



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2022 30 stp**

Fakultet for Biovitenskap, Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap (IHA).

## **Arvbarhet og avlsverdier for metanproduksjon hos unge okser av Norsk Rødt Fe (NRF), med målinger i GreenFeed**

Heritability and breeding values for methane production in young Norwegian Red (NRF) bulls, with measures from GreenFeed

Ida Wøyen Hamfjord

Master i husdyravl – Avl og genetikk



# Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen av mitt studieløp på husdyrvitenskap, med retningen avl og genetikk, på Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), ved Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap (IHA), Fakultet for Biovitenskap.

Med en gård i familien og lidenskapelige besteforeldre, var interessen for dyr på plass fra veldig ung alder. Det tok ikke lang tid før interessen for avl og genetikk begynte å vokse, etter at jeg startet på bacheloren min på husdyrvitenskap. Jeg var veldig spent på hvordan oppgaveskrivingen skulle bli, jeg kunne ikke veldig mye om metanproduksjon eller R programmering når jeg startet, men jeg har lært så mye og er veldig glad for muligheten til å utforske metanproduksjonen hos okser. Jeg håper arbeidet som er gjort med denne oppgaven gir videre grobunn for arbeid rundt egenskapen, slik at Norsk Rødt Fe blir en enda bedre rase enn den er i dag.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder, Bjørg Heringstad, for et godt samarbeid og utrolig god veiledning, for innføringen i DMU og hjelp med å tolke resultatene. Døren var alltid åpen og spørsmål ble tatt imot med et smil, hjelpen jeg har fått av deg har vært helt uvurderlig. Må også rette en takk til medveilederen min, Karoline Bakke Wethal, som har hentet opp datamateriale for oppgaven, og har hjulpet masse med mange viktige og nyttige innspill. Det fantastiske humøret hennes lyste alltid opp møtene våres og gjorde en ellers stressende hverdag enklere.

Jeg vil også rette en takk mot Kirsti Winnberg som ga meg en plass på kontoret sitt gjennom perioden, og har vært en faglig sterk og støttende person å ha i ryggen gjennom den mest intense perioden av skrivingen.

En viktig drivkraft for meg med denne oppgaven har vært min bestefar, Odd Wøyen, og hans store engasjement for faget mens han levde. Han var en stor inspirasjon og jeg er veldig glad for at mormor, Ann Kristin Wøyen, har snakket om han og deres prestasjoner innenfor feltet.

13.06.2022

Ida Wøyen Hamfjord



## Sammendrag

Fokuset rundt klimagasser og forurensning har økt de siste tiårene, og drøvtyggerne har blitt stemplet som miljøverstinger. Avl er en måte å redusere klimaavtrykket fra drøvtyggere, men for å kunne gjøre dette må egenskapen forskes på og sammenhengen med andre egenskaper må utforskes. Prosjekt «klimaku» har som mål å undersøke om det kan avles frem en ku av Norsk Rødt Fe (NRF) som har et lavere utslipp med metangass (CH<sub>4</sub>). I dette prosjektet har Geno installert GreenFeed-enheter i 14 kommersielle besetninger med NRF kyr i Norge, i tillegg til en på Geno sin teststasjon i Øyer kommune.

Hensikten med oppgaven er å beskrive fenotypiske nivå og variasjon i CH<sub>4</sub>-produksjonen hos unge NRF okser, estimere arvegrad og avlsverdier for egenskapen, og undersøke i hvilken grad dette har sammenheng med oksens avlsverdier for viktige egenskaper i avlsmålet for NRF. CH<sub>4</sub> ble målt i perioden 01.09.2020 til 31.12.2021 på 96 unge NRF okser på Geno sin teststasjon, oksene er spredt i 11 forskjellige puljer gjennom perioden. Avlsverdier for viktige egenskaper i avlsmålet for NRF og slektskapsinformasjon ble hentet fra Geno, i tillegg til vektinformasjon på 40 av oksene som ble benyttet til å regne ut tilvekst.

Hver okse hadde  $372 \pm 126$  CH<sub>4</sub> målinger i perioden, gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik for CH<sub>4</sub> var  $217 \pm 48$  g/dag. Det var antydninger til sesongvariasjon i CH<sub>4</sub>-produksjonen over perioden, med høyest produksjon om høsten og lavest produksjon om vinteren. Varianskomponenter ble estimert med en lineær dyremodell hvor pulje og alder var de faste effektene, effekt av testdag, permanent miljø og additiv genetik var tilfeldige effekter i modellen. Slektskapsinformasjon inntil seks generasjoner tilbake i tid ble tatt med og slektskapsfilen inneholdt 3 354 dyr.

Arvegraden til CH<sub>4</sub>-produksjon ble estimert til 0,23 med gjentaksgard 0,32. Det var ingen sammenheng mellom avlsverdi for CH<sub>4</sub> og hvilke okser som ble selektert som seminokser, med stor spredning i de estimerte avlsverdiene for CH<sub>4</sub>. Laveste og høyeste estimert avlsverdi for CH<sub>4</sub> var -33,8 og 43,5, hvor lav verdi var gunstige. Korrelasjoner mellom avlsverdi for CH<sub>4</sub>, samlet avlsverdi og delegeenskaper i avlsmålet for NRF ble beregnet, avlsverdi for CH<sub>4</sub> var mest korrelert med indeks for kjøtt og tilvekst, med henholdsvis 0,31 og 0,37, dette gir en indikasjon på at det er en genetisk korrelasjon for disse egenskapene.

Med en arvbarhet på 0,23 vil egenskapen være mulig å avle for, det er nødvendig med grundig kartlegging av genetiske korrelasjoner og trender i produksjonen før en aktiv seleksjon for egenskapen kan begynne. Måling av CH<sub>4</sub> burde fortsette over en lenger periode for å overvåke utviklingen og undersøke om det er indirekte seleksjon for egenskapen i NRF populasjonen, i tillegg bør det sjekkes om egenskapen er lik for unge dyr i vekst og melkekyr i produksjon.



## Abstract

The focus on greenhouse gases and pollution has increased in recent decades, and ruminants have been labeled as environmental aggravators. Breeding can result in a permanent reduction of CH<sub>4</sub> emissions from ruminants, the trait needs to be researched extensively for this to be possible. The “environment friendly cow” project aim to investigate whether we can breed a Norwegian Red (NRF) cow with a lower methane (CH<sub>4</sub>) production level. Geno has installed GreenFeed units in 14 commercial herds with NRF cows in Norway, in addition to one at Geno’s performance test station in Øyer.

The purpose of this thesis was to describe the phenotypic level and variation in CH<sub>4</sub>-production in the NRF young bulls, estimate the heritability and breeding values of the trait and investigate the relationship to their breeding values for important traits in the breeding goal for NRF. CH<sub>4</sub> was measured from 01.09.2020 to 31.12.2021 on 96 young NRF bulls at Geno’s test station, the bulls were divided into 11 different groups over the period. Breeding values for important traits in the breeding goal for NRF and information on pedigree were obtained from Geno, in addition to body weight information on 40 of the bulls that was used to calculate growth rate.

Each bull had  $372 \pm 126$  CH<sub>4</sub> measurements during the period, the average and standard deviation for CH<sub>4</sub> production was  $217 \pm 48$  g/day. There were indications of seasonal variation in the production of CH<sub>4</sub>, with the highest production in autumn and lowest production in winter. Variance components were estimated with a linear animal model with group and age as fixed effects, and effect of test day, permanent environment and additive genetics were random effects in the model. Pedigree information up to six generations back were used and the pedigree file contained 3 354 animals.

The heritability was estimated to 0,23 and the repeatability was 0,32. There were no relation between the breeding value for CH<sub>4</sub> and which bulls were selected for breeding, with large variation in estimated breeding values for CH<sub>4</sub>. Lowest and highest estimated breeding value for the trait was -33,8 and 43,5, where a low breeding value was beneficial for this trait. Correlations between breeding value for CH<sub>4</sub>, total breeding value and other traits in the breeding goal were calculated, estimated breeding value for CH<sub>4</sub> had the highest correlation with breeding value for beef traits and growth rate, with 0,31 and 0,37, this gives an indication of the genetic correlation for these traits.

It is possible to breed for reduced CH<sub>4</sub>-production with the estimated heritability of 0,23, but it is necessary with further research. We need further knowledge on the genetic correlations to other traits and trends in the production level before any selection for the trait can be implemented. Measurements of CH<sub>4</sub>-production should continue for a longer period to monitor the development and investigate whether there is indirect selection for the trait in the NRF population, the trait should be examined to see if it is similar for young growing animals and dairy cows in production.





# Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
Innholdsfortegnelse .....	IV
1.0 Introduksjon.....	1
2.0 Litteratur.....	2
2.1 Landbruket og klimagassutslipp.....	2
2.2 Metanogesen.....	3
2.3 Målemetoder for metan hos drøvtyggere .....	4
2.4 Avlsarbeidet på NRF .....	8
2.5 Avl for redusert metangassproduksjon.....	8
2.5.1 Genetiske korrelasjoner .....	9
2.5.2 Direkte og indirekte seleksjon .....	9
3.0 Materiale og metode.....	10
3.1 Data .....	10
3.2 Variabler.....	11
3.2.1 Metangassdata .....	11
3.2.2 Predikerte avlsverdier.....	11
3.2.3 Vekt og tilvekst .....	13
3.2.4 Annen tilleggsinformasjon .....	16
3.3 Statistisk analyse og modell .....	17
4.0 Resultater.....	18
4.1 Beskrivende statistikk.....	18
4.2 Arvbarhet.....	23
4.3 Sammenhenger mellom metan og egenskaper i samlet avlsindeks for NRF.....	27
4.4 Seleksjon .....	29
4.5 Tilvekst.....	31
5.0 Diskusjon.....	32
5.1 Arvbarhet.....	32
5.2 Avlsverdier .....	33
5.3 Indirekte seleksjon for metangassproduksjon.....	33
5.4 Faktorer som påvirker metan.....	34
5.5 Feilkilder .....	35
5.6 Videre forskning.....	36
6.0 Konklusjon .....	37
7.0 Referanseliste .....	38

## 1.0 Introduksjon

I Norge er det bare 3 % av landarealet som er egnet til produksjon av mat til mennesker og dyr, her inngår overflatedyrket jord og innmarksbeiter, bare 30 % av dette er egnet til dyrking av matkorn, mens det er omtrent 40 % av de norske landarealene som menes å være av god utmarks kvalitet. Den norske naturen domineres i stor grad av kulturlandskap som er avhengige av vedlikehold, noe drøvtyggerne har hatt mye av ansvaret for i mange år. Ved hjelp av drøvtyggere er det mulig å produsere mat i deler av landet som ikke egner seg for annen matproduksjon (Norges Bondelag, 2020).

Til tross for små arealer egnet til produksjon av mat til mennesker og dyr i Norge, er det et økende ønske i befolkningen å redusere konsum og produksjon av mat med animalsk opphav, der fokuset er spesielt rettet mot rødt kjøtt på grunn av kjøttets klimaavtrykk. Reduksjon i antall drøvtyggere vil kunne ha konsekvenser for biodiversiteten på beite- og slåttemark, hvor det er mange truede organismer som er avhengige av at terrenget holdes åpent (Sverdrup-Thygeson, et al., 2009). De siste tiårene har det blitt ett større fokus rundt reduksjon av klimagasser og landbruket, og det har dermed blitt vedtatt offentlige krav og internasjonale forpliktelser for å redusere de nasjonale utslippene. Blant drivhusgassene som assosieres med husdyrproduksjonen ligger hovedfokuset på enterisk metangass ( $\text{CH}_4$ ), som bidrar til 28 ganger høyere global oppvarming sammenlignet med karbondioksidgass ( $\text{CO}_2$ ) (Breider, et al., 2019).

$\text{CH}_4$  er et biprodukt fra den mikrobielle fermenteringen i fordøyelsessystemet hos drøvtyggere, under fermenteringsprosessen vil mikrober produsere  $\text{CH}_4$  og vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) fra frie hydrogenatomer,  $\text{CO}_2$  og hydrogen (H<sub>2</sub>) (Moss, et al., 2000). Etersom  $\text{CH}_4$  er et biprodukt fra fermenteringsprosessen av fôret, vil utslippet av gassen bli et uønsket energitap for dyret på mellom 1-12 % av den konsumerte bruttoenergien, dette kan variere avhengig av fôrets kvalitet og kvantitet (Johnson, et al., 1994; Lan og Yang, 2019; Tapio, et al., 2017).

Norge har en internasjonal forpliktelse for å redusere klimagassutslippet, ifølge Parisavtalen er Norge forpliktet til å redusere klimagassutslippet med 50 % av utslippsnivået i referanseåret 1990 før 2030 (Miljødirektoratet, 2022a). Målet om å redusere klimaavtrykket med 30 % før 2020 ble ikke nådd, noe som innebærer at tiltak må effektiviseres. Mellom 1990 og 2011 ble de totale  $\text{CH}_4$ -utslippene i Norge redusert, men siden den tid har det vært en økning på 1 % hvert år (Reed og Mørtvedt, 2019). Siden 1990 har jordbruket redusert klimagassutslippet med 6,4 % (Miljødirektoratet, 2022b), i 2017 ble klimaloven vedtatt, hvor det norske samfunnet skal omstilles til et lavutslippsland og ha en vedvarende utslippsreduksjon innen 2050 (Klimaloven, 2017).

Norsk landbruk stod for utslipp av 4,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2020, dette tilsvarte 9,1 % av Norges totale klimagassutslipp (Rivedal, 2020). Drøvtyggerne produserer CH<sub>4</sub> tilsvarende 2,23 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, tilsvarende 49,5 % av klimagassutslippet til det norske landbruket (Miljødirektoratet, 2022b). Landbruket i Norge er i likhet med andre produksjonsområder forpliktet til en reduksjon i klimagassutslippet, i 2019 ble en avtale mellom Norges Bondelag, Norsk Bonde- og Småbrukerlag og regjeringen inngått, som la grunnlaget for landbrukets klimaplan (Norges Bondelag, 2020).

Prosjektet «klimakua» ble finansiert i jordbruksavtalen 2017-2018 og er ett av prosjektene til Geno, avlsselskapet til rasen Norsk Rødt Fe (NRF). Formålet med prosjektet var å undersøke om en kan avle fram ei NRF-ku med lavere CH<sub>4</sub>-utslipp (Geno, 2020a). Det har blitt installert utstyr for måling av CH<sub>4</sub> på individnivå i 14 kommersielle besetninger med melkeku i Norge, i tillegg til installasjonen på Geno sitt anlegg for fenotypetest av avlsokser i Øyer kommune. Med dette vil fenotypeinformasjon på CH<sub>4</sub> fra et stort antall dyr samles inn og kunne danne grunnlaget for en ny egenskap i avlsmålet til NRF.

Hensikten med denne oppgaven er å beskrive fenotypisk nivå og variasjonen i metangassproduksjon hos unge NRF okser, estimere arvegrad og avlsverdier for egenskapen, og undersøke i hvilken grad dette har sammenheng med oksens avlsverdi for viktige egenskaper i avlsmålet for NRF.

## 2.0 Litteratur

### 2.1 Landbruket og klimagassutslipp

I 2020 lanserte Norges klimapanel 8 satsingsområder innenfor norsk landbruk, disse satsingsområdene tar for seg hvordan klimagassutslippet skal kunne kuttes samtidig som at jordens opptak av karbon skal økes (Norges Bondelag, 2020). Planen gjelder for perioden 2021-2030 og i løpet av perioden skal det samlede utslippet innenfor jordbrukssektoren reduseres og karbonlagring økes med tilsvarende 5 millioner CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Satsingsområdet nummer 2 for det norske landbruket omhandler hvordan landbruket skal oppnå friskere dyr som samtidig er mer klimavennlige, ved hjelp av avl og fôring. Geno, avlsorganisasjonen til NRF, har anslått en mulig reduksjon i klimagasser tilsvarende 450 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i perioden 2021-2030. Denne reduksjonen i klimagasser vil bli gjort gjennom avl, og er basert på effekten av dagens avlsarbeid og genetisk fremgang av egenskaper allerede vektlagt i samla avlsindeks for NRF kua.

Gjennom det tradisjonelle avlsarbeidet på NRF, har reduksjonen av klimagasser vært betydelig, som en effekt av målrettet avlsarbeid for friske og fruktbare dyr, allerede før klimadebatten ble aktuell. Reduksjon i antall melkekyr har også bidratt til lavere totale klimagassutslipp i landbruket. I 1960 var det 603 000 melkekyr i Norge som hadde en melkeleveranse på 1 268 millioner liter, noe som tilsvarer

ca. 2 100 liter per melkeku. I 2018 var antallet melkekyr redusert til 220 000, mens melkeleveransen var blitt økt til 1 500 millioner liter, som tilsvarer ca. 6 800 liter per melkeku. Denne store økningen i produksjon per dyr kommer av avl, fôring og andre forhold i produksjonen som kan ha blitt utviklet videre, og står for en stor reduksjon i klimautslippet per produksjonsenhet (Aass og Åby, 2018).

