

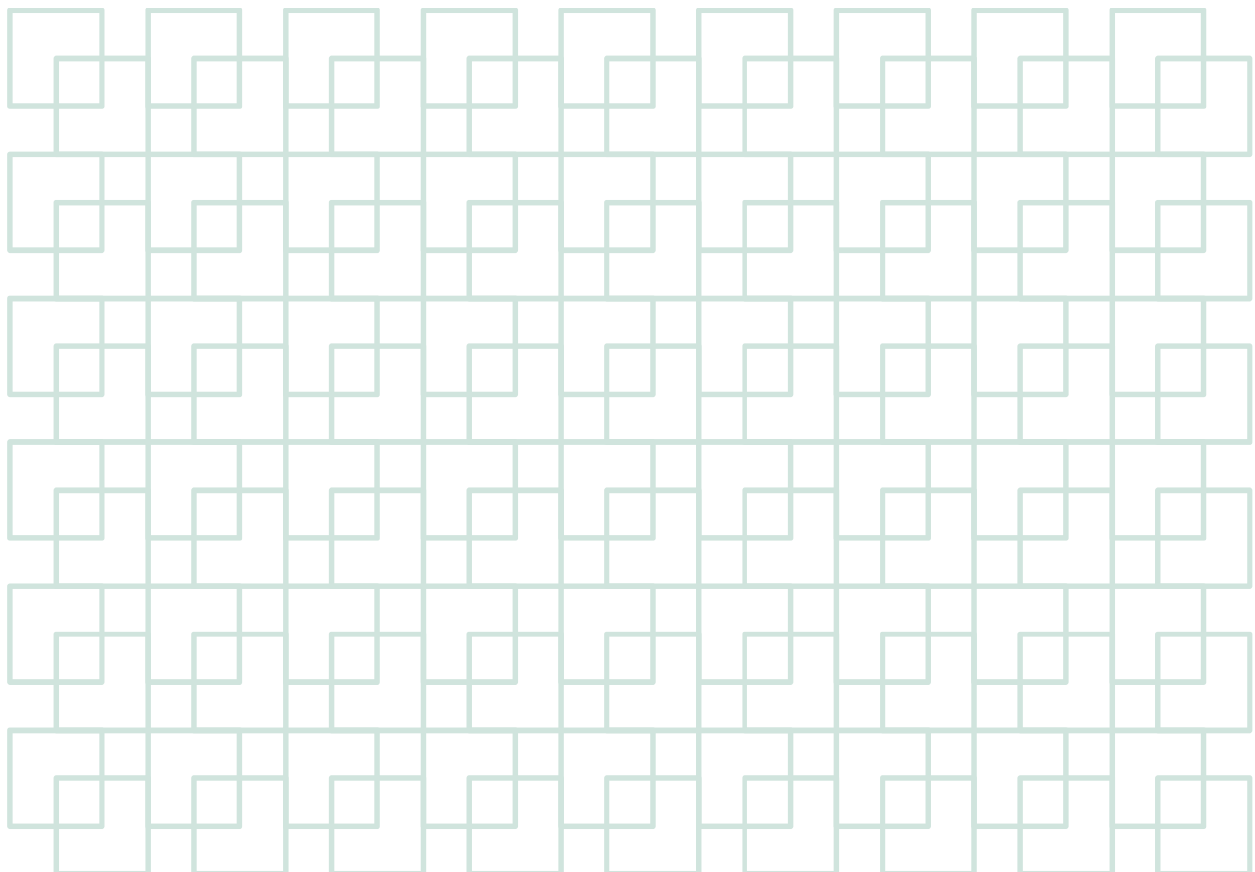
Norwegian University of Life Sciences
Faculty of biosciences

2024

Report

**GJENNOMGANG AV FORSKNING PÅ ENTERISK METAN FRA
KVIGER OG OKSER.**

Egil Prestløyken, Puchun Niu and Harald Volden,



INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	2
1 INNLEDNING	3
2 FORMÅL OG KRAVSPESIFIKASJON	3
3. GJENNOMFØRT ARBEID	4
4. DATABASE	5
5. VURDERINGER OG ANBEFALINGER	8

