. Todėl svarbu, kad būsimuose tyrimuose būtų įtraukiami platesni duomenys, įskaitant dirvožemio anglies balansą, poveikį bioįvairovei, ekosistemoms bei sistemų atsparumą klimato kaitai.

Atsižvelgiant į tai, tvarios jautienos gamybos vertinimui būtina visapusiškai analizuoti ne tik emisijas vienam produkcijos vienetui, bet ir anglies kaupimo potencialą, pašarų kilmę bei ūkininkavimo praktikų poveikį ilguoju laikotarpiu. Regeneracinės ir rotacinio ganymo sistemos pasirodo turinčios didelį potencialą mažinti ŠESD emisijas ir didinti anglies sugėrimą bei kaupimą ganyklose, tačiau tam reikia nuoseklių, vietos sąlygas atspindinčių tyrimų bei harmonizuotos metodikos.

5. Literatūros sąrašas

Beauchemin, K. A., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2011a). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, *166–167*, 663–677. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047

Beauchemin, K. A., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2011b). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, *166–167*, 663–677. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047

Capper, J. L. (2012). Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals*, *2*(2), 127–143. https://doi.org/10.3390/ani2020127

Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, *11*(2), 343–355. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2

Cusack, D. F., Kazanski, C. E., Hedgpeth, A., Chow, K., Cordeiro, A. L., Karpman, J., & Ryals, R. (2021). Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. In *Global Change Biology* (Vol. 27, Issue 9, pp. 1721–1736). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/gcb.15509

Daesoo Kim, Max Burns, Emily Moberg, & Greg Thoma. (2022). Measuring and Mitigating GHGs- Beef. In *WWF*.

de Vries, M., van Middelaar, C. E., & de Boer, I. J. M. (2015). Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. In *Livestock Science* (Vol. 178, pp. 279–288). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.020

Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Röös, E., Smith, P., De Boer, I., Zu Ermgassen, E., Herrero, M., Van Middelaar, C., Schader, C., & Van Zanten, H. (2017). *Grazed and confused?*

Hristov, A. N. , Oh, J. , L. C. , Meinen, R. , Montes, F. , Ott, T. , Firkins, J. , Rotz, A. , Dell, C. , Adesogan, A. , Yang, W. , Tricarico, J. , Kebreab, E. , Waghorn, G. , Dijkstra, J. , & & Oosting, S. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production : a review of technical options for non-CO_2 emissions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (L. B. K. M. T. N. and K. T. Simon Eggleston, Ed.). Institute for Global Environmental Strategies.

Jordon, M. W., Willis, K. J., Bürkner, P. C., & Petrokofsky, G. (2022). Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *337*. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108075

Klopatek, S. C., Marvinney, E., Duarte, T., Kendall, A., Yang, X. (Crystal), & Oltjen, J. W. (2022). Grass-fed vs. grain-fed beef systems: Performance, economic, and environmental trade-offs. *Journal of Animal Science*, *100*(2). https://doi.org/10.1093/jas/skab374

Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S., & Biala, K. (2010). *Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS)-Final report-Administrative Arrangements*. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Franz_Mark-The_Yellow_Cow-1911.jpg

Lynch, J. (2019). Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 76, pp. 69–78). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.003

MacHmuller, M. B., Kramer, M. G., Cyle, T. K., Hill, N., Hancock, D., & Thompson, A. (2015). Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter. *Nature Communications*, *6*. https://doi.org/10.1038/ncomms7995

Mogensen, L., Kristensen, T., Nielsen, N. I., Spleth, P., Henriksson, M., Swensson, C., Hessle, A., & Vestergaard, M. (2015). Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livestock Science*, *174*, 126–143. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.01.021

Mosier, S., Apfelbaum, S., Byck, P., Calderon, F., Teague, R., Thompson, R., & Cotrufo, M. F. (2021). Adaptive multi-paddock grazing enhances soil carbon and nitrogen stocks and stabilization through mineral association in southeastern U.S. grazing lands. *Journal of Environmental Management*, *288*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112409

National Trust. (2012). *What's your beef?*

Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2010). Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production*, *18*(8), 756–766. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.12.023

Opio, C. , Gerber, P. , Mottet, A. , Falcucci, A. , Tempio, G. , MacLeod, M. , Vellinga, T. , Henderson, B., & & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains A global life cycle assessment*.

Pam Iwanchysko. (2019). *Planned Grazing RD 1 Measuring the impact of planned grazing on forage, soil , and livestock productivity*.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., Smith, P., & Kellogg, W. K. (n.d.). *"Climate-smart" soils: a new management paradigm for global agriculture Preface*.