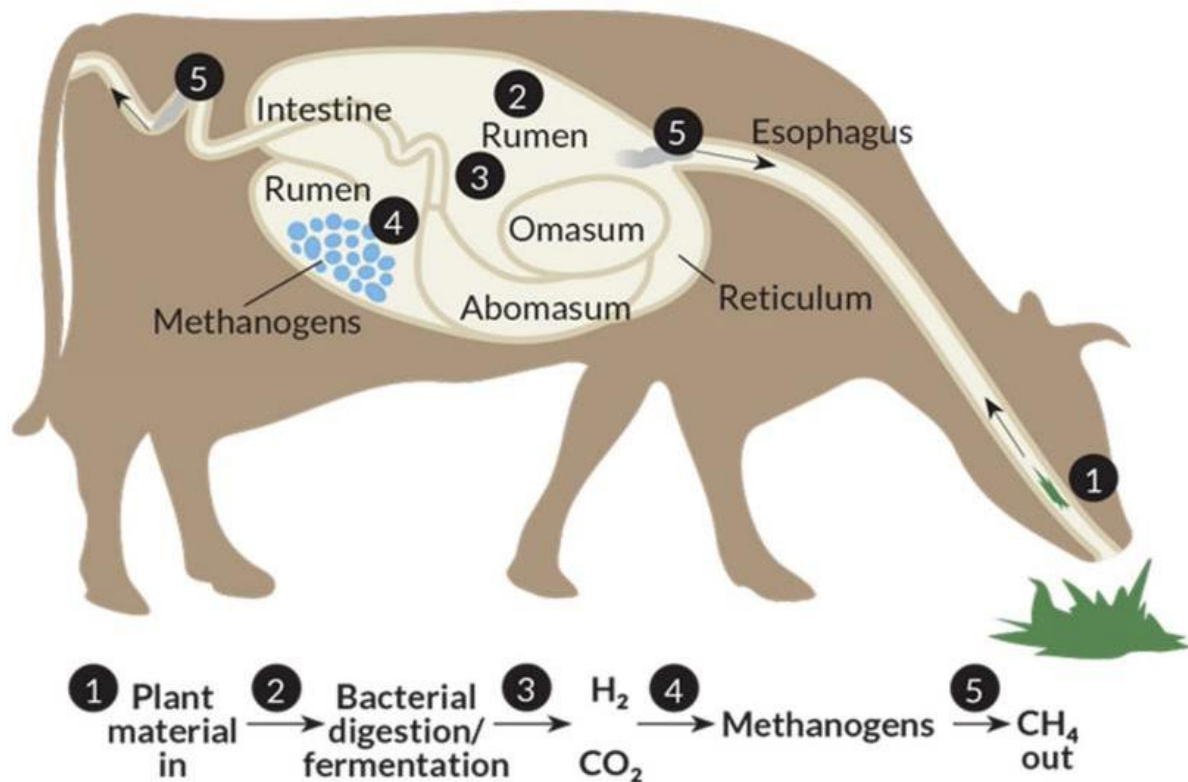
## 2.2 Metanogenesen

Prosessen hvor CH<sub>4</sub> blir produsert i fordøyelsessystemet til drøvtyggere kalles metanogenesen og kommer av det symbiotiske forholdet mellom drøvtygger og mikrober i drøvtyggers sitt fordøyelsessystem. Mikrobiomet består av protozoa, archaea, anaerob sopp og anaerobe bakterier, disse syntetiserer enzymer som kan bryte bindingene i cellulose og hemicellulose (Taipo, et al., 2017). På denne måten får drøvtyggerne benyttet seg av en fôrressurs som ikke er tilgjengelig for andre dyr (Hill, et al., 2015), nemlig gress og grovfôr.

Metanogenesen er en energidannende prosess som metanogene bakterier er avhengig av for å overleve i vomma, i reaksjonen vil CH<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O produseres fra CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>. Mengden CH<sub>4</sub> som produseres i vomma blir styrt av mengden med tilgjengelige hydrogengassmolekyler, reaksjonsligningen er;  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$  (Moss, et al., 2000). Protozoa, sopp, og bakterier produserer H<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> som biprodukter, der archaea benytter seg av en disse gassene for å produsere CH<sub>4</sub> (Taipo, et al., 2017). For å vedlikeholde og holde fermenteringen gående, er dyret avhengig av at produktene fra fermenteringen blir fjernet kontinuerlig, opphoping av enkelte produkter kan ha en hemmende effekt. Det er derfor viktig at H<sub>2</sub> konsentrasjonen holdes lavt nok til at fermenteringen av fôr kan fortsette.

Selv om det er en viktig del av nedbrytningsprosessen å fjerne H<sub>2</sub> fra miljøet i vomma, står det for et stort energitap. Av brutto energiinntak ligger energitapet på mellom 2-12 % (Johnson, et al. 1994; Lan & Yang, 2019; Tapio, et al, 2017) eller 8-14 % av det fordøybare energiinntaket (Cottle, et al., 2011). Energien som går tapt, er energi som i teorien kunne vært brukt til for eksempel tilvekst eller produksjon av melk.

I likhet med enmagede dyr kan CH<sub>4</sub>-produksjon skje i baktarmen, men det regnes med at om lag 90 % av CH<sub>4</sub>-utslippet til drøvtyggere stammer fra utånding av gasser som er produsert i vom, slik det er avbildet i figur 1. Utåndingen av gasser skjer som en følge av drøvtyggeprosessen av fôr, fôret vil bli gulpet opp og drøvtygget videre flere ganger. Etter hvert vil mikrobene i vomma produsere gass som skaper ett trykk, dette trykket blir kontrollert ved at dyret utånder gassene som blir produsert. De resterende 10 % er avgasser fra gjødselen som dyret produserer (Lan og Yang, 2019).

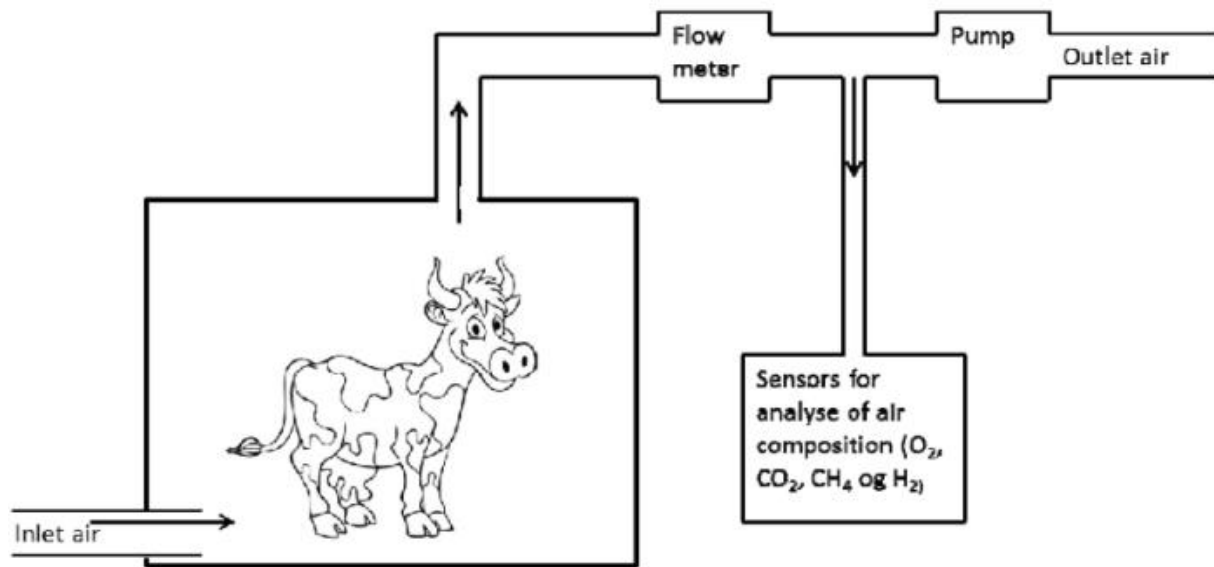


Figur 1 - Metangassproduksjon hos storfe i 5 trinn (Zhao, et al., 2020). 1. plantemateriale blir konsumert, 2. mikrobiell fordøyelse/fermentering av fôret, 3. dannelse av hydrogengass (H<sub>2</sub>) og karbondioksidgass (CO<sub>2</sub>), 4. H<sub>2</sub> konsentrasjonen setter i gang metanogenesen hvor metangass (CH<sub>4</sub>) dannes, 5. CH<sub>4</sub> blir utåndet av dyret, en liten mengde CH<sub>4</sub> slippes også ut fra endetarmen og fra avføringen.

### 2.3 Målemetoder for metan hos drøvtyggere

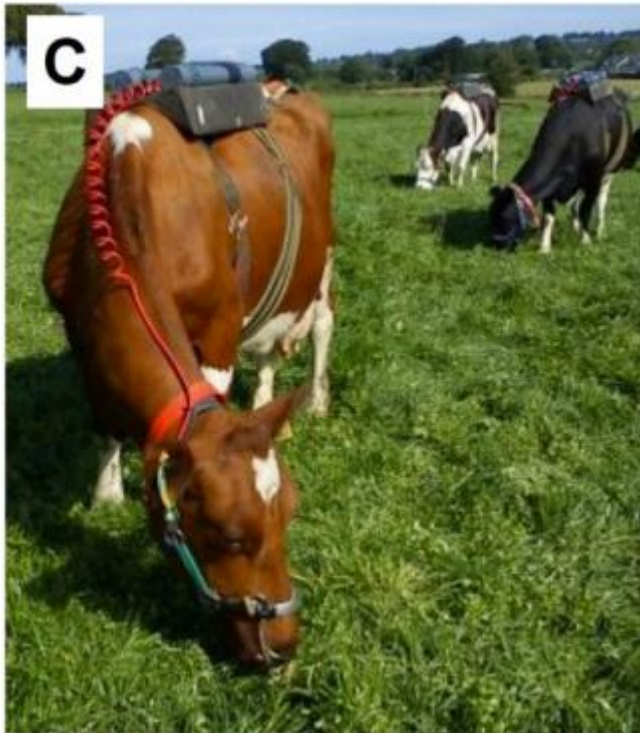
Å utvikle målemetoder for CH<sub>4</sub> fra drøvtyggere har i lang tid vært interessant for forskere og igjennom årene har en mengde forskjellige metoder blitt testet. De første målingene ble gjennomført for å lage en energibalansmodell (Storm, et al., 2012). De ulike metodene har blitt utviklet for spesifikke formål, hvor enkelte forsøksforhold vil gjøre det for kostbart eller begrense påliteligheten. Det er derfor stadig behov for utvikling av nye metoder.

Gullstandarden for måling av gassproduksjonen til dyr er respirasjonskammeret, som er fremstilt i figur 2. Metoden går ut å bestemme konsentrasjonen av produsert gass, ved at luften som går inn og ut av kammeret blir analysert. Deretter vil luften som kommer ut blir korrigert for den som går inn, differansen i konsentrasjon som er igjen blir registrert som gassen dyret produserer (Storm, et al., 2012). Inne i ett respirasjonskammer er det plass til ett dyr og dyret står der gjerne over en lenger periode, slik at svingninger i produksjonen blir registrert. Metoden har en høy sikkerhet, men presisjonen går på bekostning av kapasitet og kostnader. Det er dermed vanskelig å gjennomføre forsøk i større skala (Hirstov, et al., 2015).



Figur 2 – Skisse av et respirasjonskammer (Storm, et al., 2012). Her illustreres det at luften kommer inn, og blir videreført gjennom et rør etter å ha vært inne med dyret, denne luften blir analysert for oksyngengass (O<sub>2</sub>), karbondioksidgass (CO<sub>2</sub>), metangass (CH<sub>3</sub>) og hydrogengass (H<sub>2</sub>), før luften pumpes ut av systemet.

En annen populær metode ble utviklet av Zimmerman i 1993, her benyttes svovelheksafluorid (SF<sub>6</sub>) som en markør slik det er illustrert i figur 3. Denne metoden er ansett å være eneste pålitelige metoden for måling av CH<sub>4</sub> på beite, og ble først anvendt i forsøk i 1994 (Johnson, et al., 1994). En bolus med en SF<sub>6</sub> markør som er kjent legges inn i dyret, frigjøringen av gassen med kjent konsentrasjon og utåndet CH<sub>4</sub> blir fanget opp i en beholder som er festet til dyret og blir analysert. Beholderen fanger opp gassen ved hjelp av et system med kapillarrør som er festet til en grime som dyret har på seg. Perioden for målinger er som regel rundt 24 timer, men problemet med metoden er at den bare tar hensyn til utåndet CH<sub>4</sub>, og resultatene av målingene kan også være varierende (Johnson og Johnson, 1995).



*Figur 3 – Markørmetoden for å måle metangassproduksjon hos melkeku med svovel hexafluorid, avbildet mens den er i bruk på beite (Cabezas-Garcia, 2017), gassbeholderen er montert på ryggen til dyret, men en slange som ledes opp til en grime, som er ført videre over nesen på dyret, hvor den fanger opp utåndingen.*

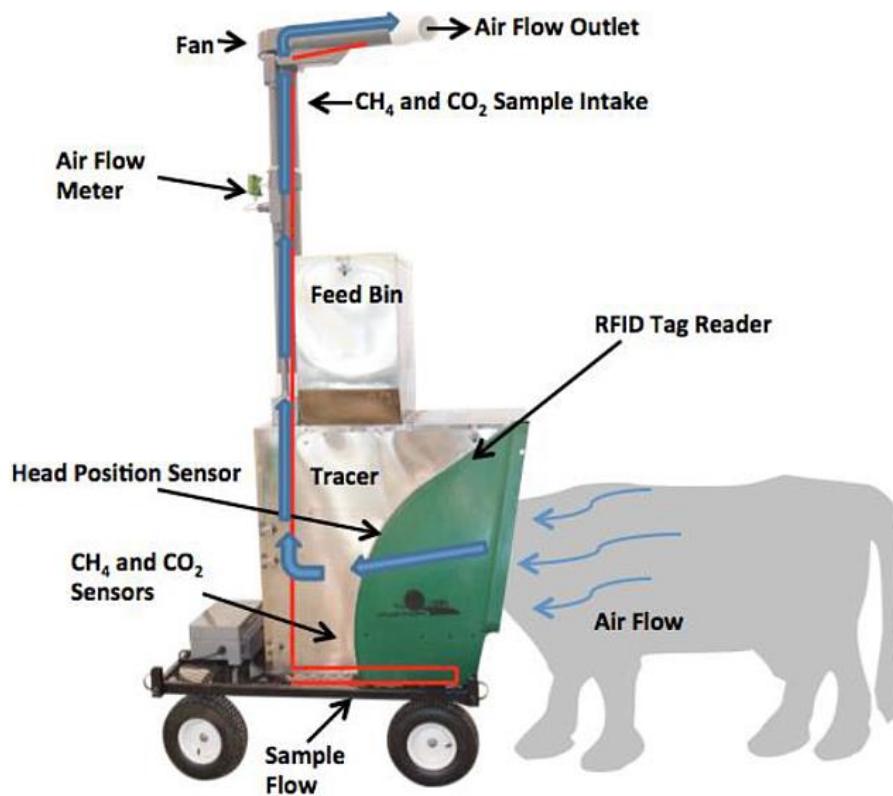
Andre metoder for å måle CH<sub>4</sub> hos drøvtyggere inkluderer sniffer, ventilasjonshette, maske, laser og bærbart akkumuleringskammer. Sniffermetoden ble utviklet av Garnsworthy et al. (2012b) for å kunne måle CH<sub>4</sub>-konsentrasjonen i rap når kua er inne i melkeroboten, og er en god metode for målinger i større skala. Metoden er utviklet basert på hypotesen om at det er en sterk sammenheng mellom CH<sub>4</sub>-produksjonen, frekvensen av raving og CH<sub>4</sub>-konsentrasjonen i rapen. Ventilasjonshetten er designet for å være en enklere versjon av respirasjonskammeret, men gassmålingen skjer bare rundt hodet til dyret. Denne metoden registrer gassproduksjon hos dyret over en lenger periode og vil registrere eventuelle svingninger (Zhao, et al., 2020).

Maskemetoden benytter seg av samme gasskonsentrasjonsanalysen som respirasjonskammeret og ventilasjonshetten, men det er spotmålinger som blir registrerte. Mulen til dyret blir fullstendig dekket til av masken, som er festet rundt halsen, dyret er gjerne fiksert under målingen. Målingene skjer ofte over en periode på 30 minutter, hver 2-3 time, maks 7 ganger daglig (Zhao, et al., 2020).

Lasermåler for CH<sub>4</sub> (Tokyo Gas Engineering Solutions Inc. Tokyo, Japan) er et håndholdt instrument man bruker for å måle CH<sub>4</sub>-konsentrasjonen i luften foran dyret. Lasermålingen kan bli gjort på 1-3 meters avstand og laseren må være aktiv i 2-4 minutter for hver måling (Zhao, et al., 2020).

Det har lenge vært ønskelig med en teknologi som både er robust og nøyaktig, samtidig som at den har lave driftskostnader, slik at målinger av CH<sub>4</sub> kan utføres i større skala. GreenFeed systemet

(GreenFeed, C-Lock, Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA) er en alternativ metode som er designet for å kunne måle utslipp fra drøvtyggere. Figur 4 viser hvordan gassmålingen blir gjort i løpet av dyrets vanlige besøk til kraftfôrautomaten. Automaten er utrustet med en hette til hodet og en ekstraksjonsvifte som fanger opp gassene som blir utåndet. Med dette automatiserte systemet blir CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> og oksyngengass målt, korrigert for gasser i bakgrunnen og kalkulert til gram produsert per dag, for hvert besøk dyret har (Herd, et al., 2014).



Figur 4 – Skisse av GreenFeed (C-Lock Inc. Rapid City, Sør-Dakota, USA), automaten og plasseringen av dyret mens målingen skjer. De forskjellige komponentene som er nødvendige for å måle metan er skissert inn i figuren (Hirstov, et al., 2015).

For at dyret skal ønske å benytte seg av GreenFeed stasjonen blir en liten mengde kraftfôr sluppet ned når dyret kommer inn i automaten og radiofrekvens identifikasjonsbrikken (RFID) registreres, dette er den elektroniske identifikasjonsbrikken som er i øremerket til dyret. Systemets vifter står kontinuerlig på og vil fange opp gassene som ekshaleres, hvor den videreføres til gassmåleren og verdiene blir registrert til dyrets RFID-nummer (Hirstov, et al., 2015).

Sammenligninger med målinger gjort ved hjelp av respirasjonskammer og SF<sub>6</sub> markør har vist at GreenFeed systemet produserer nøyaktige og repeterbare målinger av CH<sub>4</sub>, gitt at antall besøk per dag gir et representativt uttrykk av svingningene i gassproduksjonen gjennom døgnet (Hirstov, et al., 2015). Direkte sammenligning mellom målinger gjort i GreenFeed og respirasjonskammer hadde en korrelasjon på 0,92 (Zhao, et al., 2020), noe som viser at det er høyt samsvar mellom fenotypen i GreenFeed med gullstandard metoden for å måle CH<sub>4</sub>-produksjon for drøvtyggere.



For å sikre representative resultater av svingningene i gassproduksjonen til en drøvtygger, er det nødvendig med flere spot-målinger gjennom dagen, for en to ukers periode har det blitt vist at minimum 50 målinger er nødvendig for å sikre presisjonen (Renand og Maupetit, 2016), leverandøren av GreenFeed utstyret anbefaler minst 20 målinger innen dyr. For genetiske analyser er det anbefalt å ha minimum 5 ukers målingsperiode, hvor det i tillegg samles inn tilleggsinformasjon, slik som fôropptak. Målingene gjort med GreenFeed systemet har vist stor variasjon mellom dager og mellom dyr. Forklaringer for dette kan være siden systemet belager seg på frivillige besøk, variasjonen mellom dager og dyr kan dermed komme av ulik bruksaktivitet blant dyrene og ulik motivasjon for å besøke GreenFeed enheten for å spise kraftfôr (Zhao, et al., 2020).