SAMMENDRAG

Målet med prosjektet var å kvalitetssikre beregningen av enterisk metan fra kviger og okser i det offisielle utslippsregnskapet, og å peke på potensiale for forbedringer. Det er gjort en litteraturgjennomgang og etablert en database med 248 behandlingsgjennomsnitt fra 48 studier publisert i perioden 2006-2023. Behandlingsgjennomsnittene fordelte seg på 55 for kviger, 144 for kastrater, 54 for okser, 13 for kjøttfe. Beregninger gjennomført på datamaterialet viser at det ikke er tilstrekkelig informasjon til å utvikle bedre modeller for kategoriene benyttet i dagens utslippsregnskap. Beregningene ga numerisk høyere produksjonen av enterisk metan i kviger/kastrater enn i okser/kjøttfe. Basert på tørrstoffinntak ble enterisk metan beregnet relativt presist (avvik på 0.05 MJ/d), men variasjonen var stor (CV=35.5%) og sikkerheten lav ($R^2=0,20$; CCC=0.42). Beste beregning basert på alder og kroppsvekt viste tilsvarende god presisjon, men stor variasjon (CV=27.5%) og lav sikkerhet ($R^2=0.18$; CCC=0.37). Usikkerheten for denne modellen ble beregnet til 54%.

Beregningene indikerer at dagens modeller underestimerer produksjonen av metan i størrelsesorden 15 % pga. usikkerhet i beregningen av bruttoenergi (BE). Det er stor aktivitet omkring enterisk metan fra dyr i vekst og arbeidet gjennomført her bør revideres litt fram i tid.

1 INNLEDNING

Utvikling av kunnskapsgrunnlaget for beregning av enterisk metan fra storfe og småfe (sau og geit) er et prioritert arbeidsområde i utslippsregnskapet fra jordbruket (Prop. 120 S (2021–2022)). Metanutslippene fra kviger og okser er i størrelsesorden på nivå med utslippene fra melkekyr (30 kt CH₄). Det var en revidering i 2015 (Storlien og Harstad, 2016), men det er ikke gjennomført en større evaluering av utslippsmodellene siden de ble etablert i 2006 (Volden og Nes, 2006). Norsk storfeproduksjon er i endring og det har de seinere år vært framvekst av spesialisert storfekjøttproduksjon. Ungdyr av kjøttferaser har andre egenskaper enn melkekyr (eks. forskjeller i tilvekstkurve og fôrforbruk per kg tilvekst) som kan ha betydning for metanproduksjonen. Det er derfor nødvendig med jevnlig kontroll av modellene, og vurdering av behov for forbedring.

I arbeidet med utvikling av ny beregningsmetode for melkeku (Volden m.fl., 2023) ble det pekt på muligheten for utvikling av oppdaterte ligninger for beregning av metanproduksjon fra kviger og okser basert på nyere forsøk. Denne rapporten sammenfatter en kartlegging av data fra nyere forsøk omkring produksjon av enterisk metan fra kviger og okser. Det er gjennomgått data og etablert en database over metanproduksjon med grovfôr basert på surfôr av gras. Databasen er brukt som grunnlag for vurdering av utslippsnivået for kviger og okser slik det framstår i dagens utslippsregnskap, samt til å vurdere mulighetene for utvikling av nye modeller basert på nyere forsøksresultat.

2 FORMÅL OG KRAVSPESIFIKASJON

Prosjektets formål var å kvalitetssikre beregningen av enterisk metan fra kviger og okser i det offisielle utslippsregnskapet, og å peke på potensiale for forbedringer.