Pishgar-Komleh, S. H., & Beldman, A. (2022). *Literature review of beef production systems in Europe*. www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Presumido, P. H., Sousa, F., Gonçalves, A., Bosco, T. C. D., & Feliciano, M. (2020). Environmental sustainability in beef production and life cycle assessment as a tool for analysis. In *U.Porto Journal of Engineering* (Vol. 6, Issue 1, pp. 11–25). Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia. https://doi.org/10.24840/2183-6493_006.001_0002

Ren, S., Terrer, C., Li, J., Cao, Y., Yang, S., & Liu, D. (2024). Historical impacts of grazing on carbon stocks and climate mitigation opportunities. *Nature Climate Change*, *14*(4), 380–386. https://doi.org/10.1038/s41558-024-01957-9

Rivero, J., Daniel, J., & Lee, M. (2024). *INTERIM TECHNICAL REPORT: EVALUATING CELL GRAZING VERSUS SET STOCKING-IMPACTS ON FARM PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY RESEARCHERS: REPORT CONTRIBUTOR*.

Rowntree, J. E., Ryals, R., Delonge, M. S., Teague, W. R., Chiavegato, M. B., Byck, P., Wang, T., & Xu, S. (2016). Potential mitigation of midwest grass-finished beef production emissions with soil carbon sequestration in the United States of America. In *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Socie-ty* (Vol. 4, Issue 3). APA.

Soussana, J.-F., Soussana, J.-F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., & Arrouays, D. (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, *20*(2), 219–230. https://doi.org/10.1079/sum2003234

Stanley, P. L., Rowntree, J. E., Beede, D. K., DeLonge, M. S., & Hamm, M. W. (2018). Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef

finishing systems. *Agricultural Systems*, *162*, 249–258. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.003

Steinfeld, H., Gerber, P. Wassenaar, T. D. Castel, & V. de Haan, C. (2010). *Livestocks long shadow*.

Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., & Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *141*(3–4), 310–322. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009

Veysset, P., Lherm, M., Bébin, D., Roulenc, M., & Benoit, M. (2014). Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *188*, 180–191. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.003

Wang, T., Richard Teague, W., Park, S. C., & Bevers, S. (2015). GHG mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern Great Plains. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(10), 13500–13521. https://doi.org/10.3390/su71013500

Priedas 2

Galvijų pašarų virškinamumas skiriasi: 50–60 % vartojant derliaus likučius ar natūralias žoles, 60–70 % – kai šeriama geros kokybės pievų žole, konservuotais pašarais ar grūdų papildais, o šeriant aukščiausios kokybės grūdų pašarais pasiekia 75–85 % (Steinfeld et al., 2010). Taigi, daugiausiai metano išskiria galvijai mintantys žoliniais pašarais ir mažiausiai – geros kokybės grūdiniais pašarais.

Pagal IPCC antro lygio imties metodiką, Beauchemin et al. (2011b) nustatė Ym kaip 0,070 vidutinės kokybės pašarams (virškinamumo koeficientas 0,50–0,59), 0,065 – geros kokybės pašarams (virškinamumo koeficientas >0,60), o pašarams, kurių pagrindą sudaro miežių grūdai (>900 g miežių/kg sausosios medžiagos), ši vertė yra 0,040.

Priedas 3

Beauchemin, K. A., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2011a). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, *166–167*, 663–677. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047

Beauchemin, K. A., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2011b). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, *166–167*, 663–677. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047

Capper, J. L. (2012). Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals*, *2*(2), 127–143. https://doi.org/10.3390/ani2020127

Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, *11*(2), 343–355. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2

Cusack, D. F., Kazanski, C. E., Hedgpeth, A., Chow, K., Cordeiro, A. L., Karpman, J., & Ryals, R. (2021). Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. In *Global Change Biology* (Vol. 27, Issue 9, pp. 1721–1736). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/gcb.15509

Daesoo Kim, Max Burns, Emily Moberg, & Greg Thoma. (2022). Measuring and Mitigating GHGs- Beef. In *WWF*.

de Vries, M., van Middelaar, C. E., & de Boer, I. J. M. (2015). Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. In *Livestock Science* (Vol. 178, pp. 279–288). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.020

Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Röös, E., Smith, P., De Boer, I., Zu Ermgassen, E., Herrero, M., Van Middelaar, C., Schader, C., & Van Zanten, H. (2017). *Grazed and confused?*

Hristov, A. N. , Oh, J. , L. C. , Meinen, R. , Montes, F. , Ott, T. , Firkins, J. , Rotz, A. , Dell, C. , Adesogan, A. , Yang, W. , Tricarico, J. , Kebreab, E. , Waghorn, G. , Dijkstra, J. , & & Oosting, S. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production : a review of technical options for non-CO_2 emissions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (L. B. K. M. T. N. and K. T. Simon Eggleston, Ed.). Institute for Global Environmental Strategies.