## 2.4 Avlsarbeidet på NRF

Per 02.03.2020 var det 7 200 besetninger med melkekyr i Norge med totalt 207 280 melkekyr fordelt blant besetningene (Kjos, et al., 2021). Omtrent 200 000 NRF kalver blir født årlig, 100 000 av hvert kjønn. Blant oksekalvene blir de 8 000 beste basert på avstamning selektert for genotypetesting, hvor det igjen blir selektert ut 150 oksekalver som Geno kjøper og plasserer på Øyer teststasjon (Geno, 2020b). Gjennom oppholdet på stasjonen blir oksene fôret med grovfôr etter appetitt og kraftfôr basert på alder. Deretter vil 50-60 av de unge oksene selekteres basert på deres samlede avlsverdi, i tillegg til fordelingen av foreldre og de enkelte avlsverdiens vektlegging i henhold til avlsplanen. Om oksene tilfredsstiller krav om lynne, ridelyst, spermkvalitet og tilvekst vil de bli eliteokser og bli selektert videre til Store Ree (Geno, 2020b).

Oksene som kommer til teststasjonen, skal være avvendt fra melk (mellom 2 og 3 måneder gamle) og helst ikke eldre enn 4-5 måneder. De står først en periode i karantene før de blir oppstallet i binger som er inndelt etter alder opp til rundt 12 måneder. I bingenummer 18 har dyrene en gjennomsnittlig alder på mellom 10 og 11 måneder, bingen er utstyrt med en GreenFeed-enhet for CH<sub>4</sub>-målinger, som er den eneste kilde til kraftfôr for oksene i bingen. Målingen blir korrigert for bakgrunnsgasser i fjøset, og regnes om til CH<sub>4</sub> produsert i gram per dag (g/d) for hver måling.

## 2.5 Avl for redusert metangassproduksjon

Det har vært mye forskningsaktivitet rundt utviklingen av strategier og tiltak for en varig endring i drøvtyggerens CH<sub>4</sub>-produksjon. Forskning som gjøres på egenskapen blir i hovedsak gjort på melkekyr, i noen tilfeller kjøttfe men så langt det er kjent finnes det ingen studier som redegjør for CH<sub>4</sub>-utslippet hos okser av melkeraser.

De siste tiårene har ulike tiltak blitt presentert i de ulike disiplinene innen husdyrvitenskapen, men tiltakene har manglet en langvarig effekt (Martin, et al., 2010). Tilsetningsstoffer i fôret til dyrene gir en kortvarig og reversibel effekt på CH<sub>4</sub>-utslippet, for en permanent og eksponentiell endring vil

genetisk seleksjon kunne gi en gradvis økende effekt over flere generasjoner (Lassen og Difford, 2020). For å kunne inkludere egenskapen i avlsmålet for rasen er det nødvendig med kunnskap om arvbarheten for egenskapen og de genetiske korrelasjonene til andre viktige egenskaper.

Det er funnet arvelig variasjon for CH<sub>4</sub>-produksjon hos melkeku. Basert på informasjon samlet fra 12 GreenFeed-enheter har det blitt estimert en arvbarhet på 0,22 og gjentakingsgrad på 0,36 hos NRF kuer (Wethal et al., 2022). Tilsvarende arvbarheten på 0,25 ble estimert for dansk Holstein kuer (Zetouni, et al., 2018), og andre har funnet arvbarheter på 0,12-0,45 (Breider et al., 2019; Lassen & Løvendahl, 2016; Manzanilla-Pech et al., 2021; Pszczola, et al., 2017).

### 2.5.1 Genetiske korrelasjoner

Fertilitets- og helseegenskaper har vist en gunstig genetisk korrelasjon med CH<sub>4</sub>, seleksjon på disse egenskapene vil kunne ha en positiv effekt på redusert CH<sub>4</sub>-produksjon (Breider et al., 2019; de Haas et al., 2011; Kandel et al., 2018; Zetouni et al., 2018). Zetouni et al. (2018) estimerte genetiske korrelasjoner mellom CH<sub>4</sub> og en rekke egenskaper. CH<sub>4</sub> ble sammenlignet med kuas hold, kroppsdybde, rygglinje, brystbredde, høyde, melke kvalitet, intervall fra kalving til første inseminering, intervall fra første til siste inseminering, antall insemineringer, andre sykdommer og jurhelse. De genetiske korrelasjonene med CH<sub>4</sub> var lave, med unntak av hold, rygglinje og melke kvalitet, hvor den genetiske korrelasjonen var på henholdsvis -0,28, -0,30 og 0,28. Den genetiske korrelasjonen på 0,06 mellom CH<sub>4</sub>-produksjon og jurhelse (Zetouni, et al., 2018) skilte seg fra estimatet til Kandel et al. (2018), som estimerte en genetisk korrelasjon på 0,22 for jurhelse og CH<sub>4</sub>-produksjon. Denne korrelasjonen kan tyde på en sammenheng mellom egenskapene.

Garnsworthy et al. (2012b) estimerte den genetiske korrelasjonen mellom melkeproduksjon og CH<sub>4</sub>-produksjon til 0,71, mens Breider et al. (2019) estimerte genetiske korrelasjoner tilsvarende 0,49-0,54 og Manzanilla-Pech et al. (2021) estimerte genetisk korrelasjon på 0,29, de fant også genetiske korrelasjoner for slaktevekt på 0,65 og tørrstoffopptak på 0,41. En positiv korrelasjon mellom melkemengde og CH<sub>4</sub>-produksjon indikerer at seleksjon for redusert CH<sub>4</sub>-utslipp vil kunne påvirke utviklingen i melkeproduksjonen i en negativ retning, korrelasjonen styrker også antakelsen om at økt produksjonsintensitet fører til en økning i utslippet. Om seleksjonen ikke overvåkes nøye kan det ha negativ effekt på økonomisk viktige egenskaper som melkemengde og slaktevekt, og vil kunne påvirke tørrstoffopptaket (Breider, et al., 2019).

### 2.5.2 Direkte og indirekte seleksjon

Seleksjon for en egenskap kan bli gjort enten ved hjelp av direkte seleksjon, hvor det blir regnet ut avlsværdier basert på direkte fenotypedata på dyret eller slektninger. Dyr med lave målinger for CH<sub>4</sub> blir rangert høyere i avlsarbeidet. Et annet alternativ vil være indirekte seleksjon hvor genetisk korrelerte egenskaper blir selektert for. For å kunne selektere direkte for egenskapen er man avhengig

av nøyaktige målinger av mange individer, noe som kan være vanskelig og kostbart. Utvikling av direkte og indirekte målemetoder vil kunne øke muligheten for å redusere CH<sub>4</sub>-utslippene gjennom genetisk seleksjon og implementere egenskapen som en del av avlsplanen (de Haas, et al., 2011). Estimatenes for arvbarheten til egenskapen viser at seleksjon for redusert CH<sub>4</sub>-produksjon vil være mulig, og vil kunne resultere i kumulative og permanente forbedringer hos melkekyr (Garnsworthy, et al., 2012a).

Med indirekte seleksjon for en egenskap er det viktig med nok kjennskap på de genetiske sammenhengene, ved å bruke egenskaper som er sterkt knyttet til hverandre vil man kunne se en direkte effekt på egenskapen av interesse. Denne formen for seleksjon kan være like effektiv som å selektere direkte for CH<sub>4</sub>-egenskapen, spesielt om de genetiske korrelasjonene er sterke og det er nok kvalitetsinformasjon tilgjengelig for den andre egenskapen (de Haas, et al., 2011).

### 3.0 Materiale og metode

#### 3.1 Data

CH<sub>4</sub> målt i perioden fra 1. september 2020 til 31. desember 2021, hvor 96 okser av rasen NRF har vært innom bingen, i 11 forskjellige puljer, var tilgjengelig fra Geno. Informasjon om puljene kan ses i tabell 1. Oksenes avlsverdier for viktige egenskaper ble hentet fra Geno. Av de 96 oksene er det 55 okser som hadde relevante vektdata for å beregne tilvekst per dag gjennom oppholdet på teststasjonen.

*Tabell 1 – Antall okser, gjennomsnittlig alder, median, minimumsverdi og maksimumsverdi for alder i de 11 puljene det har blitt gjennomført metanmålinger på. Alderen i dager er et mål for perioden puljen oppholder seg i bingen med GreenFeed-enheten (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA).*

Pulje	Antall okser	Gjennomsnittlig alder i dager	Median alder i dager	Minimums alder i dager	Maksimums alder i dager
1	7	298	298	265	330
2	10	307	306	276	339
3	10	385	385	357	416
4	8	324	324	287	363
5	10	357	357	327	383
6	7	303	303	264	336
7	9	301	301	274	331
8	10	321	321	289	360
9	9	341	341	305	386
10	9	356	356	325	386
11	7	379	379	350	409

## 3.2 Variabler

Følgende variabler er brukt for å identifisere oksene og koble ulike datasett; RFID-nummer, GenoId og stamboknummer.

- Et RFID-nummer er identifikasjonsnummeret som står på det elektroniske øremerket til dyret. Inne i øremerket er det en radiofrekvens identifikasjonsbrikke som sender et elektronisk signal som de elektroniske verktøyene på gården tolker og videreformidler inn i gårdbrukerens systemer. RFID-nummeret består vanligvis av gårdsnummer og dyrets eget identitetsnummer som er individets opprinnelsesnummer i kukontrollen.
- GenoId er et unikt løpenummer for dyret som brukes i den interne databasen til Geno, nummeret består av ni tall.
- Stamboknummer er et løpendenummer som gis til oksene som blir seminokser, dagens NRF-okser har stamboknummer fra 12 000 og oppover.

### 3.2.1 Metangassdata

GreenFeed-enheten på Øyer teststasjon har i perioden fra 07.07.20 til 31.12.21 registrert 42 250 godkjente CH<sub>4</sub>-målinger fra 126 forskjellige okser. I perioden 07.07.20-03.09.20 hadde oksene i bingen uregelmessige besøk til automaten, og denne perioden ble derfor fjernet fra datasettet. I perioden 04.09.20-31.12.21 ble det registrert 41 285 CH<sub>4</sub>-målinger fra 96 forskjellige okser.

I GreenFeed automaten blir CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> målt mens dyret spiser kraftfôret det får servert. Hvert besøk dyret gjør gjennom dagen blir senere regnet om til g/d produsert av hver av gassene. Dette gis av selskapet C-Lock (C-Lock Inc. Rapid City, Sør-Dakota, USA), som er utviklerne av GreenFeed systemet og er ansvarlig for utvikling av system med tilhørende algoritmer.

Variablene av interesse i datasettet er:

- Dato. Datoen for besøket i GreenFeed automaten.
- CH<sub>4</sub> (g/d). Metangassen som ekshaleres av dyret og regnes om til gram per dag.
- Måned\_år. Måned og år som metangassregistreringen som ble gjort, hentet fra datoen for besøk.
- Pulje. Gruppen med okser som er inne i bingen samtidig, antallet okser i en pulje varierer over perioden som består av 11 forskjellige puljer.

### 3.2.2 Predikerte avlsverdier

Datasettet med informasjon om oksenes avlsverdier ble hentet ut fra Geno sin database. Datasettet inneholder okser født fra 2016 til og med 2021 som har registrert genotype hos Geno, dette blir gjort med alle oksekalver som er kandidat for innkjøp. Datasettet inneholder totalt 37 868 okser, hvor alle

96 oksene er representert. Informasjonen ble brukt til å regne ut korrelasjon med fenotypen, og med avlsverdien for CH<sub>4</sub> som gir en indikasjon på retning og størrelse til eventuelle genetiske korrelasjoner (Guttormsen 2011).

Datasettet inneholdt informasjon om den samla avlsverdien og avlsverdier for følgende 14 del-egenskaper:

- Melk. I melkeindeksen inngår en rekke andre egenskaper: fettprosent, proteinprosent, kg protein, kg fett og kg melk. Informasjonen for beregning av avlsverdiene er hentet fra kukontrollen, egenskapen vektlegges på en slik måte at den avlsmessige utviklingen vil være positiv for melkens tørrstoffnivå. Hos okser blir det et mål på det genetiske potensialet for melkeproduksjon som kan overføres til avkom (Geno, 2020c).
- Kjøtt. I kjøttindeksen inngår egenskapene fettgruppe, slakteklasse og slaktevekt. Informasjonen om disse egenskapene registreres hos slakteriene og blir overført til kukontrollen. Opplysningene som blir benyttet er bare fra okser som slaktes (Geno, 2020c).
- Bein. Beinindeksen er en samleindeks som hovedsakelig bedømmes på beinstilling og kodeledd (Geno, 2020c).
- Fruktbarhet. I fruktbarhetsindeksen inngår intervallet fra kalving til første inseminering og antallet insemineringer til drektighet for kviger og kuer (Geno, 2020d)
- Jur. Jurindeksen er en samleindeks som består av mange enkeltegenskaper for jurets funksjon. Avstand mellom spener skal ikke være for stor eller liten, og tykkelse på spener vurderes. Dyret skal ikke være hindret av jurets størrelse eller form i den grad at bevegelse blir hemmet eller skader forekommer oftere enn de bør (Geno, 2020e).
- Jurhelse. Indeksen for jurhelse består av celletall og klinisk mastitt, mastitt er den vanligste sykdommen for den norske melkekua og gir store tap økonomisk (Geno, 2020f).
  - Mastitt. Mastitt indeksen deles inn i syv forskjellige underegenskaper, tre i første laktasjon og to i andre og to i tredje laktasjon (Geno, 2020f).
- Klauvhelse. Korketrekkerklauv, infeksjøs- og forfangenhetsrelaterte klauvlidelser er delindeksene som er med i beregningen av klauvindeksen (Geno, 2020f).
- Andre sykdommer. Egenskapene som inngår i andre sykdommer, er:
  - Ketose
  - Melkefeber
  - Tilbakeholdt etterbyrd
  - Eggstokkcyster
  - Børbetennelse
  - Brunstmangel
- Samla avlsverdi. Den totale avlsverdien er det totale genetiske potensialet som dyret har (Tajet, 2021).

Fordelingen av avlsverdiene hos de 96 oksene med registrerte CH<sub>4</sub>-målinger finnes i tabell 2, gjennomsnitt, standardavvik, median, minimumsverdi og maksimumsverdi for alle egenskapene i datasettet er gitt i tabellen.

Tabell 2 – Gjennomsnitt, standardavvik, median, minimumsverdi og maksimumsverdi for avlsverdiene til de 15 egenskapene og den totale avlsverdien til de 96 oksene med registrerte metangassmålinger.

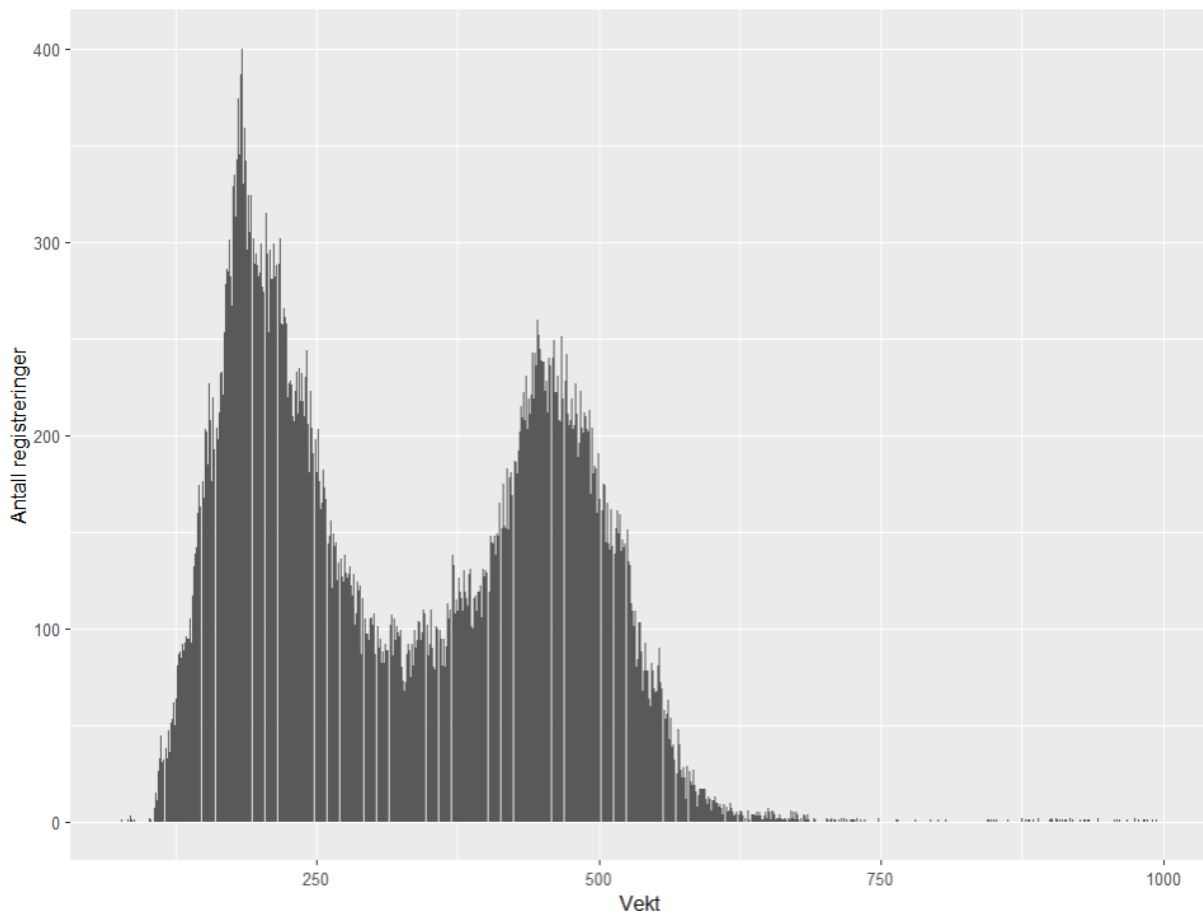
Egenskap	Gjennomsnitt	Standardavvik	Median	Min	Max
Melkeindeks	119	9,81	120	92,6	146
Kjøttindeks	101	11,3	101	76,1	133
Fruktbarhetsindeks	108	8,61	108	91,4	131
Indeks for stille brunst	101	10,4	101	72,8	120
Jurindeks	118	8,9	118	92,2	139
Indeks for bein	106	10	105	80,8	132
Indeks for jurhelse	112	9,8	113	80,2	133
Indeks for mastitt	108	9,5	108	81,4	127
Indeks for klauvhelse	104	7	104	86,4	122
Indeks for andre sykdommer	102	10,4	103	65,4	128
Indeks for ketose	10	11,3	103	72,2	126
Indeks for melkefeber	102	11,3	102	68,7	127
Indeks for tilbakeholdt etterbyrd	99,8	11,3	100	69,4	127
Indeks for eggstokkcyster	99,8	11,3	99,6	70,8	130
Indeks for børbetennelse	101	10,9	102	74,5	123
Samla avlsverdi	32,1	7	31,8	13,2	56,2

### 3.2.3 Vekt og tilvekst

Når oksene på teststasjonen kommer ut av karantene blir de plassert i bing 1 og flyttet ettersom de vokser opp til bing 20. Alle bingene, utenom bing 18 med GreenFeed enheten, er utstyrt med en vekt foran kraftfôrautomaten, slik at informasjon om vekten til oxen skal registreres automatisk hver gang den går for å spise kraftfôr. Vektene har tidligere blitt benyttet for utregning av tilvekst hos oksene på stasjonen, dette har blitt faset ut og vektene blir derfor ikke ettersatt og vedlikeholdt like systematisk som tidligere.