Kravspesifikasjonen for oppdraget var å:

- Gjennomgå litteratur for å vurdere publiserte modeller for mulig bruk i Norge
- Gjennomgå litteratur for å etablere en database for utvikling av ny metodikk
- Kvalitetssikre ny metodikk mot norske metanmålinger
- Kvalitetssikre ny metodikk mot metoder og utslippsnivå i andre land
- Vurdere potensiale for forbedringer og anbefalinger til videre arbeid
- Ha jevnlig kontakt med prosjektgruppa
- Presentere resultater for Regnskapsgruppa

I forbindelse med litteraturgjennomgangen og etablering av database var oppdraget å vurdere mulighetene for utvikling og forbedring av beregningsmodeller for dyregruppene som inngår i det nasjonale utslippsregnskapet. Disse gruppene er:

- Kvige til påsett
- Kvige slaktet <1 år
- Okse slaktet <1 år

- Kviger slaktet >1 år
- Okse slaktet >1 år

3. GJENNOMFØRT ARBEID

3.1 *Litteraturgjennomgang publiserte modeller*

Det er gjort en gjennomgang av forskningslitteratur med sikte på å kartlegge om det finnes tilgjengelige modeller for metanutslipp fra kviger og okser som kan være aktuelle for norske produksjonssystemer. Konklusjonen fra denne vurderingen er at det finnes publiserte modeller, men at disse ikke vil gi vesentlig forbedring i beregning av metan enn dagens norske beregningsmodell.

3.2 *Etablering av database*

Det er gjort en litteraturgjennomgang av forsøk publisert i perioden 2006-2023, og det er etablert en database over metanproduksjon med forutsetning om grasbasert surfôr, eller minimum 50 % av grovfôret som surfôr av gras. I alt inngår 238 behandlinggjennomsnitt fra 48 forsøk. Databasen er benyttet til å vurdere eksisterende norske beregningsmodeller og det er gjort vurdering av potensialet databasen har som grunnlag for utvikling av oppdaterte norske modeller. Dette er presentert i avsnitt 4 og utgjør hoveddelen av rapporten.

3.3 *Kvalitetssikring av ny metodikk vha. norske målinger*

Geno har gjort målinger av enterisk metan fra avlsokser gjennom sitt prosjekt om avl for klimavennlig storfe. Disse dataene er vurdert, men kvaliteten på dataene er på nåværende stadium ikke funnet å være gode nok som grunnlag for vurdering opp mot aktuelle modeller.

3.4 *Kvalitetssikring av ny metodikk mot andre land*

I 2019 gjorde TBU jordbruk en sammenligning av utslippsfaktorer for kviger og okser opp mot andre nordiske land. Konklusjonen var at tallene ikke var direkte sammenlignbare pga. ulike kategorier av dyregrupper. Det var fra oppdragsgiver ønske om at oppdragstaker skulle gjøre en slik sammenligning. Dette er ikke gjort og inngår ikke i denne rapporten.

3.5 *Vurdering av potensiale for forbedring og anbefalinger til videre arbeid*

Med basis i den etablerte databasen og resultatene presentert i avsnitt 4 er det gjort en vurdering av potensiale for forbedring av utslippsregnskapet, og gitt en anbefalinger om videre arbeid. Dette blir presentert i avsnitt 5.

4. DATABASE

4.1 Etablering av databasen

Det ble gjennomført en litteraturgjennomgang der publiserte forsøk med opplysninger om dyr, fôr, fôring, fôropptak, produksjon, samt enterisk metan inngår. De viktigste dataene er sammenfattet i Tabell 1 og inkluderer i tillegg til gjennomsnittsverdier variasjonsområde med standardavvik og antall observasjoner bak hvert middeltall. Tabellen viser stor variasjon fôropptak, sammensetning av fôret, produksjonsparametere og metanproduksjon.

Tabell 1. Beskrivende statistikk over de viktigste parameterne i databasen.