Jordon, M. W., Willis, K. J., Bürkner, P. C., & Petrokofsky, G. (2022). Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *337*. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108075

Klopatek, S. C., Marvinney, E., Duarte, T., Kendall, A., Yang, X. (Crystal), & Oltjen, J. W. (2022). Grass-fed vs. grain-fed beef systems: Performance, economic, and environmental trade-offs. *Journal of Animal Science*, *100*(2). https://doi.org/10.1093/jas/skab374

Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S., & Biala, K. (2010). *Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS)-Final report-Administrative Arrangements*. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Franz_Mark-The_Yellow_Cow-1911.jpg

Lynch, J. (2019). Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 76, pp. 69–78). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.003

MacHmuller, M. B., Kramer, M. G., Cyle, T. K., Hill, N., Hancock, D., & Thompson, A. (2015). Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter. *Nature Communications*, *6*. https://doi.org/10.1038/ncomms7995

Mogensen, L., Kristensen, T., Nielsen, N. I., Spleth, P., Henriksson, M., Swensson, C., Hessle, A., & Vestergaard, M. (2015). Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livestock Science*, *174*, 126–143. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.01.021

Mosier, S., Apfelbaum, S., Byck, P., Calderon, F., Teague, R., Thompson, R., & Cotrufo, M. F. (2021). Adaptive multi-paddock grazing enhances soil carbon and nitrogen stocks and stabilization through mineral association in southeastern U.S. grazing lands. *Journal of Environmental Management*, *288*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112409

National Trust. (2012). *What's your beef?*

Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2010). Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production*, *18*(8), 756–766. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.12.023

Opio, C. , Gerber, P. , Mottet, A. , Falcucci, A. , Tempio, G. , MacLeod, M. , Vellinga, T. , Henderson, B., & & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains A global life cycle assessment*.

Pam Iwanchysko. (2019). *Planned Grazing RD 1 Measuring the impact of planned grazing on forage, soil , and livestock productivity*.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., Smith, P., & Kellogg, W. K. (n.d.). *"Climate-smart" soils: a new management paradigm for global agriculture Preface*.

Pishgar-Komleh, S. H., & Beldman, A. (2022). *Literature review of beef production systems in Europe*. www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Presumido, P. H., Sousa, F., Gonçalves, A., Bosco, T. C. D., & Feliciano, M. (2020). Environmental sustainability in beef production and life cycle assessment as a tool for analysis. In *U.Porto Journal of Engineering* (Vol. 6, Issue 1, pp. 11–25). Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia. https://doi.org/10.24840/2183-6493_006.001_0002

Ren, S., Terrer, C., Li, J., Cao, Y., Yang, S., & Liu, D. (2024). Historical impacts of grazing on carbon stocks and climate mitigation opportunities. *Nature Climate Change*, *14*(4), 380–386. https://doi.org/10.1038/s41558-024-01957-9

Rivero, J., Daniel, J., & Lee, M. (2024). *Interim technical report: evaluating cell grazing versus set stocking-impacts on farm productivity and environmental sustainability researchers: report contributor*.

Rowntree, J. E., Ryals, R., Delonge, M. S., Teague, W. R., Chiavegato, M. B., Byck, P., Wang, T., & Xu, S. (2016). Potential mitigation of midwest grass-finished beef production emissions with soil carbon sequestration in the United States of America. In *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Socie-ty* (Vol. 4, Issue 3). APA.

Soussana, J.-F., Soussana, J.-F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., & Arrouays, D. (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, *20*(2), 219–230. https://doi.org/10.1079/sum2003234

Stanley, P. L., Rowntree, J. E., Beede, D. K., DeLonge, M. S., & Hamm, M. W. (2018). Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agricultural Systems*, *162*, 249–258. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.003

Steinfeld, H., Gerber, P. Wassenaar, T. D. Castel, & V. de Haan, C. (2010). *Livestocks long shadow*.

Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., & Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical

and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *141*(3–4), 310–322. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009

Veysset, P., Lherm, M., Bébin, D., Roulenc, M., & Benoit, M. (2014). Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *188*, 180–191. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.003

Wang, T., Richard Teague, W., Park, S. C., & Bevers, S. (2015). GHG mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern Great Plains. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(10), 13500–13521. https://doi.org/10.3390/su71013500