Datasettet med den innsamlede vektinformasjonen inneholdt 80 605 vektmålinger av 228 forskjellige okser. På grunn av mange ekstremmålinger, ble det satt en minimumsgrense på 70 kg og en maksimumsgrense på 1000 kg, for at et dyr skal telles som gyldig ble det satt at det måtte ha minimum

25 registrerte målinger. Totalt 77 653 målinger på 224 dyr gjenstod etter dette. Figur 5 viser fordelingen av de registrerte vektene i datasettet, de to toppene viser at det mangler vektregistreringer i de midterste bingene.



Figur 5 – Fordeling av registrerte vekt i løpet av perioden 01.01.2019-31.12.2021. Minimums- og maksimumsgrenser for registrert vekt ble 70kg og 1000kg. Figuren viser de 77 653 registrerte vektene hos 224 okser som gjenstod etter filtreringen.

Tabell 3 viser antall registrerte vekter, antall dyr registrert i bingen gjennom perioden og gjennomsnittlig antall vektregistreringer per dyr alle bingene. Krav for at en binge ansees som gyldig er at det er minimum 2000 vektregistreringer, vektdata fra binge nummer 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13 og 14 ble dermed fjernet.

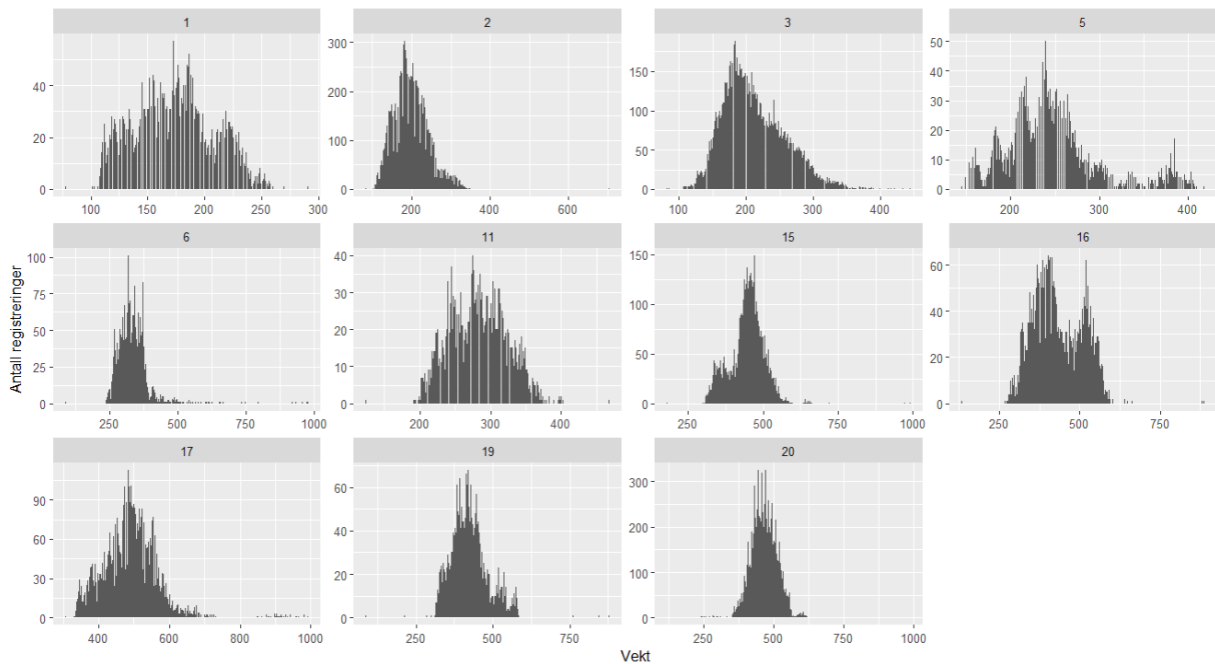
Tabell 3 – Antall vektregistreringer i bingen, antall registrerte dyr i bingen gjennom perioden og det gjennomsnittlige antallet vektregistreringer per dyr som har blitt registrert i bingen gjennom perioden, for binge 1-20.

\* Mangler vektplattform på grunn av GreenFeed-enhet.

Binge	Antall vektregistreringer	Antall registrerte dyr i bingen gjennom perioden	Gjennomsnittlig antall vektregistreringer per dyr
1	3 431	23	149,2
2	13 272	89	149,1
3	15 000	95	157,9
4	1 480	21	70,5
5	2 880	30	96,0
6	2 939	30	98,0
7	25	3	8,3
8	49	4	12,3
9	52	5	10,4
10	160	1	160
11	2 823	30	94,1
12	1 757	20	87,9
13	0	0	0
14	0	0	0
15	6 521	41	159
16	4 815	52	92,6
17	6 645	34	195,4
18*	-	-	-
19	3 322	46	72,2
20	12 482	63	198,1

Med de resterende bingene gjenstod 74 130 registrerte målinger fordelt på 215 okser, illustrert i figur 6. 40 av oksene hadde både vektdata og CH<sub>4</sub>-registreringer.





Figur 6 – Fordelingen i registrerte vektet bingene 1, 2, 3, 5, 6, 11, 15, 16, 17, 19 og 20. Bingene 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13 og 14 hadde utilstrekkelig med informasjon fra bingen og bing 18 har ikke vekt. Figuren inneholder 74 130 registrerte vektet på 215 okser.

Variablene av interesse fra dette datasettet er:

- Vekt – vekten som blir registrert, måles i kilogram.
- Binge – dette er nummeret på bingen der dyrene er oppstallet.
- Fødselsdato – datoen dyret har blitt registrert født.
- Veiedato – datoen for registrering av vekt for dyret, dette har blitt brukt sammen med fødselsdatoen til dyret for å regne ut alder i dager.
- Alder i dager – alder i dager på datoen for veiing.

Vektdata ble brukt for å beregne tilvekst:

- Tilvekst – Differansen mellom første og siste vektmåling, delt på antall dager mellom målingene. 100 dager var minimumskrav for antall dager mellom målingene.

### 3.2.4 Annen tilleggsinformasjon

For å finne alderen til oksene på datoen CH<sub>4</sub> ble målt, var det nødvendig med et eget datasett med informasjon om fødselsdatoen til alle oksene som var inkludert i analysen. Dette datasettet ble bare brukt sammen med metandatasettet.

I enkelte tilfeller vil RFID-merket til dyret falle av, da vil det bli plassert inn ett erstatningsmerke. Nummeret på det nye merket har ikke det samme nummeret som det originale RFID-nummeret til dyret. For at metandatasettet skulle inneholde riktig identifikasjonsnummer, ble et datasett med informasjon om erstatningsmerker brukt for å oppdatere RFID-nummeret til de aktuelle oksene.

### 3.3 Statistisk analyse og modell

For dataanalysen ble Rstudio (v4.1.1) brukt, med tilleggspakkene; tidyverse (v1.3.1) brukt for editering av datasett, ggplot2 (v3.3.5) brukt for konstruksjon av figurer, readxl (v1.3.1) brukt til å laste inn filer, corrplot (v0.92) brukt til å finne korrelasjoner og lage korrelasjonsplott, lubridate (v1.8.0) brukt for å gjøre datoer gjenkjennbare for programmet og lme4 (v1.1-28) er brukt for å lage modeller (R Core Team, 2021).

Varianskomponenter og avlsverdier for CH<sub>4</sub>-produksjon ble estimert med følgende lineære dyremodell i DMU (Madsen og Jensen, 2013):

Metan = Alder + Pulje + Testdag + Permanent miljøeffekt av dyr + Dyr additiv genetisk + e

hvor,

Metan er metanmåling (g/dag) – en observasjon per besøk i GreenFeed

Alder er den faste effekten av dyrets alder målt i uker, med 22 klasser. Alderen varierer mellom 38 og 59 uker.

Pulje er den faste effekten av puljen for dyret, med 11 klasser.

Testdag er den tilfeldige effekten av dagen CH<sub>4</sub>-gass ble målt, med 483 klasser.

Permanent miljøeffekt er den tilfeldige effekten av dyret selv, fordi det er gjentatte målinger innen individ, med 96 klasser.

Dyr (additiv genetisk) er den additive genetiske effekten av dyret effekten er koblet opp mot slektskapsfil med informasjon om seks generasjoner, slektskapsfilen inneholder totalt 3 354 dyr.

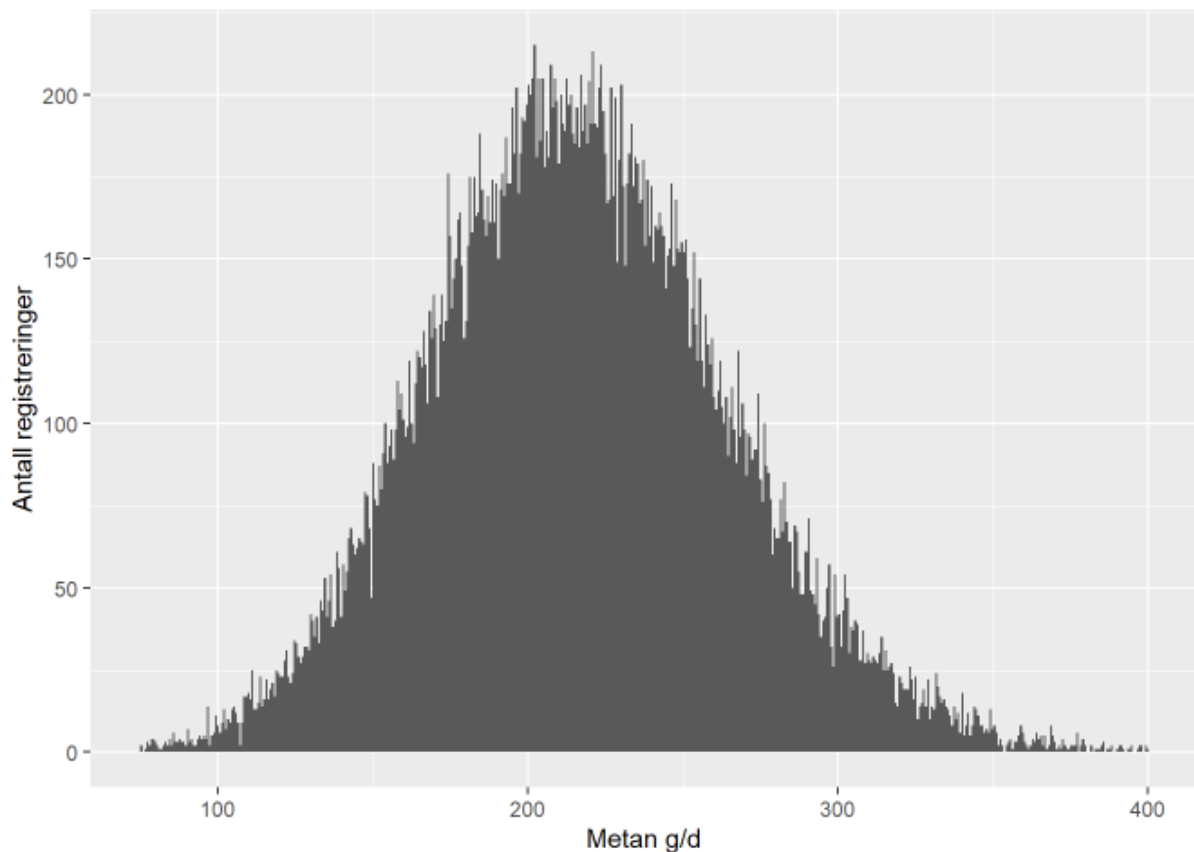
e er residualeffekten for modellen, variasjon som ikke blir inkludert i modellen.

Varianskomponenter for de tilfeldige effektene av testdag ( $\sigma^2_{\text{testdag}}$ ), permanent ( $\sigma^2_{\text{pe}}$ ), additiv genetisk effekt ( $\sigma^2_{\text{a}}$ ) og residual ( $\sigma^2_{\text{e}}$ ) ble estimert. Avlsverdi for oksene ble beregnet og var sammen med løsninger for de faste effektene av alder og pulje gitt i løsningsfilen (SOL-fil) fra DMU.

## 4.0 Resultater

### 4.1 Beskrivende statistikk

Fordelingen av alle CH<sub>4</sub>-målinger som var registrert gjennom perioden er illustrert i figur 7, histogrammet viser normalvariasjon i målt CH<sub>4</sub>, fra 75,2 til 399,6 g/d.



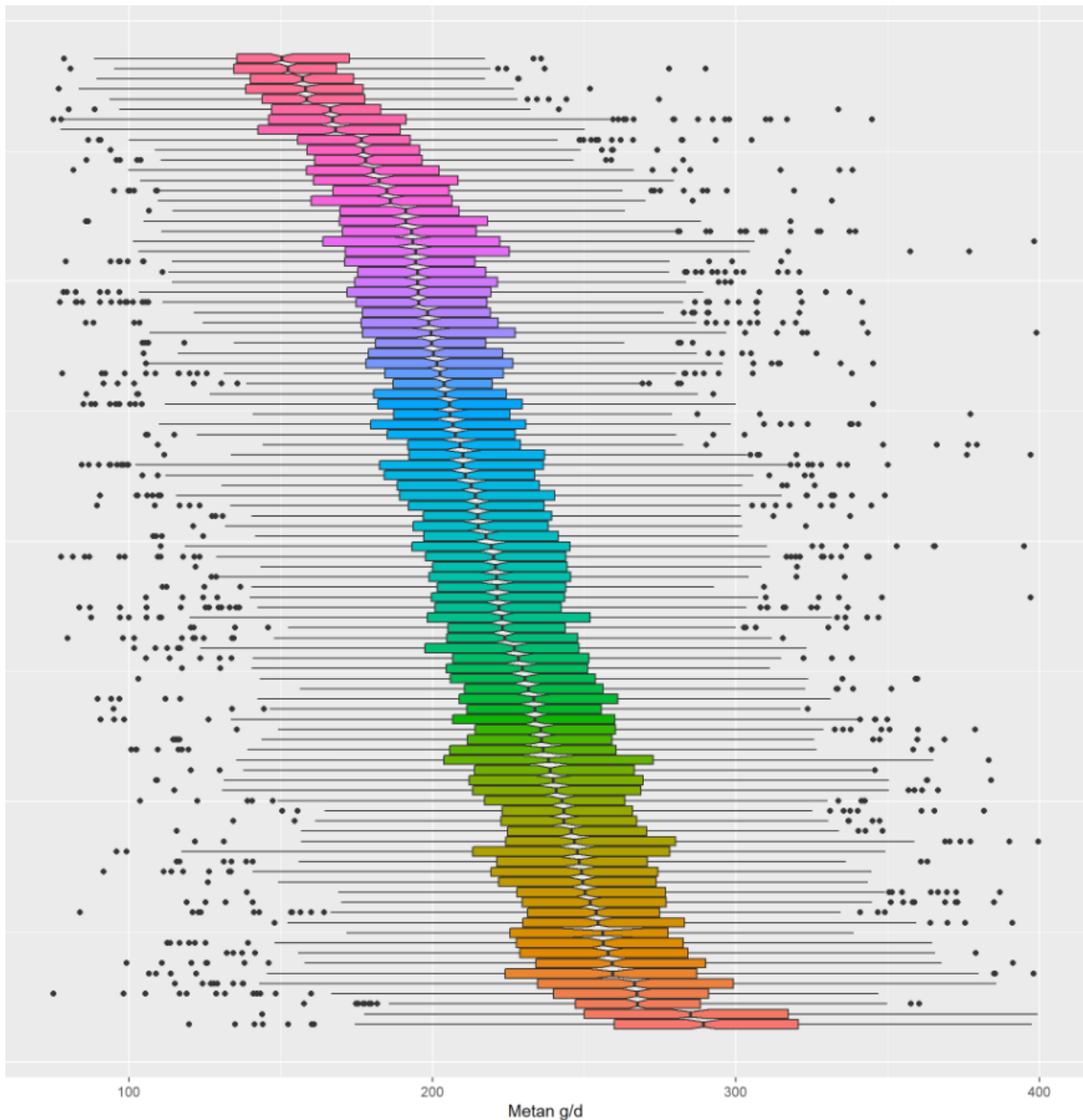
Figur 7 - Fordeling av metangassmålinger (CH<sub>4</sub>) gjennom måleperioden, antall målinger er vist i y-aksen og x-aksen viser CH<sub>4</sub> målt i gram per dag (g/d). Det er en variasjon mellom 75,2 og 399,5 g/d CH<sub>4</sub>-gass.

Det fenotypiske gjennomsnittet med standardavvik for de registrerte CH<sub>4</sub>-verdiene er  $217 \pm 48$  g/d og medianen i fordelingen ligger på 215 g/d. Det ble registrert  $372 \pm 126$  målinger av CH<sub>4</sub> i gjennomsnitt per okse i løpet av perioden, oxen har mulighet til å besøke automaten opp til 10 ganger i døgnet, dette tilsvarer dermed 37 dager med data per okse.