Item	Gjennomsnitt	STD ¹	Minimum	Maximum	N
Tørrstoffinntak (TS), kg/dag	7.8	2.1	2.8	12.9	238
Surfôrinntak, kg DM/dag	6.3	2.1	0.8	12.9	238
Kraftfôrinntak, kg DM/dag	1.5	2.3	0.0	10.5	238
Grovfôrandel i rasjonen, %	84.2	24.0	8.0	100	238
Protein, g/kg TS	135	43	27	304	230
NDF, g/kg TS	510	153	110	780	230
Stivelse, g/kg TS	224	123	6	472	55
Råfett, g/kg TS	36	30	8	196	134
OMD ² , g/kg TS	663	85	467	831	147
Slaktevekt, kg	227	76	70	469	181
Levendevekt, kg	420	141	129	868	181
Daglig tilvekst, g	830	406	18	1750	113
Slaktealder	15.2	5.2	4.4	26.0	168
Metan, MJ/dag	8.76	3.37	1.76	18.3	238

¹STD= standardavvik, ²OMD= Fordøyelighet av organisk stoff

4.2 Innledende beregninger

Datagrunnlaget ble delt inn i fire dyrekategorier basert på opplysninger om kjønn og rase. Basert på DMI som tilfeldig og kategori som fast effekt ble følgende daglig produksjon av metan beregnet:

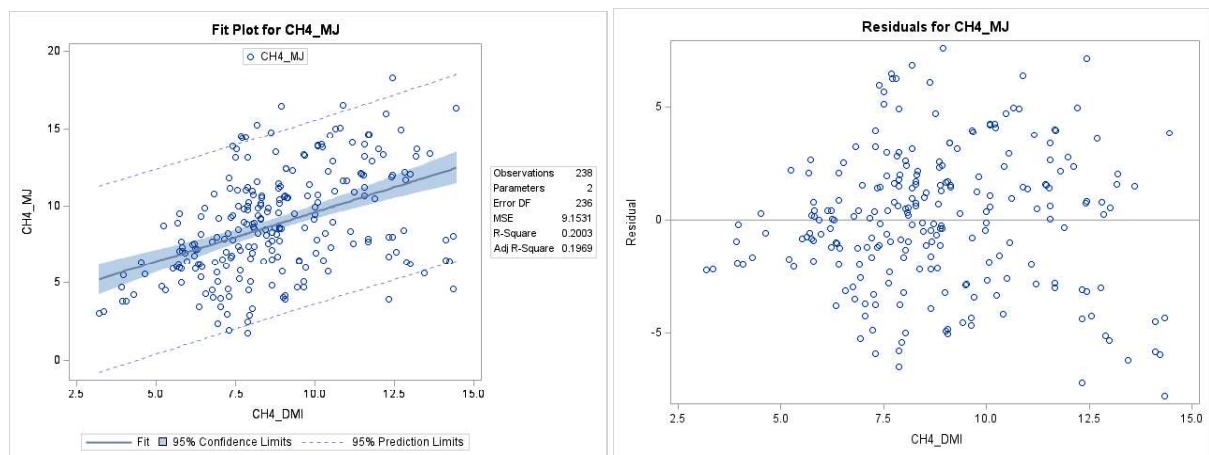
1. Kviger (N=55): $CH_4 = -0.35 + 1.15 * DMI (p < 0.001) + 0.57 (ns) = 9.18 \text{ MJ/d}$
2. Kastrater (N=114): $CH_4 = -0.35 + 1.15 * DMI (p < 0.001) + 0.88 (ns) = 9.49 \text{ MJ/d}$
3. Okser (N=54): $CH_4 = -0.35 + 1.15 * DMI (p < 0.001) - 1.02 (ns) = 7.59 \text{ MJ/d}$
4. Kjøttfe (N=13): $CH_4 = -0.35 + 1.15 * DMI (p < 0.001) + 0.00 (ns) = 8.61 \text{ MJ/d}$

Dette indikerer at det er forskjell mellom kviger og kastrater sammenlignet med okser og kjøttedyr. Disse kategoriene ble derfor slått sammen til to grupper. Tilsvarende beregning som vist over ga følgende beregning av daglig metanproduksjon.

1. Kviger/kastrater (N=169): $CH_4 = -1.23 + 1.15 * DMI (p < 0.001) + 1.64 (ns) = 9.35 \text{ MJ/d}$
2. Okser/kjøttfe (N=67): $CH_4 = -1.23 + 1.15 * DMI (p < 0.001) + 0.00 (ns) = 7.71 \text{ MJ/d}$

Resultatene viser lavere metanproduksjon hos okser/kjøttfe enn hos kviger/kastrater, men forskjellen i datasettet er numeriske og ikke signifikante. I tillegg var det ca. 0.5 kg TS lavere inntak av DMI for okser/kjøttfe sammenlignet med kviger/kastrater slik at noe av forskjellen skyldes lavere DMI.

I tillegg ble det innledningsvis gjort en statistisk vurdering av variasjonen i databasen og sikkerheten i prediksjonen. Et eksempel basert på beregning av metan basert på de fire kategoriene vist over er gitt i Figur 1. Figuren viser stor variasjon og lav forklaringsgrad.



Figur 1. Fit plot og residualplot for målt metan og metan (MJ/dag) beregnet basert på daglig fôropptak (DMI) og dyr kategorisert i kviger, kastrater, okser og kjøttfe.

4.3 Basisberegninger basert på fôr

Basert på de innsamlede dataene ble det utviklet et sett med basisligninger hvor fôropptak (DMI) og ulike fôrkarakteristikk inngår. De viktigste resultatene er vist i Tabell 2. I tillegg ble det gjort vurdering av dagens operative modell for beregning av enterisk metan, og sett på forbedringsmuligheter av denne. Dette er presentert i Tabell 3 i avsnitt 4.5.

Det var kun DMI som hadde opplysninger i alle 238 behandlinger, mens NDF var oppgitt i 232 av 238 behandlinger. Det var liten forskjell mellom likningen som tok hensyn til kun DMI og likningen som i tillegg tok hensyn til NDF. Presisjonen i beregningene var relativt god med avvik på kun 0.05 MJ/d for likningen basert på DMI, men forklaringsgraden var lav ($R^2=0.20$) og variasjonen høy ($CV=35.5\%$), dvs. at usikkerheten er høy.

Det ble gjort tilsvarende beregninger basert på innhold av protein, fett og OMD uten at det økte forklaringsgraden eller presisjonen i beregningene. For fett og OMD sank antall observasjoner bak til henholdsvis 134 og 147. I Tabell 2 er kun beregningene for fett og NDF gitt. For fett var koeffisienten negativ, og som i modeller for melkeku kom fett inn med en signifikant reduserende effekt av metanproduksjonen.

Av i alt 168 behandlinger med opplysning om slaktealder var 26 under 1 år mens 142 var over 1 år. Det ble gjort beregninger på disse dataene, men antall observasjoner for dyr med alder < 1 år var for lav til å gi signifikante effekter og resultatene er ikke presentert i rapporten.

Tabell 2. Basisberegninger for metan (MJ/dag) basert på fôropptak (DMI, kg TS/dag) og fôrkarakteristikkene NDF (g/kg TS) og fett (g/kg TS).

Modell	Målt	Beregnet	R ²	RMSE	CCC	N
1. Metan=0.058 + 1.116*DMI	8.81	8.76	0.200	3.11	0.424	238
2. Metan=-6.73 + 1.31*DMI+0.0108*NDF	8.73	8.96	0.201	3.13	0.422	230
3. Metan=2.71+0.83*DMI-0.0136*fett	9.42	8.93	0.210	2.75	0.323	134
4. Metan=0.8022+0.91*DMI-0.0121*fett+0.0028*NDF	9.42	9.04	0.238	2.69	0.331	134

RMSE = Root means square error (standardavvik), CCC = concordance correlation coefficient, N = antall observasjoner

4.4 Operative beregninger

Det var 124 behandlingsgjennomsnitt med opplysning om både vekt og slaktealder. Disse dataene ble brukt til vurdering av operative modeller. Tabell 3 gir resultat over operative beregninger ut på dagens beregningsmodeller basert på beregning av bruttoenergi og Ym (modell 5 og 6), samt to alternative modeller basert på datasettet (Modell 7 og 8). I tillegg er modellene sammenlignet med bruk av DMI og NDF som brukt i Modell 1 og 2 i Tabell 2.