Boksplottet i figur 8 viser forskjellen mellom oksene gjennom måleperioden. Oksene er sortert med en stigende median, hvor boksen representerer 50 % av målingene med en vertikal linje på innsiden som er median, de resterende 50 % representeres av strekene ut på hver side av boksen og ekstremverdier vises som punkter utenfor linjen. Det innsnevrede intervallet i boksene gir det estimerte 95 % konfidensintervall (KI), gitt ved:

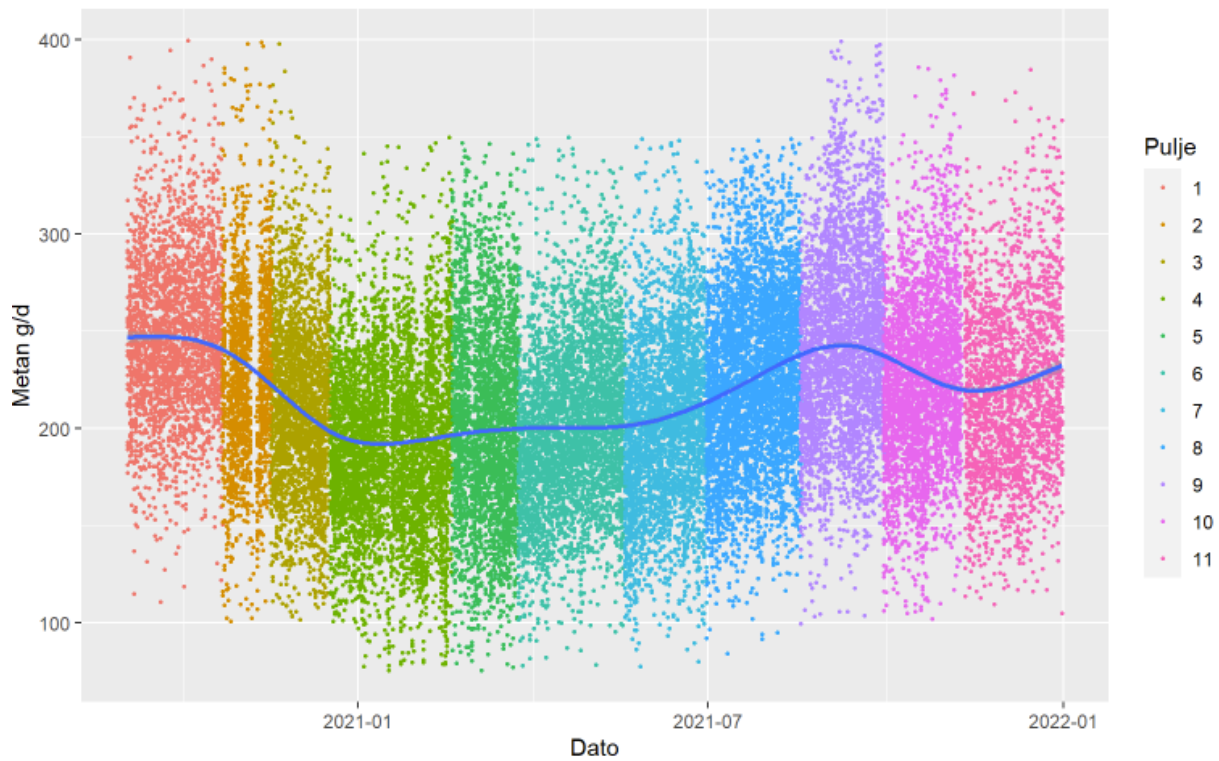
$$95 \% KI = Median \pm 1,58 \times IQR \div \sqrt{n},$$

dette er et grovt estimat og er basert på medianen til en gruppe, det interkvantile rekkeviddet (IQR) og antallet observasjoner (n) i en gruppe. Om intervaller ikke overlapper gir det en indikasjon på at det er en signifikant forskjell mellom gruppene. Oksen med lavest median lå på 150,3 med et fenotypisk gjennomsnitt på  $152,5 \pm 28,5$ , med min og maks-verdi på henholdsvis 78,8 og 235,8 gram CH<sub>4</sub> per dag. Oksen med høyeste median lå på 289,2 g/d med et fenotypisk gjennomsnitt på  $286,8 \pm 47,6$  g/d og min/maks-verdi på 119,9 og 397,5 gram CH<sub>4</sub> per dag.



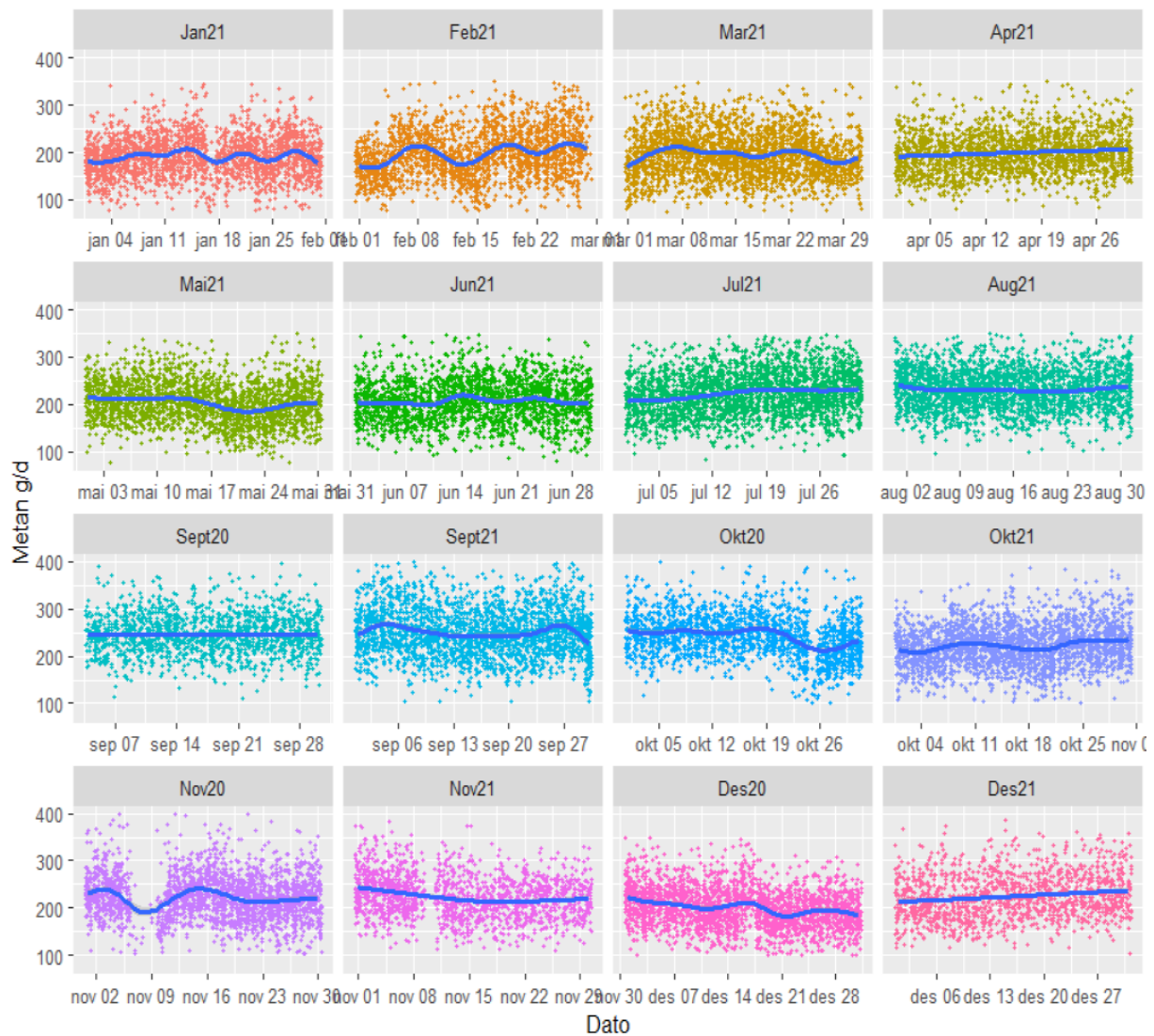
Figur 8 – Fordelingen av metangass ( $CH_4$ ) registrert hos 96 NRF-okser gitt i gram per dag (g/d). Boksplottet viser en boks for hver okse, sortert med økende median (strek på innsiden av boksen). Boksen dekker 50 % av de registrerte  $CH_4$ -verdiene og strekene på hver side av boksen viser de resterende 50 % av registrerte  $CH_4$ -verdiene, punktene på siden av linjene er målinger merket som ekstremverdier. Et 95 % konfidensintervall (KI) for median er gitt ved det innsnevrede intervallet, hvor medianen, det interkvantile rekkeviddet (IQR) og antallet observasjoner (n) per gruppe er brukt i formelen  $95\% \text{ KI} = \text{Median} \pm 1,58 \times \text{IQR} \div \sqrt{n}$ .

Hele perioden med  $CH_4$ -målinger er illustrert i figur 9, der  $CH_4$ -målinger på oksene deles inn i 11 ulike perioder der første periode startet med første puljen i september 2020 og pulje 11 på sluttet av desember 2021. Det er lagt på en generell additiv modell (GAM) regresjonslinje med formelen  $y \sim s(x, \text{bs} = \text{'cs'})$ .



Figur 9 - Spredning av metangass ( $CH_4$ ) registrert i perioden september 2020 til desember 2021, og målt på 96 NRF okser i GreenFeed (C-lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA).  $CH_4$  er oppgitt i gram per dag (g/d) på y-aksen, mens dato er oppgitt på x-aksen. Den blå linjen viser regresjonslinjen for en generalisert additiv modell, med formelen  $y \sim s(x, bs = 'cs')$ . Hvert punkt illustrerer ett besøk i GreenFeed-enheten, for de 11 puljene.

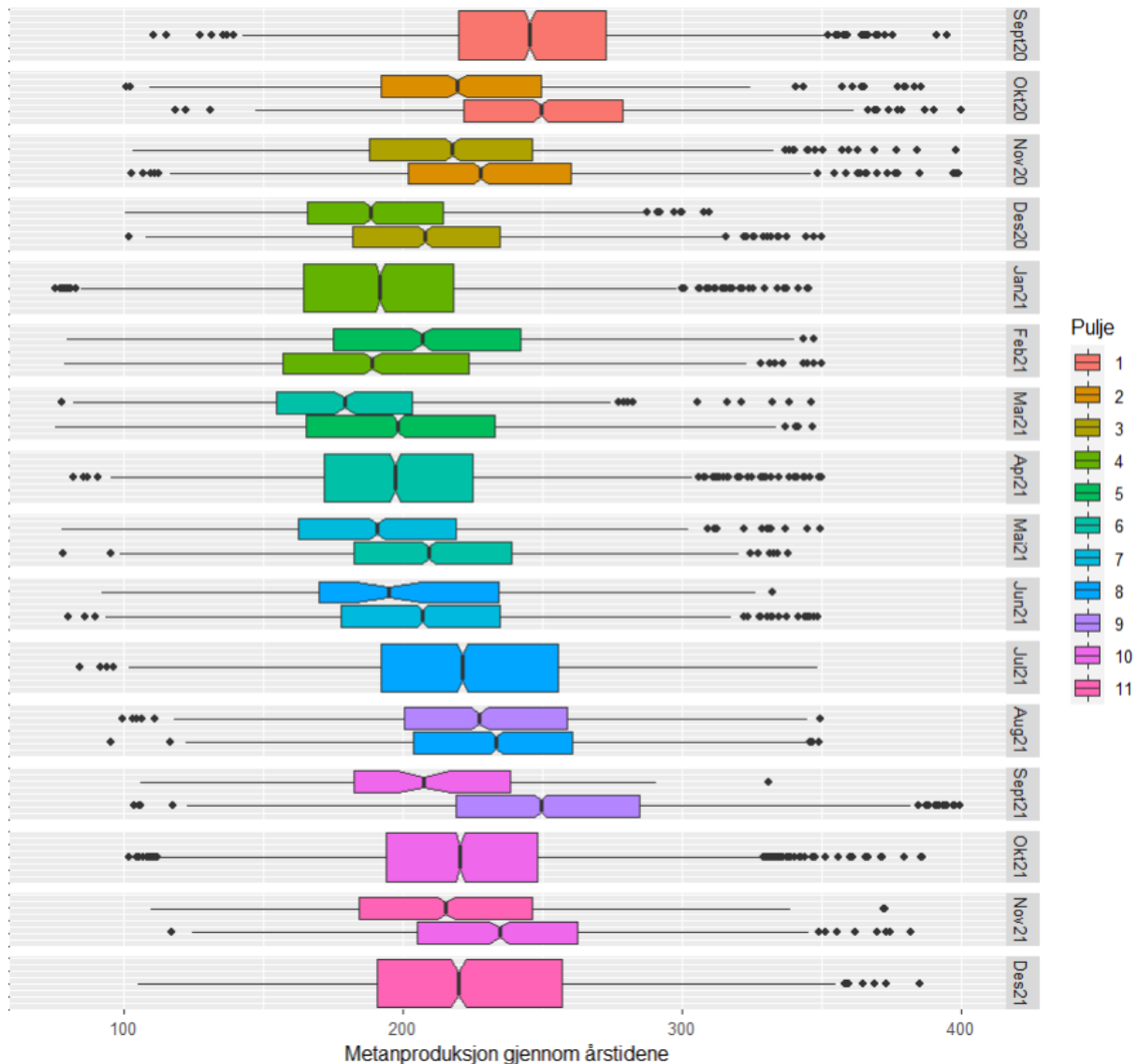
Variasjonen av  $CH_4$  over tid inndelt i måned\_år er fremstilt i figur 10, figuren illustrerer variasjon innad måned\_år med en GAM regresjonslinje med formelen  $y \sim s(x, bs = 'cs')$ .



Figur 10 - Variasjon i registrert metangass ( $CH_4$ ) gitt i gram per dag (g/d), målt på 96 NRF okser i GreenFeed (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA) på Øyer teststasjon, Øyer kommune.. Figuren er inndelt i de 16 månedene for perioden, med  $CH_4$  på y-aksen og tid på x-aksen. Den blå linjen er regresjonslinjen for modellen, med formelen  $y \sim s(x, bs = 'cs')$  og hvert punkt illustrerer ett besøk i GreenFeed-enheten.

Fordelingen av registrerte  $CH_4$ -verdier for de 11 puljene er illustrert i figur 11, figuren er delt inn i måned\_år hvor puljene som inngår i måneden er vist som en boks som dekker 50 % av observasjonene for den gitte puljen, den vertikale streken på innsiden av boksen er medianen for puljen i den gitte perioden. De horisontale strekene ut av boksen er de resterende 50 % av  $CH_4$ -observasjonene med ekstremverdier gitt som punkter ved siden av streken. Ett innsnevret intervall er inkludert i figuren for

å gi et estimat for et 95 % konfidensintervall, i likhet med figur 8, om det ikke er overlapp i intervallet gir det en indikasjon på signifikant forskjell mellom grupper.



Figur 11 – Figuren viser fordelingen av metangass ( $CH_4$ ) målt på 96 NRF okser i GreenFeed (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA), for de 11 puljene gitt i gram per dag (g/d) over 16 måneders periode. Puljene som har vært i bingen den gitte måneden vises som en boks som inneholder median (streaken vertikalt på innsiden av boksen) for puljen i perioden. Boksen dekker 50 % av de registrerte  $CH_4$ -verdiene for den gitte perioden, mens de horisontale strekene ut av boksen representerer de resterende 50 %, ekstremverdiene er gitt av punktene på siden av linjene. Et 95 % konfidensintervall (KI) for median er gitt ved det innsnevrede intervallet, hvor medianen, det interkvantile rekkevidde (IQR) og antallet observasjoner ( $n$ ) per gruppe er brukt i formelen  $95\% \text{ KI} = \text{Median} \pm 1,58 \times \text{IQR} \div \sqrt{n}$ .

## 4.2 Arvbarhet

Basert på de estimerte varianskomponentene i tabell 4, ble den estimerte arvbarheten for  $CH_4$ -produksjon

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_{testdag}^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_e^2} = 0,232$$



med gjentaksgarden

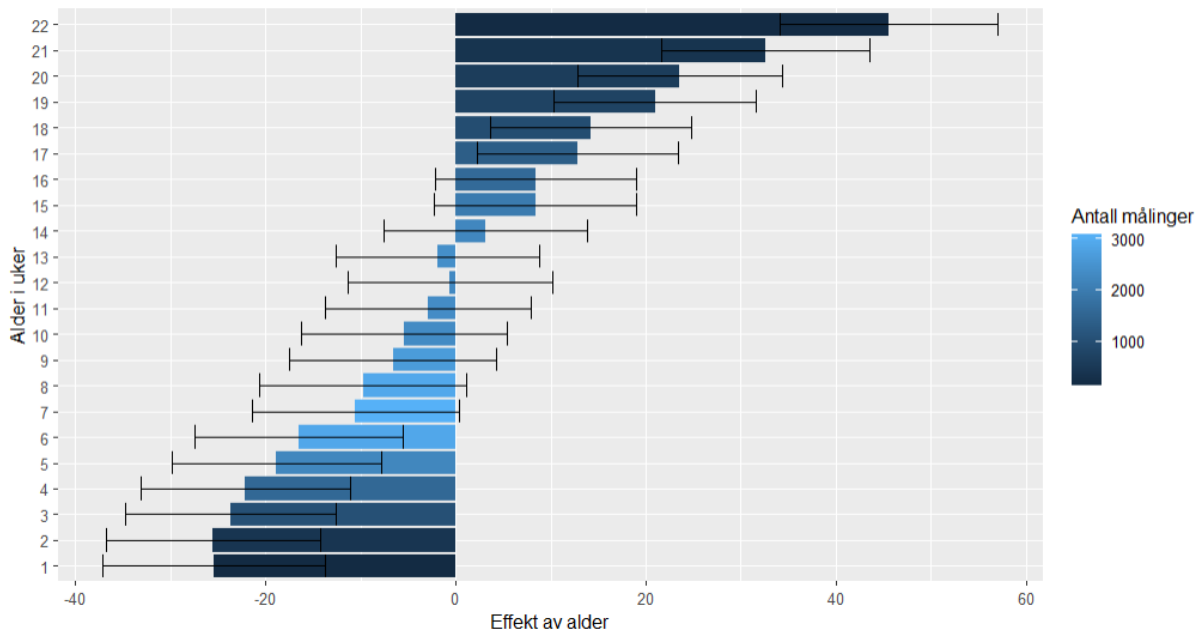
$$r = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2}{\sigma_{testdag}^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_e^2} = 0,322$$

Variasjonskoeffisienten (CV) beregnes fra det additivt genetiske standardavviket ( $\sqrt{\sigma_a^2}$ ) og populasjonens gjennomsnitt, for CH<sub>4</sub>-egenskapen blir 0,1 basert på effekten av additive genetiske variansen i tabell 4.