Ved vurdering av dagens modeller ble følgende ligninger brukt til å beregne bruttoenergi (GE) og emisjonsfaktoren Ym (Storlien og Harstad, 2016):

$$\begin{aligned} \text{Slaktealder} < 1 \text{ år:} & \quad GE, (\text{MJ/d}) = 38.95 + 1.0558 * \text{slaktevekt (kg)} - 6,96 * \text{slaktealder (mnd)} \\ \text{Slaktealder} > 1 \text{ år:} & \quad GE, (\text{MJ/d}) = 112.99 + 0.3495 * \text{slaktevekt (kg)} - 4,696 * \text{slaktealder (mnd)} \\ Ym < 1 \text{ år:} & \quad Ym = 5.19 - 0.00482 * \text{slaktevekt} + 0.1465 * \text{slaktealder (mnd)} \\ Ym > 1 \text{ år;} & \quad Ym = 5.04 - 0.0054 * \text{slaktevekt} + 0.1453 * \text{slaktealder (mnd)} \end{aligned}$$

Disse ligningene ble tilpasset de to aldersgruppene og videre brukt til å beregne produksjon av enterisk metan (MJ/dag). Resultatet er presentert i Modell 5. Modellen viser en differanse mellom observert og beregnet metan på 1.53 MJ/dag, tilsvarende en differanse på over 15%. Modellens forklaringsgrad var lav (R²=0.003) og variasjonen høy (RMSE=3.78; CCC=0.05).

Presisjonen i beregningen ble vesentlig forbedret ved å bytte ut bruttoenergi beregnet med dagens modell med en beregning basert på DMI og en forutsetning om 18.9 MJ GE/kg DMI (Modell 6), men fortsatt med lav forklaringsgrad og stor variasjon.

I de to alternative modellene ble metan først beregnet direkte ut fra vekt og alder uten å ta hensyn til kategori kvige/kastrater og okser/kjøttfe. Resultatet framgår av Modell 7. Presisjonen er relativt god, men forklaringsgraden lav (R²=0.14) og variasjonen høy (RMSE=2.63; CCC=0.325) selv om disse er forbedret sammenlignet med dagens modell. Modell 8 er tilsvarende Modell 7 bortsett fra at det er tatt hensyn til den faste effekten av

kategori ved beregning av enterisk metan. Kategori forbedret prediksjonen, men variasjonen er fortsatt høy og forklaringsgraden lav.

Modell 9 og 10 er kun presentert som et sammenligningsgrunnlag forutsatt kjennskap til fôropptak og sammensetning av fôret. I denne sammenligningen er modellene basert på opplysning om fôr ikke bedre til å beregne enterisk metan enn beregning fra opplysninger om vekt og alder.

4.5 Beregning av bruttoenergi (GE)

Modell 5 og 6 indikerer en utfordring i beregning av GE. Vi har derfor med hjelp av datasettet forsøkt å beregne GE ut fra kjennskap til DMI og en forutsetning om innhold av 18.9 MJ GE/kg TS i fôret. Denne verdien er litt høyere enn 18.45 MJ/kg TS gitt av IPCC i revisjonen av 2019. Verdien representerer et forventet innhold av energi på rasjonsbasis og ble brukt til å beregne GE ut fra kjennskap til vekt og alder. Prediksjonen ble forbedret, men usikkerheten er fortsatt høy. Beregningen er ikke vurdert videre, men i en beregning ville en modell tilsvarende Modell 6 vært forventningen, dvs. ingen vesentlig forbedring ut over de presenterte modellene. Samtlige av modellene 7 til 10 har høy usikkerhet, eksempelvis er usikkerheten for den beste modellen (Modell 8) på 54%.

Tabell 3. Operative beregninger for metan (MJ/dag) basert på levendevekt (BW, kg/100 kg) og slaktealder (alder i måned) ut fra dagens modeller¹ og datasettet. Basisberegninger basert på fôropptak (DMI, kg/dag) og NDF (g/kg TS) er gitt for sammenligning. Modell 11 gir en beregning av bruttoenergi (GE, MJ/dag).