Tabell 4 – Estimert varians for testdag ( $\sigma_{testdag}^2$ ), permanent miljøeffekt ( $\sigma_{pe}^2$ ), additiv genetisk effekt ( $\sigma_a^2$ ) og residual ( $\sigma_e^2$ ), og estimatenes standardfeil (SE).

Varianskomponent	Estimat	SE
$\sigma_{testdag}^2$	116,77	9,06
$\sigma_{pe}^2$	183,42	341,88
$\sigma_a^2$	474,94	373,2
$\sigma_e^2$	1271,41	9,57

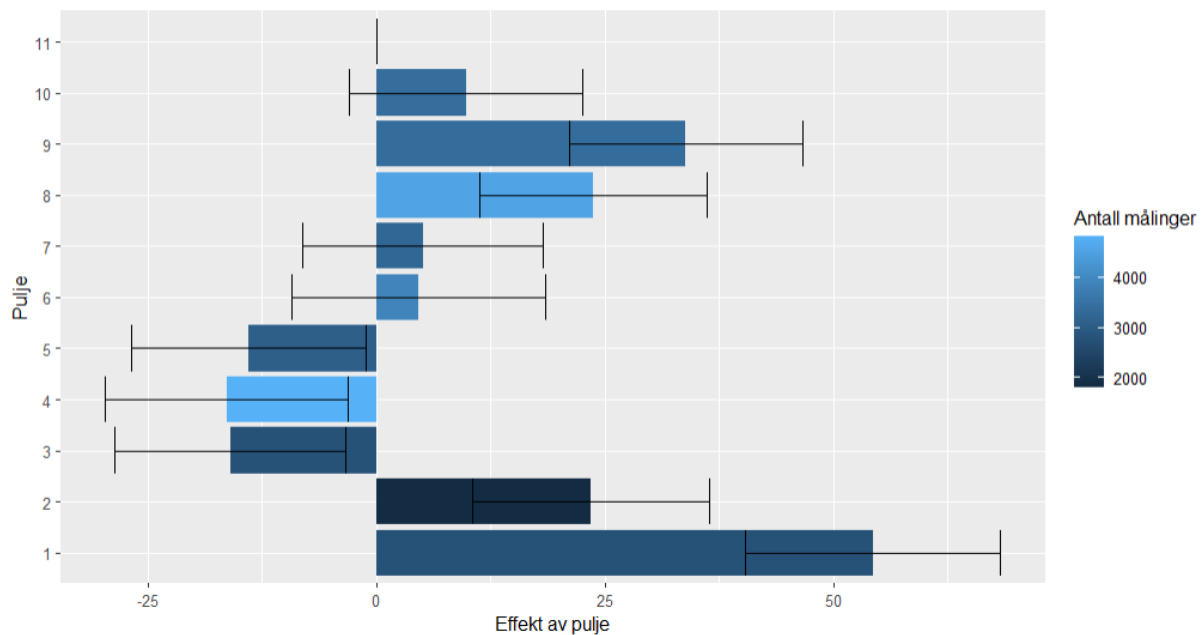
Løsninger for fast effekt av alder på CH<sub>4</sub>-produksjon er fremstilt i figur 12, alderen på dyrene ved observasjonsdato varierte fra 38 til 59 uker. Figuren viser en tydelig effekt av alder på CH<sub>4</sub>-utslipp, CH<sub>4</sub>-utslipp øker med økende alder hos oksene. Det var signifikant forskjellig utslipp mellom de yngste og eldste oksene.



Figur 12 – fast effekt av alder på metanutslipp målt som g/d for 96 NRF okser i GreenFeed (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA). Løsninger på de faste effekter (BLUE) er fra løsningsfilen (SOL-fil) fra DMU. Alder er gitt med 22 klasser hvor klasse 1 tilsvarer en alder på 38 uker og klasse 22 tilsvarer en alder på 59 uker. Figuren er farget etter antall

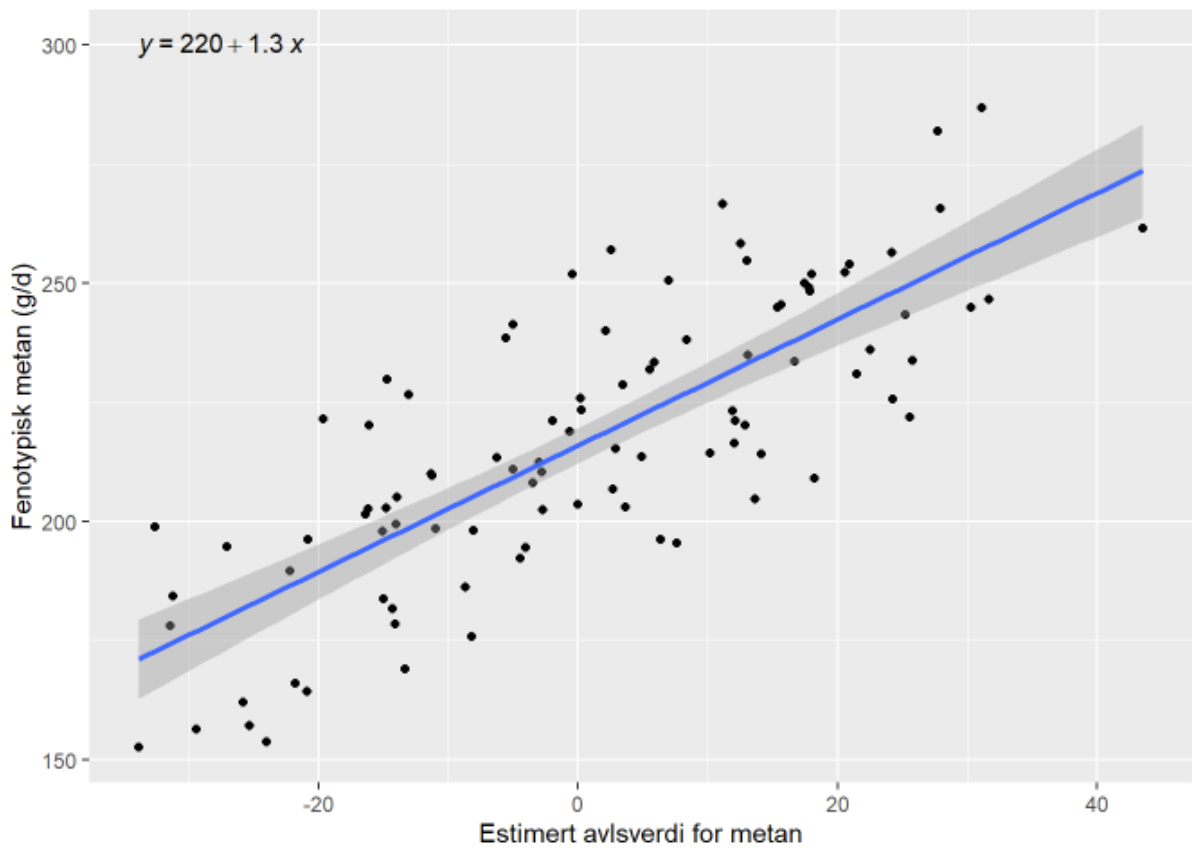
registreringer av metangass ( $CH_4$ ) det er for den gitte klassen. 95 % konfidensintervall for den estimerte effekten er gitt for hver alder.

Løsninger for den faste effekten av pulje fremstilt i figur 13 er en refleksjon av variasjonen man kan se de forskjellige årstidene, hvor man kan se forskjell i antall registrerte målinger, det er ikke et mønster som tyder til at dette er årsaken til variasjonen.



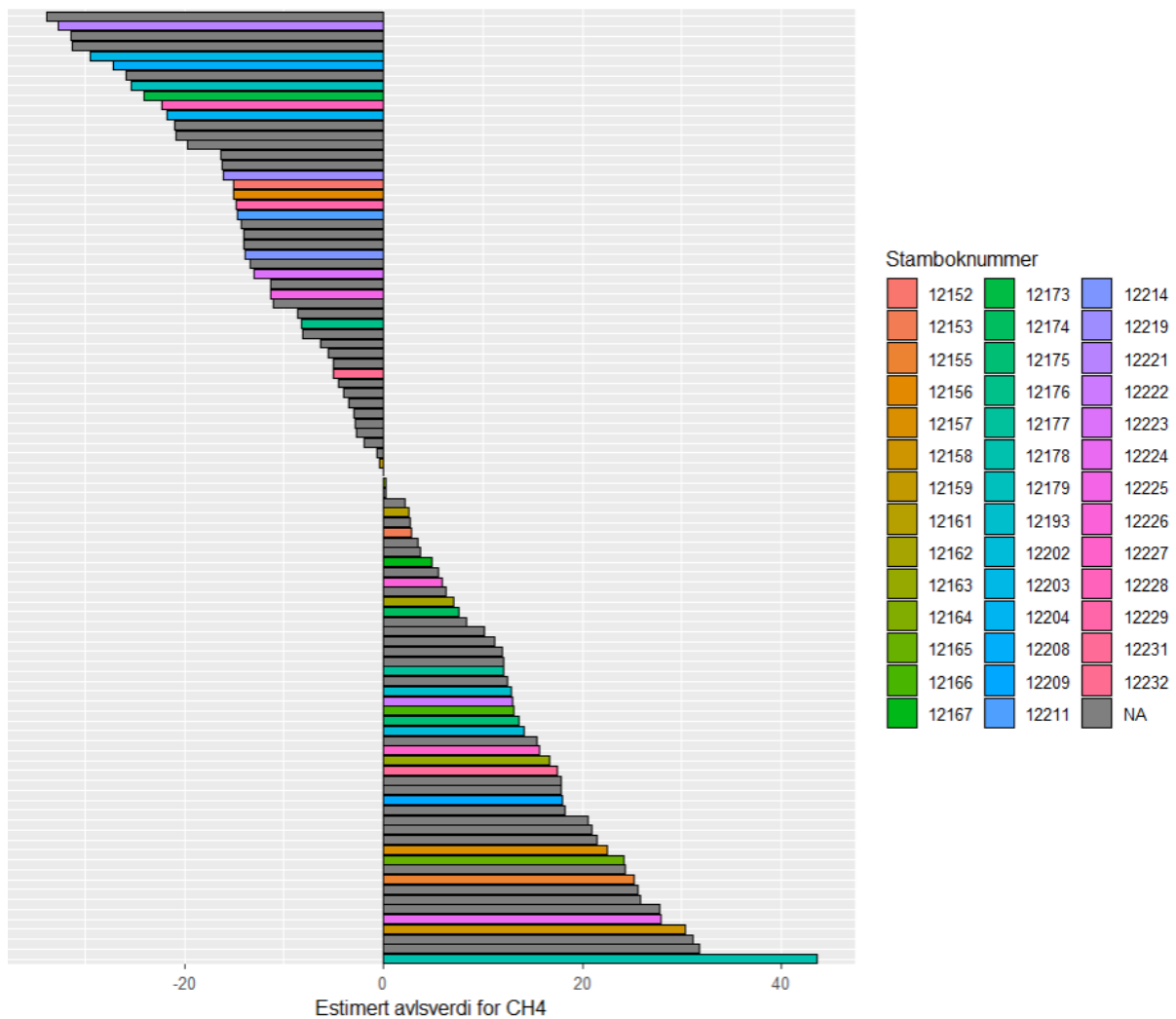
Figur 13 – Fast effekt av pulje på metangass ( $CH_4$ ) produksjon for 96 okser målt i GreenFeed (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA). Løsningen for den faste effekten av pulje er fra løsningsfilen (SOL-fil) fra DMU, med 11 puljer. Lysere blåfarge i figuren illustrerer flere  $CH_4$  målinger innen pulje med 95 % konfidensintervall for den estimerte effekten av pulje er illustrert som svart strek. Pulje 11 benyttes som referanse og har derfor ikke et konfidensintervall i figuren.

Fordelingen av de predikerte avlsverdiene og det fenotypiske gjennomsnittet for  $CH_4$ -produksjon er fremstilt i figur 14, det er lagt på en lineær regresjonslinje med formelen  $y = 220 + 1,3x$  og standardfeilen med 95 % sikkerhet er vist langs linjen. I figuren er lav avlsverdi for  $CH_4$  gunstig, der høy avlsverdi for egenskapen gir høyere  $CH_4$ -produksjon i g/d.



Figur 14 – Fordeling av predikerte avlsverdier (EBV) og fenotypiske gjennomsnitt for metangass ( $CH_4$ ) produksjon for 96 NRF-okser med data fra GreenFeed (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA), med en lineær regresjonslinje med formelen  $y = 220 + 1,3x$ , og standardfeil med 95 % sikkerhet markert langs regresjonslinjen.

De predikerte avlsverdiene for  $CH_4$ -produksjon for de 96 oksene kan ses i figur 15, hvor boksene fylt med farge er okser med stamboknummer, det vil si okser som ble selektert som seminokser og grå bokser er okser som ikke gikk videre. Figuren viser spredningen i de predikerte avlsverdiene med et gjennomsnitt på  $0,82 \pm 17,5$ , laveste og høyeste verdi ble predikert til -33,8 og 43,5.



Figur 15 – Predikert avlsverdi for metan for 96 NRF-okser, i økende rekkefølge, med fenotype data på metangass. Figuren er farget for de 41 oksene med stamboknummer og grå for okser som ikke gikk videre.

### 4.3 Sammenhenger mellom metan og egenskaper i samlet avlsindeks for NRF

Korrelasjonene mellom fenotype og avlsverdier for CH<sub>4</sub> og avlsindekser som i dag blir beregnet rutinemessig på NRF står i tabell 5. Positive korrelasjoner (større enn null) er vist med blå farge mens negative (mindre enn null) har rød farge. Styrken på korrelasjonen er reflektert i styrken på fargen, en sterk korrelasjon vil ha mer intens farge mens en svak korrelasjon vil være hvitere. En negativ korrelasjon er gunstig, dette kommer av at lave verdier av den predikerte avlsverdien og det fenotypiske gjennomsnittet for CH<sub>4</sub> er ønskelig, i tillegg til høye avlsverdier for samlet avlsindeks og de 14 del-egenskapene. Korrelasjon mellom den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> og indeksene vil gi en indikasjon på retning og størrelse på den genetiske korrelasjonen mellom egenskapene (Guttormsen, 2011). Korrelasjonene varierte fra -0,2 til 0,31. Korrelasjonene med rosa sirkel var ikke signifikante, sterkest korrelasjon ble funnet mellom predikert avlsverdi for CH<sub>4</sub> og kjøttindeksen, med 0,31.

Tabell 5 – Korrelasjon mellom fenotypisk gjennomsnitt for metan (CH<sub>4</sub>) og predikert avlsverdi for CH<sub>4</sub> med delindekser for 14 egenskaper og samla avlsverdi for Norsk Rødt Fe (NRF). En gunstig korrelasjon mellom den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjon og de andre avlsverdiene vil være negativ, dette er fordi det er ønskelig med lave fenotypiske gjennomsnitt og predikerte avlsverdier for CH<sub>4</sub>, mens de andre avlsverdiene er høye. Fargen illustrerer styrken på korrelasjonen, hvor blå er positiv og rød er negativ, korrelasjonene med rosa sirkel er ikke signifikante.

	Metan_avlsverdi	Metan_fenotypisk
Metan_avlsverdi	1	
Metan_fenotypisk	0.79	1
Melkeindeks	-0.08	0.02
Mastitt_indeks	0.04	0.04
Kjøttindeks	0.31	0.25
Indeks_andre_sykdommer	0.15	0.25
Ketose_indeks	-0.2	-0.14
Melkefeber_indeks	0.22	0.28
Tilbakeholdt_etterbyrd_indeks	-0.06	-0.01
Eggstokk_cyste_indeks	-0.1	0
Borbetennelse_indeks	0.1	0.02
Stille_brunst_indeks	0.06	0.11
Jur_indeks	-0.02	-0.05
Jurhelse_indeks	-0.02	-0.03
Bein_indeks	0.05	0.04
Klauvhelse_indeks	-0.03	-0.02
Total_avlsverdi	-0.02	-0.03

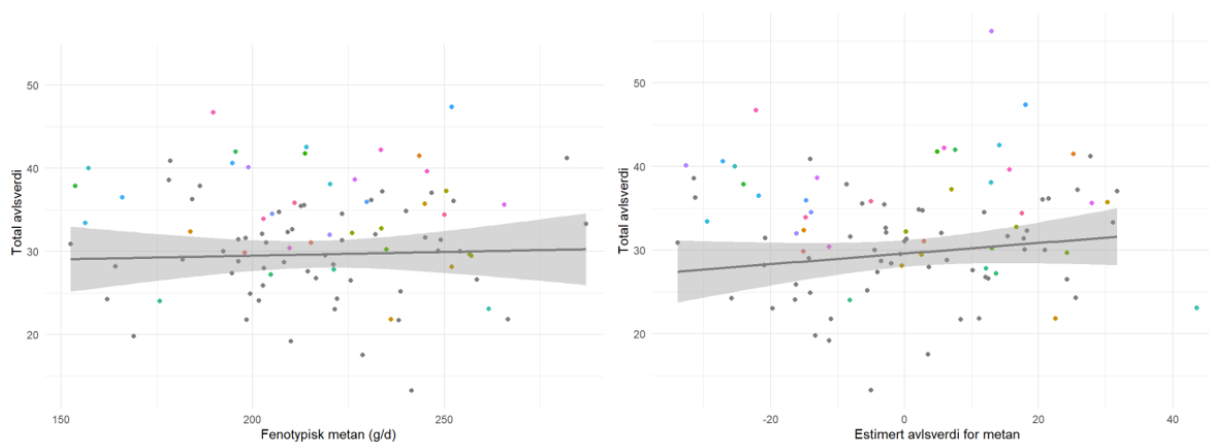
Figuren viser at det er generelt lave korrelasjoner mellom fenotypisk CH<sub>4</sub> og avlsverdiene for ulike egenskaper. Indeksen for melkefeber har høyest korrelasjonen på 0,28, mens indeksen for andre sykdommer og kjøttindeksen har en korrelasjon på 0,25 med CH<sub>4</sub>-fenotypen. Det er ingen korrelasjon mellom CH<sub>4</sub>-fenotypen og den samlede avlsverdien.