Modell	Målt	Beregnet	R ²	RMSE	CCC	N
5. Metan=Dagens modell for GE og Ym	9.22	7.69	0.003	3.78	0.021	124
6. Metan=Dagens modell Ym + GE=DMI*18.9	9.22	9.45	0.047	3.20	0.211	124
7. Metan=2.8627 – 0.07866*Alder+1.5609*BW	9.22	9.16	0.141	2.63	0.325	124
8. Metan=3.3371 – 0.06778*Alder+1.5508*BW+0.9742	9.22	9.26	0.183	2.55	0.378	124
9. Metan=2.0939 + 0.8209*DMI	9.22	8.92	0.054	3.09	0.205	124
10. Metan=-4.2616 + 1.0268*DMI+0.009828*NDF	9.15	9.18	0.100	2.87	0.302	120
11. GE=62.25-0.8030*alder+25.51*BW	157	163	0.453	30	0.055	124

¹ Modellene for bruttoenergi og Ym brukt i dagens utslippsregnskap. RMSE = Root means square error (standardavvik), CCC = concordance correlation coefficient, N = antall observasjoner

5. VURDERINGER OG ANBEFALINGER

Variasjonen i datasettet er stor med overvekt av data i dyrekategorien kviger og kastrater, med hovedvekt på kastrater. Kastratproduksjonen i Norge er lav, og dataene kan vurderes å være lite representative for norske forhold. I tillegg er informasjonen om metanproduksjonen i dyregruppen under 1 år svært begrenset. Den overordnede generelle vurderingen er at databasen på nåværende stadium ikke gir grunnlag for utvikling av nye forbedrede modeller for beregning av metanutslipp for noen av de 5 kategoriene nevnt i kravspesifikasjonen. Den beste modellen (Modell 8) har en usikkerhet på hele 58%.

Beregningene over daglig enterisk metan i denne rapporten indikerer at dagens modell er upresise med lav forklaringsgrad (Modell 5; Tabell 3). I Modell 5 er metan beregnet indirekte gjennom Ym og bruttoenergi. Utfordringen synes å ligge i en for lav beregning av bruttoenergi, og dermed mengde metan. I tillegg indikerer beregningene at det er forskjell i produksjonen av metan mellom kviger og kastrater sammenlignet med okser og kjøttfe. Det er imidlertid stor variasjon i datasettet slik at forskjellene ikke er signifikante. Denne forskjellen er derfor ikke vektlagt i vurderingen, men er noe som bør undersøkes nærmere i framtiden.

Den etablerte databasen har en svakhet i at dataene har en overvekt av målinger på kastrater. I tillegg er det få europeiske og ingen norske data i basen. Hovedvekten av data er fra Brasil og Nord-Amerika. Det er stor forskningsaktivitet omkring enterisk metan, inkludert de Nordiske land med forventet tilgang på nye data de kommende år. En gjennomgang som denne med oppdatering av databasen bør derfor gjennomføres ikke for langt inn i framtiden.

I tillegg bør det gjennomføres en oppdatering omkring beregning av bruttoenergi. Dette kan antagelig gjøres med basis i databasen etablert her, eventuelt oppjustert med tilleggsdata som inkluderer flere Europeiske og Nordiske fôrrasjoner. Oppdatering av beregningen for bruttoenergi kan være et enkelt tiltak til å forbedre dagens utslippsregnskap.

6. REFERANSER

Storlien, T.M. og O.M. Harstad, 2016. Appendix H. Method description. The Norwegian Emission Inventory 2016 Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. Document 2016/22, Statistics Norway.

Volden, H. og S. Nes, 2006. Annex H. Method description in Norwegian Emission Inventory 2014. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. Documents 2014/35, Statistics Norway.

Volden, H., P. Niu og E. Prestløkken, 2023. Models to predict enteric methane emission from dairy cows to be used in the Norwegian inventory calculations. Rapport, NMBU, 15 s.

Ås, 31. mars 2025

Egil Prestløkken

Harald Volden