Korrelasjonene med den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjon, de 14 delindeksene og den samlede avlsverdien er relativt lave, hvor kjøtt, ketose og melkefeber indeksene som er høyest korrelert med avlsverdien for CH<sub>4</sub>. Korrelasjonen mellom avlsverdien for kjøtt og CH<sub>4</sub> er den høyeste med 0,31, mens korrelasjonen mellom CH<sub>4</sub>, ketose og melkefeber er -0,2 og 0,22. Korrelasjonen for

melkeindeks og det fenotypiske gjennomsnittet er 0,02, som øker til 0,08 for den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>, de er ikke signifikant.

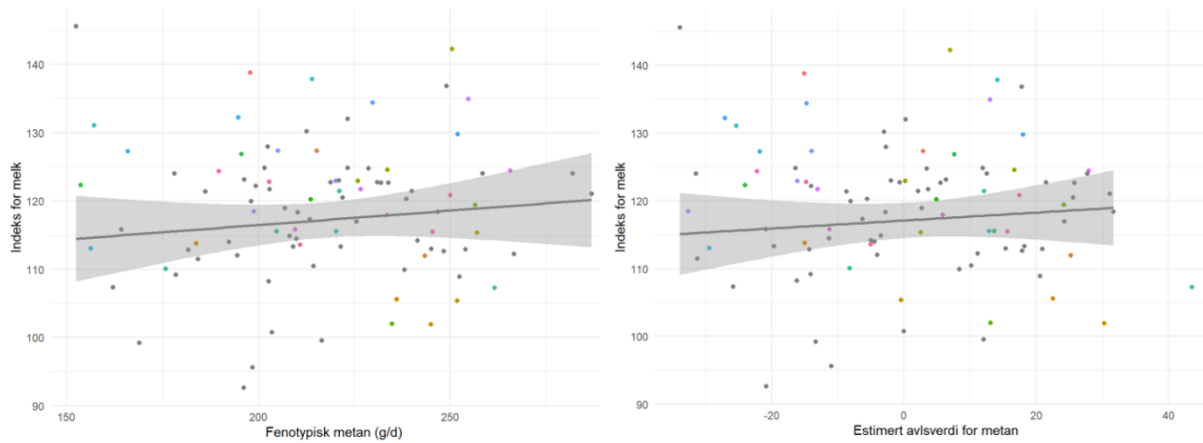
#### 4.4 Seleksjon

Figur 16 er to spredningsplott hvor punktene er farget for oksene som har stamboknummer (ble selektert som seminokse). Venstre side er sammenhengen mellom den samlede avlsverdien og det fenotypiske gjennomsnittet for CH<sub>4</sub>-produksjon uttrykt i g/d, høyre side viser sammenhengen mellom den samlede avlsverdien og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjon. Figuren viser ingen klar sammenheng mellom CH<sub>4</sub> og den samlede avlsverdien.

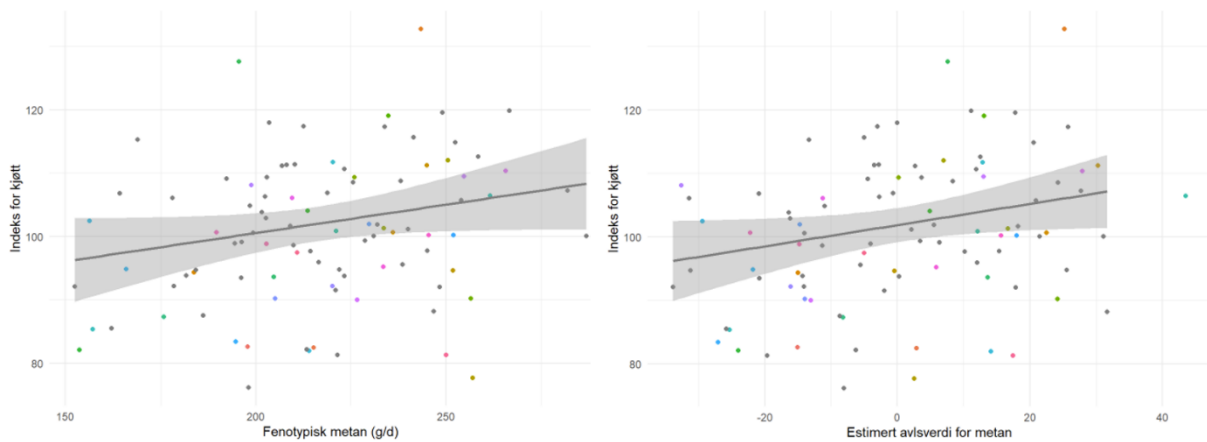


Figur 16 – Spredningsplott som viser sammenhengen mellom den samlede avlsverdien og det fenotypiske gjennomsnittet for metangass (CH<sub>4</sub>) produksjonen for 96 NRF-okser målt i en GreenFeed-enhet (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA), uttrykt i gram per dag (g/d) på venstre side, og predikert avlsverdi for CH<sub>4</sub> på høyre side. Punktene i spredningsplottene er farget for oksene som har stamboknummer og det er lagt på en lineær regresjonslinje med formelen  $y \sim x$ , hvor standardfeilen er gitt ved 95 % sikkerhet.

Figur 17 og 18 er tilsvarende figur 16 med to spredningsplott der det fenotypiske gjennomsnittet gitt i g/d CH<sub>4</sub> er vist på venstre siden, og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> på høyre siden, sammenlignes med indeksen for melk og kjøtt. Spredningsplottet til venstre sammenligner det fenotypiske gjennomsnittet, gitt i g/d, med avlsverdien for melk og kjøtt. Spredningsplottet til høyre sammenligner den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> med indeksen for melkeproduksjon og kjøttproduksjon.



Figur 17 – Spredningsplott over sammenhengen mellom indeks for melk og det fenotypiske gjennomsnittet for metangass (CH<sub>4</sub>) produksjon hos 96 NRF-okser målt i en GreenFeed-enhet (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA), uttrykt i gram per dag (g/d) til venstre, og den predikerte avlsverdien til høyre. Punktene er farget for oksene som har stamboknummer og det er lagt på en lineær regresjonslinje med formelen  $y \sim x$ , hvor standardfeilen er gitt med 95 % sikkerhet.



Figur 18 – Spredningsplott over sammenhengen mellom indeks for kjøtt og det fenotypiske gjennomsnittet for metangass (CH<sub>4</sub>) produksjon hos 96 NRF-okser målt i en GreenFeed-enhet (C-Lock Inc., Rapid City, Sør-Dakota, USA), uttrykt i gram per dag (g/d) til venstre, og den predikerte avlsverdien til høyre. Punktene er farget for oksene som har stamboknummer og det er lagt på en lineær regresjonslinje med formelen  $y \sim x$ , hvor standardfeilen er gitt med 95 % sikkerhet.

Tabell 6 gir en oversikt over de ti oksene med lavest og høyest fenotypisk gjennomsnitt for CH<sub>4</sub>, hvor det er stor variasjon i indekser og avlsverdier, stamboknummer er inkludert i tabellen og viser hvilke okser som har blitt selektert til seminokser. Indeks for melke- og kjøttproduksjon, samlet avlsverdi og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> er oppgitt for hver av oksene. Det er ingen klare sammenhenger mellom hvilken indeks oxen har for melk og hva det fenotypiske gjennomsnittet er, det samme gjelder for kjøtt og samlet avlsverdi.

Tabell 6 – De 10 oksene med lavest og høyest fenotypisk gjennomsnitt for metangass (CH<sub>4</sub>) produksjon. Oksene er anonymisert, men er markert med ja eller nei for om de har mottatt stamboknummer, og gitt med bokstav for ikke selekterte okser. Indeks for melke- og kjøttproduksjon, samlet avlsverdi og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> er gitt for hver okse. Standardfeilen til den predikerte avlsverdien varierte mellom 13,4 og 14,3.

Stamboknummer (Ja/Nei)	Fenotypisk gjennomsnitt CH <sub>4</sub> (g/d)	Indeks for melkeproduksjon	Indeks for kjøttproduksjon	Samlet avlsverdi	Predikert avlsverdi CH <sub>4</sub>
De ti oksene med lavest fenotypisk gjennomsnitt for CH <sub>4</sub> -produksjon					
Nei	152,5	145,5	92,1	30,9	-33,8
Ja	153,7	122,3	82,1	37,9	-24
Ja	156,3	113	102,5	33,4	-29,5
Ja	157,2	131	85,4	40	-25,3
Nei	162,1	107,3	85,5	24,2	-20,9
Nei	164,2	115,8	106,8	28,2	-25,8
Ja	166	127,3	94,8	36,5	-21,8
Nei	168,9	99,2	115,3	19,8	-13,4
Ja	175,8	110	87,3	24	-8,2
Nei	178,1	124	106	38,6	-31,4
De ti oksene med høyest fenotypisk gjennomsnitt for CH <sub>4</sub> -produksjon					
Nei	286,8	121	100	33,3	31,1
Nei	281,9	124	107,3	41,2	27,7
Nei	266,6	112,2	119,9	21,8	11,1
Ja	265,6	124,4	110,3	35,6	27,9
Ja	261,5	107,3	106,5	23,1	43,5
Nei	258,4	124	112,6	26,6	12,5
Ja	256,9	115,3	77,7	29,4	2,6
Ja	256,5	119,4	90,2	29,6	24,2
Ja	254,7	134,9	109,5	56,2	13
Nei	254	112,9	105,8	30	20,9

#### 4.5 Tilvekst

For de 40 NRF-oksene med registrerte CH<sub>4</sub>-målinger, hvor tilvekst (g/d) ble regnet ut, hadde det fenotypiske gjennomsnittet og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjonen korrelasjoner på henholdsvis 0,33 og 0,37 med tilvekst. Med p-verdier på 0,0358 for det fenotypiske gjennomsnittet og 0,0179 for de predikerte avlsverdiene, er begge korrelasjonene signifikant forskjellige fra null.



## 5.0 Diskusjon

Forskning på CH<sub>4</sub>-produksjon hos melkekyr har lenge vært begrenset av manglende mulighet for pålitelige målinger i større skala, men med ny teknologi har kartlegging av den nye egenskapen blitt muligjort. Dette er første gangen undersøkelser av CH<sub>4</sub>-produksjon blir gjort på unge NRF okser i en seleksjonsprosess for et avlsprogram. De registrerte CH<sub>4</sub>-verdiene, gitt i g/d, hos oksene i datasettet var normalfordelte med gjennomsnittet  $217 \pm 48$  og er illustrert i figur 7, dette skiller seg fra observasjoner gjort på NRF og Holstein kuer med gjennomsnittlig CH<sub>4</sub>-verdi  $441 \pm 114$  (Wethal, et al. 2022) og  $380 \pm 60$  (Zetouni, et al., 2018). Figur 8 viser at det er signifikante forskjeller mellom flere av oksene, hvor det ikke er overlapp 95% konfidensintervall på flere steder.

CH<sub>4</sub>-produksjonen hos oksene er nesten halvparten av det man har funnet på kuer, med mindre variasjon. Forskjellen i de observerte fordelingene stammer antakelig fra forskjell i energibehov hos unge okser og kuer. Okser har vekst- og vedlikeholdsbehov, mens kuer trenger energi til melke- og fosterproduksjon, i tillegg til vedlikeholdsbehovet (Cooke, 2018). Oksene er allerede selekterte individer i et avlsprogram, dette kan føre til at det er mindre variasjon i egenskapen, enn det er i populasjonen av NRF okser.

### 5.1 Arvbarhet

Den estimerte arvbarheten på 0,23 for CH<sub>4</sub>-produksjon er i samsvar med funnene hos NRF kuer med arvbarhet 0,22 (Wethal et al., 2022), og Holstein kuer hvor arvbarheten ble estimert til 0,25 (Zetouni, et al., 2018). Dette viser at det er mulig å avle for egenskapen om dette er ønskelig. Gjentaksgarden for egenskapen hos oksene var 0,32, som tilsvarer gjentaksgarden 0,36 som ble estimert hos NRF kuer (Wethal et al., 2022).

Gjentaksgraden til en egenskap er et mål på sammenhengen som er mellom gjentatte målinger (Bourdon, 2014) og er definert som korrelasjonen mellom de gjentatte målingene, en høy gjentaksgard tilsvarer 0,4 og en lav tilsvarer 0,2, for CH<sub>4</sub>-egenskapen er den dermed middels. Det vil si at det er en middels grad av gjentagelse for egenskapen hos oksene, dette gjelder også NRF kuene. Gjentaksgrad og arvegrad er forskjellig mellom miljøer og populasjoner, så stor likhet i estimatene kan dermed bety at det er stor likhet i målingene av CH<sub>4</sub>-produksjonen hos NRF okser og kuer.

Kartlegging av variasjonen er nødvendig i oppstart av avl for en ny egenskap, CV til en egenskap er gitt som den relative variasjonen i datasettet og reflekterer potensialet for seleksjonsrespons for en egenskap (Kozak, et al., 2013). Renand og Maupetit fant i 2016 en CV for CH<sub>4</sub> tilsvarende 0,12 hos unge Charolais kviger. For oksene på Øyer teststasjon ble CV beregnet til 0,1 og kan klassifiseres som en middels verdi (Vaz, et al., 2017).

## 5.2 Avlsverdier

Det ble predikert avlsverdier for de 96 oksene som er inkludert i datasettet, i figur 14 illustreres hvordan en lav avlsverdi er gunstig siden en okse med lav avlsverdi hadde lav produksjon av CH<sub>4</sub>. I figur 15 ser man en stor variasjon mellom oksenes predikerte avlsverdier for CH<sub>4</sub>, det er ingen sammenheng mellom avlsverdien for CH<sub>4</sub> og hvilke okser som har fått stamboknummer. Man ser ingen opplagt sammenheng mellom den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub> og samlet avlsverdi hos oksene, dette gjelder også melkeindeksen. For kjøttindeksen er det en trend som antyder at det er en sammenheng.

## 5.3 Indirekte seleksjon for metangassproduksjon

I tidligere studier har moderate genetiske korrelasjoner blitt estimert mellom melke- og CH<sub>4</sub>-produksjonen hos kuer (Breider et al. 2019; Garnsworthy et al. 2012b; Manzanilla-Pech et al. 2021), mens de estimerte genetiske korrelasjonene mellom CH<sub>4</sub>-produksjon og andre egenskaper har blitt rapportert som ubetydelige eller lave (Breider et al. 2019; de Haas et al. 2011; Kandel et al. 2018; Zetouni et al. 2018). Korrelasjonene mellom avlsverdi for de 96 oksene i tabell 5 gjenspeiler de lave verdiene fra tidligere funn, korrelasjonen mellom den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjon og del-indeksene vil være en indikasjon på retning og størrelsen til den genetiske korrelasjonen (Guttormsen, 2011).

Den totale avlsverdien til oksene hadde tilnærmet ingen sammenheng med det fenotypiske gjennomsnittet eller de predikerte avlsverdiene for CH<sub>4</sub>-produksjon, spredningsplottene i figur 16 inneholder regresjonslinjer med ingen eller svak økning. Det er ingen tydelige mønstre i CH<sub>4</sub> avlsverdi hos oksene som selekteres til semin. Dette tyder på at dagens vektlegging av egenskaper i avlsmålet for NRF ikke vil påvirke CH<sub>4</sub>-produksjon, og at det ikke skjer indirekte seleksjon av betydning for egenskapen med dagens avlsarbeid. Den store spredningen på de 96 oksenes avlsverdi for CH<sub>4</sub> gir mulighet for seleksjon og genetisk fremgang.

Det fenotypiske gjennomsnittet og den predikerte avlsverdien for CH<sub>4</sub>-egenskapen hos NRF oksene, hadde tilnærmet ingen sammenheng med den predikerte avlsverdien for melkeproduksjon og korrelasjonen var ikke signifikant forskjellig fra null. Indeksen for melkeproduksjon er en direkte refleksjon av det genetiske potensialet en okse har til å produsere avkom med gode melkeproduksjonsegenskaper, hos ei ku vil melkeindeksen være et mål på melkeproduksjonsegenskapen og kan gi en indikasjon på energibehovet til dyret. Med korrelasjoner tilnærmet 0 som ikke var signifikant, med en liten negativ tendens, vil antakelig ikke melkeindeksen ha en direkte sammenheng med CH<sub>4</sub>-produksjonspotensialet til en okse. Avkom av oxen vil, som en konsekvens av høy melkeproduksjon, kunne ha et høyere nivå med CH<sub>4</sub> som produseres. Det vises

ingen klar sammenheng mellom egenskapene eller hvilke okser som selekteres i figur 17, figuren viser ingen klar sammenheng mellom den fenotypiske CH<sub>4</sub> og melkeindeksen.

Resultatene viser en moderat korrelasjon mellom kjøttindeksen og variablene for CH<sub>4</sub>-produksjon, som kan tyde på en genetisk sammenheng. Regresjonslinjen i spredningsplottene over sammenheng i figur 18 viser en økning i CH<sub>4</sub>-produksjon med økende kjøttindeks, til tross for stor usikkerhet på grunn av få dyr. Kjøttproduksjonsegenskapen er knyttet til størrelsen til oxsen og vil kunne ha en sammenheng med fôropptaket/tørrestoffopptaket og slaktevekten, hvor en korrelasjon med CH<sub>4</sub>-produksjonen har blitt estimert til 0,41 og 0,65 tidligere (Manzanilla-Pech, et al., 2021). Korrelasjonene med blant andre energibalanse og energibehov kan tyde på at sammenhengen mellom størrelse, energibehov og fôropptaket har en stor betydning for en okse sitt CH<sub>4</sub>-produksjonsnivå.

Korrelasjonstabellen gir inntrykk av at CH<sub>4</sub>-produksjon hos oksene har sammenheng med helse- og energibalanseegenskaper, med en lav-moderat korrelasjon med indeksen for andre sykdommer. Ketose og melkefeber inngår i indeksen for andre sykdommer, men har lave-moderate korrelasjoner med CH<sub>4</sub>-produksjon. Mostert et al. fant i 2018 en sammenheng mellom subklinisk ketose og økt utslipp, hvor det ble vist at friske dyr hadde et lavere utslipp per liter produsert melk, korrelasjonen som er estimert for de 96 oksene reflekterer denne sammenhengen. Et friskt dyr som går gjennom produksjonsforløpet uten unødvendige pauser i produksjon, vil være et mer klimaeffektivt dyr. Lang levetid (engelsk: longevity) er også en egenskap som er viktig for et klimavennlig dyr (Grandl, et al., 2019), når dyret produserer i lenger tid vil det totale utslippet per enhet synke.

Tilvekst har en korrelasjon med det fenotypiske gjennomsnittet og avlsverdien for CH<sub>4</sub>-produksjonen på 0,33 og 0,37. Uregelmessig vedlikehold og kalibrering av vektplattformer på teststasjonen førte til at kun 40 av oksene hadde tilstrekkelig informasjon for utregning av tilvekst, begge korrelasjonene var høyere enn korrelasjonen CH<sub>4</sub> har med kjøttindeksen, men på grunn av få dyr er det en høyere usikkerhet. Den estimerte korrelasjonen viser at det eksisterer en genetisk sammenheng mellom dyrets størrelse, dens potensial for å vokse og CH<sub>4</sub>-produksjonsnivået dyret har.

Det var ikke noe klart mønster i seleksjonen av okser og den tilsvarende avlsverdien for CH<sub>4</sub> i tabell 6. Antallet dyr selektert som seminokser er likt i topp og bunn sjiktet. Vektleggingen av egenskapene i avlsmålet for NRF gir stor variasjon i CH<sub>4</sub>-produksjonsnivået til oksene og gir grunnlaget til variasjonen som kommer frem for egenskapen.

## 5.4 Faktorer som påvirker metan

Det kan tyde på at det er en sesongvariasjon i CH<sub>4</sub>-produksjonen hos oksene i løpet av året i figur 9, GAM linjen som er tilpasset observasjonene viser en økning om høsten og en nedgang mot midten av vinteren. Tidsperioden for gjeldende datasett er for kort til å gi en god indikasjon på den faktiske

trenden eller om det er signifikant effekt av årstiden, for å gi se den faktiske trenden over tid er det nødvendig med målinger registrert i en lenger periode med flere dyr tilgjengelig.

Man kan se lite variasjon i CH<sub>4</sub>-produksjonen innad i måned med figur 10, med en stabil mengde målinger. Variasjonen i CH<sub>4</sub>-produksjon følger måneder og pulje i figur 13, men det er signifikante forskjeller i medianen mellom puljer innad i måned og for ulike måneder, det kommer tydelig frem at det ikke er mulig å skille mellom pulje- og årstidseffekt. Den gjennomsnittlige alderen på oksene i de forskjellige puljene varierer relativt lite og følger ikke det samme mønsteret.

Fra illustrasjonene kommer de samme svingningene i CH<sub>4</sub> som man ser i figur 9 og 11, hvor man i figur 11 kan se signifikant forskjell mellom puljer i forskjellige måneder ved at det ikke er overlapp i 95% konfidensintervall, kommer tydelig frem i løsningen av den faste effekten til pulje i figur 13. Det kommer klart frem er effekt av alderen, figur 12 har en signifikant forskjell i CH<sub>4</sub>-produksjonen mellom de laveste og høyeste alderne.

## 5.5 Feilkilder

Det er potensial for feil i alle ledd hvor det er behandling av datamateriell, om det er behandling eller innsamling. Det er derfor viktig å ha dette med i betraktningen av resultatene i et prosjekt eller en studie.

Korteste måleperiode som ble tillatt i datasettet var 2 minutter, eller 120 sekunder, hvor oxen måtte ha hodet riktig plassert i fôrtrauet slik at øremerket ble korrekt avlest. Det er ikke funnet store avvik i datasettet basert på lengden av besøket hos oksene. Det kan forekomme menneskelige feil i form av feilkalibrering eller for lange intervall mellom kalibreringer. Rutinene for dette på teststasjonen er tett fulgt opp og man kan anta at slike feil er minimale i denne datasamlingen.

På teststasjonen er det ikke registrering av grovfôropptak, det har blitt gjort rutinemessige analyser av fôrkvaliteten, men dette er ikke tatt med i oppgaven. Målinger gjort av Biswas et al. i 2022 på unge kviger av Hereford-Holstein i respirasjonskammer, er det en sterk korrelasjon (0,88) mellom CH<sub>4</sub>-produksjonen rundt fôring og over en 24 timers periode. Det er dermed grunn til å tro at gjentatte målinger gjennom dagen vil kunne korrigere for eventuelle svingninger i CH<sub>4</sub>-produksjonen hos de unge oksene.

Datasettet med vektregistreringer hadde en stor mengde med feilregistrerte vekter for mange okser, etter en filtreringsprosess var det bare 40 okser igjen som hadde pålitelige registrerte vekter gjennom perioden. Med så få okser blir det svakhet i resultatene for tilvekst, men korrelasjonene var signifikante og var veldig lik de estimerte korrelasjonene for kjøttindeksen. Med dette tatt i betraktning vil resultatene være gode nok til å kunne gi indikasjon på sammenhengen.

## 5.6 Videre forskning

Fokuset rundt endringer i miljøet og den globale oppvarmingen er fortsatt økende, reduksjon av utslipp har med dette blitt en viktig sak, hvor det er viktig med tiltak som gir langvarige endringer i utslipp og produksjon av miljøgasser, deriblant CH<sub>4</sub>. Det forskes en del på utslippene relatert til melkeku, i tillegg til litt på kjøttfe, men det er begrenset materiale rundt okser.

I denne oppgaven har det blitt vist at det er en stor spredning i målt CH<sub>4</sub> for NRF og at det er stor individuell variasjon. Unge okser i vekst skiller seg fra kuer på produksjon av CH<sub>4</sub> og det er forskjellige egenskaper som har en sammenheng med CH<sub>4</sub>-produksjonen, i hovedsak egenskaper som styrer energibehovet til dyret, slik som tilvekst hos okser eller melkeproduksjonen hos kuer.

Det være nyttig å fortsette målinger og overvåkning av CH<sub>4</sub>-produksjonen hos okser over en lenger periode, slik at eventuell sesongvariasjon kan utforskes nærmere. Videre ville det vært gunstig å utforske hva som forårsaker disse svingningene i CH<sub>4</sub> som blir produsert, og om dette også er tilfellet hos kuer.

Antallet okser i oppgaven var tilstrekkelig for å vise at CH<sub>4</sub>-produksjonsegenskapen er arvbar og at det er mulig å beregne avlsverdier basert på dyrene som allerede har vært på teststasjonen. Om Geno ikke ønsker å vektlegge egenskapen i avlsmålet enda, har de fortsatt muligheten til å overvåke oksene som kommer til stasjonen senere og forsikre at seleksjonen av okser ikke blir skjev mot høy produksjon av CH<sub>4</sub>. Overvåkning vil være nyttig, siden det kan skje forandringer når flere okser blir inkludert i modellen.

Det burde forskes videre på genetiske korrelasjoner mellom CH<sub>4</sub>-produksjonen og viktige egenskaper i avlsmålet til NRF. Dette burde gjøres på både okser og kuer, for å sikre at en vektlegging av CH<sub>4</sub>-egenskapen ikke har påvirkning på viktige egenskaper. I oppgaven har det kommet frem at det er forskjell i hvilke egenskaper som er korrelert hos okser og kuer, og en vektlegging av egenskapen uten tilstrekkelig med informasjon kan ha uønsket effekt på et av kjønnene. Rutinemessig vedlikehold av vektene på teststasjonen kan bidra til bedre muligheter for å se sammenhengen mellom tilvekst og CH<sub>4</sub>, og hvor stor betydning tilvekst kan ha.

## 6.0 Konklusjon

CH<sub>4</sub>-produksjon er en egenskap som kan avles for, med arvegraden 0,23 og gjentaksgarden 0,32. Avlsverdien for CH<sub>4</sub> hadde høyest korrelasjon med tilvekst og kjøttindeksen, med 0,37 og 0,31, som tyder på at det er en positiv genetisk korrelasjon mellom egenskapene som burde utforskes nærmere. Det var ingen klar sammenheng mellom hvilke okser som ble selektert til semin og de estimerte avlsverdiene for CH<sub>4</sub>.

Måling av CH<sub>4</sub> burde fortsette for å undersøke om det er indirekte seleksjon for egenskapen i NRF populasjonen, egenskapen burde kartlegges grundig og genetiske korrelasjoner burde kalkuleres før egenskapen avles for. Overvåkning av egenskapen vil være gunstig for å undersøke sesongvariasjonen og om trenden til egenskapen er lik for unge dyr i vekst og melkekyr i produksjon.

## 7.0 Referanseliste

Biswas, A., Khan, A., Luo, D. og Jonker, A. (2022) Methane emissions in growing heifers while eating from a feed bin compared with 24-hour emissions and relationship with feeding behavior. *JDS Communications*. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0184>

Breider, I. S., Wall, E. og Gransworthy, P. C. (2019) Short communication: heritability of methane production and genetic correlations with milk yield and body weight in Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102, s. 7277-7281. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15909>

Bourdon, R. (2014) *Understanding Animal Breeding (2. Utgave)*, Essex: Pearson Education Limited

Cabezas-Garcia, E. H. (2017) *Methane production in dairy cows. Individual cow variability in methane production*. PhD avhandling, Umeå Universitet.  
<https://www.researchgate.net/publication/321148784>

Cooke, R. (2018) *The importance of energy nutrition for cattle*. Tilgjengelig fra: <https://extension.oregonstate.edu/animals-livestock/beef/importance-energy-nutrition-cattle> [Hentet: 18.05.2022]

Cottle, D., Nolan, J. V. og Wiedemann, S. (2011) Ruminant enteric methane mitigation: A review. *Animal Production Science*, 51(6) s. 491-514.

De Haas, Y., Windig, J. J., Calus, M. P. L., Dijkstra, J., de Haan, M., Bannink, A. og Veerkamp, R. F. (2011) Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science*, s. 6122-6134.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4439>

Garnsworthy, P. C., Craigon, J., Hernandez-Medrano, J. H. og Saunders, N. (2012a) Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *Journal of Dairy Science*, 95(6) s. 3181-3189. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4606>

Garnsworthy, P. C., Craigon, J., Hernandez-Merano, J. og Saunders, N. (2012b) On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(6) s. 3166-2180. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4605>

Geno (2020a) *Klimaku NRF*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/om-genom/om-norsk-rodt-fe/ny-teknologi-i-avl-sarbeidet/klimakua-nrf/> [Hentet: 21.04.2022]

Geno (2020b) *Avlssystem for NRF*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlssystem-for-norsk-rodt-fe/avlssystem-for-nrf/> [Hentet: 09.04.2022]

Geno (2020c) *Produksjonsegenskaper*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlssystem-for-norsk-rodt-fe/egenskaper-i-avlsmålet/produksjonsegenskaper/> [Hentet: 09.04.2022]

Geno (2020d) *Fruktbarhet*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlssystem-for-norsk-rodt-fe/egenskaper-i-avlsmålet/fruktbarhet/> [Hentet: 09.04.2022]

Geno (2020e) *Eksteriøregenskaper*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlssystem-for-norsk-rodt-fe/egenskaper-i-avlsmålet/eksteriøregenskaper/> [Hentet: 09.04.2022]

Geno (2020f) *Helseegenskaper*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlssystem-for-norsk-rodt-fe/egenskaper-i-avlsmålet/helseegenskaper/> [Hentet: 09.04.2022]

Grandl, F., Furger, M., Kreuzer, M. og Zehetmeier, M. (2019) Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual cows analysed with different system boundaries. *Animal*, 13(1) s. 198-208. <https://doi.org/10.1017/S175173111800112X>

Guttormsen, A. K. (2011) *Genetisk analyse av klauvlidelser i NRF*. Masteroppgave. Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). <http://hdl.handle.net/11250/186063>

Herd, R. M., Arthur, P. F., Donoghue, K. A., Bird, S. H., Cird-Gardiner, T. og Hegarty, R. S. (2014) Measures of methane production and their phenotypic relationship with dry matter intake, growth, and body composition traits in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92(11) s. 5267-5274. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8273>

Hill, J., McSweeney, C., Wright, A. D. G., Bishop-Hurley, G. og Kalantar-zadeh, K. (2016) Measuring methane production from ruminants. *Trends in Biotechnology*, 43(1) s. 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.004>

Hishov, A. N., Oh, J. Giallongo, F., Frederick, T., Weeks, H., Zimmerman, P. R., Harper, M. T., Hirstova, R. A., Zimmerman, R. S. og Branco, A. F. (2015) The use of an automated system (GreenFeed) to monitor enteric methane and carbon dioxide emissions from ruminant animals. *Journal of Visualized Experiments*. <http://dx.doi.org/10.3791/52904>



- Johnson, K. A. og Johnson, D. E. (1995) Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8) s. 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. og Zimmerman, P. (1994) Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental Science and Technology*, 28(2) s. 359-262. <https://doi.org/10.1021/es00051a025>
- Kandel, P., Vanderick, S., Vanrobays, M. L., Soyeurt, H. og Gengler, N. (2018) Corrigendum to: Consequences of genetic selection for environmental impact on economically important traits on economically important traits in dairy cows. *Animal Production Science*, 58(10) s. 1966. [http://dx.doi.org/10.1071/AN16592\\_CO](http://dx.doi.org/10.1071/AN16592_CO)
- Kjos, A. K., Nafstad, O., Odden, H., Ruud, T. A., Saltnes, T. og Jupskås, V. O. (2021) *Kjøttets tilstand 2021*, Oslo: Animalia.
- Klimaloven (2017) *Lov om klimamål*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60> [Hentet: 02.05.2022]
- Kozak, M., Bocianowski, J. og Rybinski, W. (2013) Note on the use of coefficient of variation for data from agricultural factorial experiments. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(4) s. 644-646.
- Lan, W. og Yang, C. (2019) Ruminant methane production: Associated microorganisms and the potential of applying hydrogen-utilizing bacteria for mitigation. *Science of The Total Environment*, s. 1270-1283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.180>
- Lassen, J. og Difford, G. F. (2020) Review: Genetic and genomic selection as methane mitigation strategy in dairy cattle. *Animal*, s. 473-483. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001561>
- Lassen, J. og Løvendahl, P. (2016) Heritability estimates for enteric methane emissions from Holstein cattle measured using noninvasive methods. *Journal of Dairy Science*, s. 1959-1967. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10012>
- Madsen, P. og Jensen, J. (2013) *A user's guide to DMU. A package for analysing multivariate mixed models*. Version 6, release 5.2. Center for Quantitative Genetics and Genomics, University of Aarhus, Tjele, Danmark. <http://dmu.agrsci.dk/>
- Manzanilla-Pech, C. I. V., Løvendahl, P., Gordo, D. M., Difford, G. F., Pryce, J. E., Schenkel, F., Wegmann, S., Miglior, F., Chud, T. C., Moate, P. J., Williams, S. R. O., Richardson, C. M., Stothard, P. og Lassen, J. (2021) Breeding for reduced methane emission and feed-efficient Holstein cows: An

international response. *Journal of Dairy Science*, 104(8) s. 8983-9001.

<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19889>

Martin, C., Morgaci, D. P. og Doreau, M. (2010) Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, s. 351-365. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>

Miljødirektoratet (2022a) *Klima*. Tilgjengelig fra:

<https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/> [Hentet: 21.04.2022]

Miljødirektoratet (2022b) *Klimagassutslipp fra jordbruket*. Tilgjengelig fra:

<https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-jordbruk/> [Hentet: 21.04.2022]

Moss, A., Jouany, J. P. og Newbold, J. (2000) Methane production by ruminants: It's contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 40(3) s. 231-253.

Norges Bondelag (2020) *Landbrukets Klimaplan 2021-2030*, Oslo: Norges Bondelag.

Pszczola, M., Rzewuska, K., Mucha, S. og Strabel, T. (2017) Heritability of methane emissions from dairy cows over a lactation measured on commercial farms. *Journal of Animal Science*, 95(11) s. 4813-4819. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1842>

R Core Team (2021) *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria.

<https://www.R-project.org/>

Reed, E. U. og Mørtvedt, M. A. (2019) *Mer metan, mer oppvarming*. Tilgjengelig fra:

<https://cicero.oslo.no/no/posts/klima/mer-metan-mer-oppvarming#:~:text=Norge%20slipper%20ikke%20unna,1%C3%B8pe%20fra%20sitt%20historiske%20ansvar.> [Hentet: 21.04.2022]

Renand, G. og Maupetit, D. (2016) Assessing individual differences in enteric methane emissions among beef heifers using GreenFeed emissions monitoring system: effect of the length of testing period on precision. *Animal Production Science*, 56(3). <http://dx.doi.org/10.1071/AN15429>

Rivedal, S. (2020) *Klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/miljo/tiltaksveileder-for-landbruket/tiltak-mot-klimagassutslipp-fra-landbruket> [15.02.2022]

Storm, I. L. D., Hellwing, A. L. F., Nielsen, N. L. og Madsen, J. (2012) Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals*, 2(2) s. 160-183.

<https://doi.org/10.3390/ani2020160>

Sverdrup-Thygeson, A., Bakkestuen, V., Bjureke, K., Blom, H., Brandrud, T. E., Bratli, H., Endrestøl, A., Framstad, E., Jordal, J. B., Skarpaas, O., Stabbetorp, O. E., Wollan, A. K. og Ødegaard, F. (2009) *Kartlegging av overvåking av rødlistearter. Arealer for Rødlistearter – Kartlegging og overvåking (ARKO)*, Oslo: Norsk Institutt for Naturforskning (NINA).

Tajet, H. M. (2021) *Hva er en avlsverdi?* Tilgjengelig fra: [https://www.buskap.no/journal/2021/4/m-282/Hva\\_er\\_en\\_avlsverdi](https://www.buskap.no/journal/2021/4/m-282/Hva_er_en_avlsverdi) [Hentet: 04.05.2022]

Taipio, I., Snelling, T. J., Strozzi, F. og Wallace, R. J. (2017) The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*.

Vaz, M. A. B., Pacheco, P. S., Seidel, E. J. og Ansuji, A. P. (2018) Classification of the coefficient of variation to variables in beef cattle experiments. *Animal Production*, 48(11).

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160946>

Wethal, K. B., Difford, G. F., Winnberg, K., Norberg, E. og Heringstad, B. (2022) Heritability of methane emissions in Norwegian Red cows based on measures from GreenFeed in commercial herds. *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP), 03-08 Juli 2022, Rotterdam, Nederland*.

Zetouni, L., Kargo, M., Norberg, E. og Lassen, J. (2018) Genetic correlations between methane production and fertility, health, and body type traits in Danish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 101(3) s. 2273-2280. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13402>

Zhao, Y., Nan, X., Yang, L., Zheng, S., Jiang, L. og Xiong, B. (2020) A review of enteric methane emission measurement techniques in ruminants. *Animals*, 10(6) s. 1004.

<https://doi.org/10.3390/ani10061004>

Aass, L. og Åby, B. (2018) *Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslippet fra husdyrsektoren*, Ås: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU)



**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway