

Methane emissions from enteric fermentation in Norwegian agriculture

Technical description of the revised model

Project for Norwegian Environment Agency and SSB

M-2123 | 2021



CARBON LIMITS

Abstract

An important source of methane emissions from Norwegian agriculture is enteric fermentation in digestive systems of ruminant animals such as cattle, sheep, goats, etc. The volume of methane produced from enteric fermentation is dependent on several factors, like animal species, production level, quantity and quality of feed ingested and environmental conditions. All these parameters need to be taken into consideration when building a model to calculate methane emissions from enteric fermentation.

A revised excel model for calculating methane emissions from enteric fermentation for Norwegian livestock has been developed by Carbon Limits and reviewed by the Norwegian University of Life Sciences (NMBU). The model is built on the previously used model, developed and operated by Statistics Norway (SSB). The model allows to calculate methane emissions from various subgroups of the livestock population in Norway in kilograms of CH₄ per animal per year. The calculation of methane emissions from enteric fermentation follows Tier 2 methodology for the main emission sources – cattle and sheep and Tier 1 methodology for the other animal categories.

In addition, several key mitigation measures for reduction of methane emissions from enteric fermentation have been implemented in the updated version of the model.

This report was prepared by Carbon Limits AS, with inputs from the Norwegian University of Life Sciences and Tine, Norway's largest producer of dairy products. The report shortly describes the methodology implemented in the updated model, the most important changes from the previous version of the model, as well as the main input data and the emission factors used to calculate methane emissions from enteric fermentation.

CARBON LIMITS

CJ Hambros plass 2

NO-0164 Oslo

Norge

carbonlimits.no

NO 988 457 930

Carbon Limits works with public authorities, private companies, finance institutions and non-governmental organizations to reduce emissions of greenhouse gases from a range of sectors. Our team supports clients in the identification, development and financing of projects that mitigate climate change and generate economic value, in addition to providing advice in the design and implementation of climate and energy policies and regulations.

Table of Contents

Abstract	2
Table of Contents	3
Introduction	4
1. Calculation of emissions	4
1.1 Tier 1	4
1.2 Tier 2 – Cattle and sheep	6
1.2.1 Dairy cow	6
1.2.2 Beef cow	8
1.2.3 Young cattle	8
1.2.4 Sheep	10
2. Mitigation analysis	13
2.3 Aim of mitigation analysis	13
2.4 Better forage quality	14
2.5 Increased time on pasture	14
2.6 Feed additives	15
2.7 The implementation order for the mitigation options	16
3. Limitations and need for further development	17
4. References	18
Annex 1 (in Norwegian)	19

Introduction

The main objective of the project was to update the existing model for enteric fermentation developed and operated by Statistics Norway (SSB). The important step in this work was to perform a review of the methodology, activity data and emission factors and to align the new model with the outline and design of the other models used to calculate greenhouse emissions from the Norwegian agriculture (nitrogen and methane models to estimate emissions from manure management earlier updated by Carbon Limits). In addition, the key mitigation measures for reduction of methane emissions from enteric fermentation were identified, reviewed and implemented in the updated model.

The review of the methodology and the emission factors was performed in close cooperation with Norwegian University of Life Sciences (NMBU). Annex 1 provides a short report prepared by NMBU including considerations and recommendations on possible changes and updates, as well as further development of the methodology.

The main changes in the new version of the model include the updated values for several underlying parameters used to calculate the gross energy intake for sheep. These changes are summarized in Table 1 below:

Table 1 Changes and updates of the parameters to estimate emission factors for sheep implemented in the updated version of the model for enteric fermentation

Gross energy intake calculation	Parameter	The previous model	The updated model	Source
Activity	C_a , Breeding sheep over 1 year	0,0146	0,0148	IPCC (2019)
Maintenance	C_f , Sheep under 1 year	0,2825	0,2537	Volden and Nes (2006)
Wool production	Kg wool per lamb and per year (sheep)	1,9 kg for lamb and 4,1 kg for sheep over 1 year	1,1 kg for lamb and 2,8 kg for sheep over 1 year	Norillia
Pregnancy	$C_{\text{pregnancy}}$, breeding sheep >1 år	0,1015	0,126	IPCC (2006; 2019)
Growth	Birth weight, kg	3	4,8	Animalia (2021c)

1. Calculation of emissions

1.1 Tier 1

The Tier 1 methodology from the IPCC guidelines (IPCC 2006) for calculating CH₄ emissions is applied to the following animal categories:

- Swine
- Deer
- Goats
- Horses
- Poultry
- Reindeer
- Fur-bearing animals

The number of animals of each category and average emission factors of tonnes CH₄ per animal and year for each category of animals are used to calculate the emissions.

The animal population is estimated following the methodology described in Norway's National Inventory Report for 2020 (NIR 2020) Section 5.2 and Annex IX. The applied emission factors are described in NIR 2020 Section 5.1.1.3. For the animal categories swine, horses and deer, the Tier 1 default emission factors from the IPCC guidelines (IPCC 2006) are used, whereas for such categories as poultry and reindeer the national emission factors have been calculated based on both estimations and expert judgements provided by the Norwegian University of Life Sciences (Svihus 2015, Karlengen et al. 2012). To calculate methane emissions from goats, Danish emission factors are applied since they are considered to reflect Norwegian feed intake and circumstances (Karlengen et al. 2012). The emission factor for fur-bearing animals has been developed by SSB using the approach described in NIR 2020 Section 5.1.1.3.

One of the project's objectives was to review the emission factors used in the previous version of the model. NMBU has reviewed the Tier 1 emission factors. The recommendations on possible changes are summarized in Table 2 below. A more detailed description of the recommended changes, as well as the rationale behind the proposed changes in the applied emission factors for the Tier 1 methodology, are provided in Annex 1 to this report.

Table 2 Review of the Tier 1 emission factors – recommendations from NMBU

Animal category	Emission factor used in the old model, kgCH ₄ /animal/year	Source of the emission factor	Recommendations on implementing the changes in the updated version of the model
Swine	1,5	IPCC 2006	No changes in 2021 version. Even though there is the academic basis for implementation of Tier 2 emission factors for swine, the model (HolosNorSvin) which these factors are based on, is yet not published. It is therefore recommended to wait with the implementation of Tier 2 factors.
Poultry	0,005 ¹	Svihus 2015	No changes recommended
Horse	18	IPCC 2006	It is recommended to continue using the Tier 1 emission factor from IPCC guidelines ²
Goat	13	Karlegen et al. 2012	It was recommended to use IPCC 2019 Tier 1 emission factor for goats (9 kgCH ₄ /animal/year)
Fur-bearing animals	0,1	SSB	No changes recommended
Deer	20	Karlegen et al. 2012	
Reindeer	14	Karlegen et al. 2012	

NMBU has also pointed out a few possible changes for the future updates of the model. The recommendations on these changes are summarized in Chapter 4 and described in more detail in Annex 1 to this report.

Based on the recommendations provided by NMBU and discussions with the Norwegian Environmental Agency and SSB it was concluded that no changes in Tier 1 emission factors would be implemented in the updated version of the model in 2021. The possible use of the Tier 1 emission factor for goats provided in IPCC 2019 was also considered. However, NMBU has also recommended to further investigate the possibility to use Tier 2 methodology for goat. The recommendations will be considered in the future inventory improvements work.

¹ Average emission factor for poultry. Separate emission factors for different poultry subgroups are used in the model. These emission factors are provided in Svihus 2015.

² Both IPCC 2006 and IPCC 2019 provide the same Tier 1 emission factor of 18 kg CH₄ per animal per year

1.2 Tier 2 – Cattle and sheep

A Tier 2 methodology is applied to calculate methane emissions from enteric fermentation for cattle and sheep. A detailed description of the methodology is provided in Volden and Nes (2006). In this report only the main equations to calculate the corresponding emission factors are summarized.

The basic equation to calculate the emission factor for enteric fermentation from cattle and sheep is provided in IPCC 2006 and has not been changed in the updated version of the model:

$$EF = (GE \times Y_m \times 365 \text{ days/yr}) / 55.65 \text{ MJ/kg CH}_4$$

Where:

- EF = emission factor, kg CH₄/head/yr
- GE = gross energy intake, MJ/head/day
- Y_m = percentage of concentrate in the diet

The methodology was reviewed by NMBU. At this point, no significant changes in the methodology have been recommended for implementation in the updated version of the model. Some minor adjustments in several parameters used to calculate gross energy intake for sheep have been suggested. The following chapters shortly describe the main equations and input parameters used to calculate the emissions from different cattle and sheep subgroups, as well as the recommended changes in the underlying parameters and whether these changes have been implemented in the updated version of the model.

1.2.1 Dairy cow

A Tier 2 methodology to calculate the CH₄ emissions from enteric fermentation for dairy cows is used in the Norwegian inventory. For dairy cows gross energy intake, GE and the methane conversion rate, Y_m are based on annual figures for milk yield and the percentage of feed concentrate in the diet.

Main equations and input factors

The Tier 2 methodology used for mature dairy cattle is presented in detail in a note by Prestløkken & Schwarm (2019). The updated version of the model applies the same methodology, where the equations for GE and Y_m are as follows:

$$GE = 137.9 + 0.0249 \times \text{Milk}_{305} + 0.2806 \times \text{Concentrate_proportion}$$

- GE = gross energy intake, MJ/day
- Milk₃₀₅ = 305 days lactation yield of energy corrected milk (ECM)
- Concentrate_proportion = proportion of concentrate in the total diet on net energy basis, %

and

$$Y_m = 7.38 - 0.00003 \times \text{Milk}_{305} - 0.01758 \times \text{Concentrate_proportion}$$

- Y_m = methane conversion rate, %
- Milk₃₀₅ = 305 days lactation yield of energy corrected milk (ECM)
- Concentrate_proportion = proportion of concentrate in the total diet on net energy basis, %

Input data in the model

The input data used to calculate the gross energy intake and the methane conversion factor include the annual data on milk yield and the percentage of concentrate in the diet. The data on annual milk yield and the amount of feed concentrate are collected annually from Cow Recording System (TINE BA Annually). The share of concentrates is then calculated in the updated model based on energy intake. The activity data on animal population is estimated annually using the methodology described in NIR 2020 Section 5.2 and Annex IX.

The main parameter inputs in calculating GE and Y_m, as well as the corresponding values for GE and Y_m, calculated in the updated model, are presented in Table 3 below:

Table 3 Main input parameters to calculate GE and Y_m and the corresponding values of GE and Y_m for dairy cow.

	Annual milk production, dairy cows	Proportion of feed concentrate in the rations of mature dairy cows	Gross energy intake, GE	Methane conversion factor, Y_m
	<i>kg/animal/year</i>	<i>%</i>	<i>MJ/day</i>	<i>%</i>
1990	6 320	39,1	306,08	6,51
1995	6 326	36,8	305,57	6,55
2000	6 156	36,4	301,24	6,56
2005	6 723	37,7	315,70	6,52
2009	7 276	40,1	330,13	6,46
2010	7 373	41,0	332,79	6,44
2011	7 309	41,9	331,45	6,43
2012	7 475	42,9	335,86	6,41
2013	7 691	42,45	341,11	6,41
2014	7 711	43,32	341,85	6,39
2015	7 958	43,28	347,98	6,38
2016	8 062	43,31	350,57	6,38
2017	7 902	44,21	346,85	6,37
2018	7 840	45,63	345,71	6,35
2019	8 395	45,56	359,49	6,33
2020	8 463	45,40	361,13	6,33

Changes from the previous version of the model

No significant changes have been implemented in the updated version of the model regarding the calculation of methane emissions from enteric fermentation for dairy cows. There were however some minor adjustments in the updated model. These are summarized in Table 4 below:

Table 4 Adjustments in the updated model for dairy cows

	The previous model version	The updated model
Share of feed concentrate	The share of feed concentrate based on energy intake was calculated outside the model and used as an input parameter	The share of feed concentrate is calculated within the model's system boundaries. The input parameters used in the calculation are: EKM, kg/animal Feed concentrate, kg/100 kg EKM Energy content in feed concentrate, MJ/kg DM Energy content in forage, MJ/kg DM Energy in ration, excluding feed concentrate, MJ/day
One of the coefficients in the equation for GE	0,2886	0,2806 Alignment of the factor to the original value in underlying academic paper (Storlien og Harstad, 2015)

1.2.2 Beef cow

The Tier 2 methodology for calculating methane emissions from enteric fermentation for beef cows is described in Åby et al. (2019). No changes from the previous version of the model have either been recommended or implemented in the updated version. The constant emission factor of 86 kg CH₄ per animal per year is applied.

The only input data in the model required to calculate the emissions from beef cows is the annual data on animal population.

1.2.3 Young cattle

The Tier 2 methodology to calculate the CH₄ emissions from enteric fermentation for young cattle is described in Storlien and Harstad (2015).

Main equations and input factors

The underlying equations used to calculate the gross energy intake (GE) and the methane conversion factor (Y_m) for young cattle are as follows:

- Bulls/heifers slaughtered < 1 year:

$$GE = 38.95 + 1.0558 \times CAW - 6.96 \times SLA$$

$$Y_m = 5.19 - 0.00482 \times CAW + 0.1465 \times SLA$$

- Bulls/heifers slaughtered > 1 year:

$$GE = 112.99 + 0.3495 \times CAW - 4.696 \times SLA$$

$$Y_m = 5.04 - 0.0054 \times CAW + 0.1453 \times SLA$$

Where,

- GE = gross energy intake, MJ/d
- CAW = carcass weight, kg
- SLA = months of slaughter
- Y_m = methane conversion rate, %

- Replacement heifers:

$$GE = 85.43 + 0.1942 \times LW - 1.83 \times AAC$$

$$Y_m = 4.08 + 0.0032 \times LW + 0.0447 \times AAC$$

Where,

- GE = gross energy intake, MJ/d
- LW = live weight, kg
- AAC = age at calving, months
- Y_m = methane conversion rate, %

Input data in the model

The main required input data in the model include annual activity data on animal population and annual data on carcass weight at slaughter and months of slaughter for growing and finishing cattle, and live weight and age at calving for replacement heifers.

The main parameter inputs for calculating GE and Y_m, as well as the corresponding values for GE and Y_m, calculated in the updated model for young cattle, are presented in Table 5 and Table 6 below:

Table 5 The main parameters to calculate GE and Y_m for young cattle

	Heifers < 1 year		Bulls < 1 year		Heifers > 1 year		Bulls > 1 year	
	Carcass weight	Average age	Carcass weight	Average age	Carcass weight at time of slaughter	Age at time of slaughter	Carcass weight at time of slaughter	Age at time of slaughter
	<i>kg</i>	<i>months</i>	<i>kg</i>	<i>months</i>	<i>kg</i>	<i>months</i>	<i>kg</i>	<i>months</i>
1990	56,3	6,5	75,8	6,4	185,1	21,6	255,2	19,7
1995	69,7	7,0	93,8	6,9	200,3	22,2	276,2	19,7
2000	65,0	6,0	82,0	5,9	201,9	22,3	268,9	18,8
2005	92,9	7,9	115,6	7,5	216,3	22,8	296,4	19,0
2009	93,3	8,0	118,4	7,6	219,3	22,8	301,3	18,0
2010	93,2	8,1	116,1	7,5	220,7	22,8	301,6	18,0
2011	94,7	8,2	117,6	7,5	210,3	22,5	296,6	17,7
2012	95,9	7,9	119,7	7,6	205,4	22,7	293,6	17,7
2013	101,6	8,2	122,5	7,6	209,3	22,8	297,7	17,5
2014	106,0	8,2	124,5	7,5	244,2	22,8	301,8	17,3
2015	107,2	8,2	125,5	7,5	255,6	23,2	310,2	17,4
2016	105,3	7,9	126,6	7,5	259,5	23,2	316,6	18,2
2017	103,2	8,2	125,9	7,6	250,7	23,0	313,1	18,4
2018	91,0	8,0	129,0	7,1	232,8	22,2	306,5	18,0
2019	110,3	8,3	131,2	7,7	236,1	22,4	312,6	17,9
2020	110,1	8,4	132,3	7,8	224,90	22,5	317,6	17,9

Table 6 GE and Y_m for young cattle

	Heifers < 1 year		Bulls < 1 year		Heifers > 1 year		Bulls > 1 year	
	GE	Y _m	GE	Y _m	GE	Y _m	GE	Y _m
	<i>MJ/day</i>	<i>%</i>	<i>MJ/day</i>	<i>%</i>	<i>MJ/day</i>	<i>%</i>	<i>MJ/day</i>	<i>%</i>
1990	53,45	5,87	74,25	5,77	76,19	7,19	109,54	6,54
1995	63,73	5,89	89,69	5,76	78,88	7,19	116,87	6,43
2000	65,46	5,77	84,61	5,66	78,70	7,20	118,81	6,33
2005	82,31	5,90	109,05	5,73	81,74	7,19	127,55	6,21
2009	81,60	5,92	111,34	5,73	82,80	7,17	133,70	6,04
2010	81,09	5,93	109,30	5,74	82,82	7,18	133,77	6,04
2011	82,21	5,93	110,94	5,73	80,71	7,19	133,44	6,03
2012	85,02	5,90	112,69	5,73	78,22	7,24	132,66	6,03
2013	89,45	5,90	115,23	5,72	79,13	7,23	134,79	5,99
2014	93,94	5,88	118,00	5,70	91,10	7,05	137,11	5,94
2015	94,75	5,89	119,08	5,69	93,40	7,04	139,54	5,91
2016	95,41	5,84	120,20	5,69	94,70	7,02	138,07	5,99
2017	90,65	5,91	118,74	5,71	92,48	7,04	136,22	6,03

2018	79,30	5,93	125,76	5,61	89,89	7,03	135,60	6,01
2019	97,40	5,89	123,55	5,70	90,19	7,03	138,10	5,97
2020	97,15	5,89	124,18	5,71	85,75	7,11	139,56	5,95

Changes from the previous version of the model

The updated model applies the same methodology as the previous version of the model. After the model review, NMBU proposed a few recommendations on the further development of the methodology and the activity data. These recommendations are presented in Chapter 4 of this report.

1.2.4 Sheep

A Tier 2 methodology is used to calculate the enteric methane emissions from sheep. The main parameters to predict the emissions include the gross energy intake (GE) and the methane conversion factor (Y_m). For the subgroups of sheep default values for Y_m from IPCC (2006) are used in the emission estimations. Gross energy intake (GE) is estimated from the net energy requirements (NE) and conversion factors from net energy to GE. Further description of the determination of the GE values for the different groups of sheep is given in NIR 2019, Annex IX, section 2.2.3.

Main equations and input factors

The equations used to calculate the gross energy intake for different subgroups of sheep are provided in Table 7:

Table 7 The equations to calculate GE for sheep

Net energy parameter	Equation	Applied to subgroup(s) of sheep
Net energy for maintenance, NE_m , MJ/day	$NE_m = (\text{Weight})^{0.75} \times C_f$ <i>Where</i> Weight = live-weight of animal, kg = carcass weight / 0,41 C_f = a coefficient which varies for each sheep subgroup Sheep over 1 year: $C_f = 0,2333$ Sheep below 1 year: $C_f = 0,2537$	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.
Net energy for activity, NE_a , MJ/day	$NE_a = \text{Weight} \times C_a$ <i>Where</i> Weight = live-weight of animal, kg = carcass weight / 0,41 C_a = a coefficient corresponding to animal's feeding situation Sheep over 1 year: $C_a = 0,0146$ Sheep below 1 year: $C_a = 0,0138$	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.
Net energy for growth, NE_g , MJ/dag	$NE_g = 17,3 \times (\text{Weight} - 4,8) / (\text{CAW} \times 30,42)$ <i>Where</i> 17,3 = net energy requirement, MJ per kg growth Weight = live-weight of animal, kg = carcass weight / 0,41 4,8 = weight at birth, kg CAW = carcass weight, kg 30,42 = average number of days in a month	Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.
Net energy for lactation, NE_l , MJ/day	$NE_l = 5 \times \text{WG}_{\text{wean}} \times \text{EV}_{\text{milk}} \times 2 / 365$ <i>Where</i>	Breeding sheep > 1 year

	WG_{wean} = the weight gain of the lamb between birth and weaning, kg = 21,5 EV_{milk} = the net energy required to produce 1 kg of milk, MJ/kg = 4,6 2 is the estimated average number of lambs per sheep	
Net energy for pregnancy, NE_p, MJ/dag	$NE_p = C_{\text{pregnancy}} \times NE_m$ Where $C_{\text{pregnancy}}$ = pregnancy coefficient Breeding sheep > 1 year: $C_{\text{pregnancy}} = 0,126$ Breeding sheep < 1 year: $C_{\text{pregnancy}} = 0,1015$	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year
Net energy for wool production, NE_{wool}, MJ/day	$NE_{\text{wool}} = (24 \times \text{Production}_{\text{wool}}) / 365$ Where 24 is the default energy value of each kg of wool produced, MJ/day $\text{Production}_{\text{wool}}$ = annual wool production per sheep, kg/year Sheep over 1 year: $\text{Production}_{\text{wool}} = 2,8$ Sheep below 1 year: $\text{Production}_{\text{wool}} = 1,1$	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.
Total net energy requirement, NE, MJ/day	Breeding sheep over 1 year: $NE = NE_m + NE_a + (NE_i \times 96 / 365) + (NE_p \times 150 / 365) + NE_{\text{wool}}$ Breeding sheep below 1 year: $NE = NE_m + NE_a + NE_g + (NE_p \times 150 / 365) + NE_{\text{wool}}$ Lamb for slaughter: $NE = NE_m + NE_a + NE_g + NE_{\text{wool}}$	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.
Gross energy intake, GE, MJ/day	$GE = NE / NEM / MED / DEG$ Where NEM = average conversion rate from net energy to metabolizable energy = 0,65 MED = average conversion rate from metabolizable energy to digestible energy = 0,81 DEG = average conversion rate from digestible energy to GE = 0,43	Breeding sheep > 1 year Breeding sheep < 1 year Lamb for slaughter, Jan.-May Lamb for slaughter, June-Dec.

The following table shows default values for Y_m from IPCC (2006) for different subgroups of sheep.

Table 8 Default values for Y_m for sheep, %

	Conversion factor for methane, Y_m , %
Breeding sheep > 1 year	6,5
Breeding sheep < 1 year	4,5
Lamb for slaughter, Jan.-May	4,5
Lamb for slaughter, June-Dec.	4,5

Input data in the model

The main required input data in the model include annual activity data on animal population and annual data on carcass weight at slaughter and months of slaughter for sheep below 1 year and carcass weight for sheep over 1 year.

The calculated annual values for gross energy intake for different subgroups of sheep are presented in the table below:

Table 9 Calculated annual values for GE for sheep

	Breeding sheep > 1 year	Breeding sheep < 1 year	Lamb for slaughter, Jan.-May	Lamb for slaughter, June-Dec.
1990	35,71	47,10	32,65	42,45
1995	35,47	47,10	31,33	42,00
2000	34,57	47,10	29,93	43,56
2005	36,85	47,10	32,16	44,17
2009	37,44	47,10	32,70	44,67
2010	36,87	47,10	32,37	43,97
2011	36,35	47,10	31,59	42,80
2012	35,80	47,10	30,89	44,21
2013	36,15	47,10	31,92	43,57
2014	36,41	47,10	31,89	45,30
2015	37,05	47,10	32,79	45,87
2016	36,77	47,10	32,10	44,30
2017	36,06	47,10	31,42	42,89
2018	35,37	47,10	30,92	44,12
2019	36,69	47,10	33,19	44,47
2020	36,45	47,10	32,45	44,83

Changes from the previous version of the model

The updated model applies the same methodology in calculating the methane emissions from enteric fermentation from sheep, as in the previous version of the model. Some minor adjustments in the underlying parameters have been implemented in accordance with the recommendations provided by NMBU after the model review. These changes are summarized in Table 10³:

Table 10 Recommended changes that have been implemented in the updated model

	The previous version	The updated model
Net energy for maintenance, Coefficient C_f	$C_f = 0,2825$	$C_f = 0,2537$
Net energy for growth, weight at birth	Weight at birth = 3 kg	Weight at birth = 4,8 kg
Net energy for wool production, $Production_{wool}$	Lamb: $Production_{wool} = 1,9$ kg Sheep: $Production_{wool} = 4,1$ kg	Lamb: $Production_{wool} = 1,1$ kg Sheep: $Production_{wool} = 2,8$ kg

³ The explanation and the rationale behind the recommended changes are provided in Annex 1 to this report.

Net energy for pregnancy, $C_{\text{pregnancy}}$	Breeding sheep over 1 year: $C_{\text{pregnancy}} = 0,1177$	Breeding sheep over 1 year: $C_{\text{pregnancy}} = 0,126$
---	---	--

In addition, NMBU have provided a number of recommendations on possible improvements in estimation of several underlying parameters. These recommendations are summarized in Chapter 4 of this report.

2. Mitigation analysis

2.3 Aim of mitigation analysis

One of the project's objectives was to include several mitigation options in the updated model. Previously, the effects of such options as for instance increased time on pasture or better forage quality, have not been taken into account in the national reporting. A technical possibility to perform simplified analysis of the methane reduction potential when implementing various mitigation strategies has been introduced in the updated model. Three mitigation options have been included:

- Better forage quality
- Increased time spent on pasture
- Feed additives

The detailed description of these mitigation options and their possible effect on the enteric methane emissions is provided in NIR 2020, Annex IX. This report only includes the technical description of how these options have been implemented in the updated model.

It is worth mentioning that the mitigation analysis implemented in the updated model is not at this point meant to be used for the national reporting. One of the reasons is that the data necessary to estimate the effects of the mitigation options are not available, and while it is possible to perform simplified analyses of the reduction potential of different options using assumptions on the input parameters, the estimations will have a level of uncertainty which is too high to be included in the national reporting. There are also several other drawbacks in the assumptions behind the mitigation analysis in the updated model. These are described in more detail in Annex 1 in this report.

Furthermore, abatement potential of all the three options will most likely have some overlap since implementation of one of the options will reduce the mitigation potential for the other ones.

Nevertheless, mitigation analysis can still be used for high-level assessment of the mitigation potential for emissions from enteric fermentation in Norway and, for instance, in forecasting different scenarios. Further data, described in more detail in the following chapter, can help improve the uncertainty of mitigation analysis.

The mitigation options introduced in the model can be used to estimate the methane reduction potential from enteric fermentation for the following animal categories:

Table 11 Mitigation options and the relevant animal categories

Mitigation option	Relevant animal categories
Better forage quality	Dairy cows
More time spent on pasture	All cattle subgroups and sheep
Feed additives	All cattle subgroups

A more detailed description of the implementation of the mitigation options in the model is provided in the following sections of this report.

2.4 Better forage quality

The model provides the *technical* possibility to include the effect of better forage quality in the estimation of the emission factor for dairy cows. An important condition for the model to estimate the methane emissions is that dry matter intake (DMI) and concentration of fatty acid (FA) and neutral detergent fibre (NDF) are known for varying harvesting times. Different harvesting times correspond to three different forage qualities in the model represented by numbers 1, 2 and 3, where 1 is forage of the best quality type (early harvesting time) and 3 – the worst (late harvesting time).

The emissions are then estimated for each of the forage quality type based on the equation developed by Prestløkken & Schwarm (2019):

$$\text{CH}_4 \text{ (MJ/day)} = 1,16 \times \text{DMI} - 0,11 \times \text{FA} + 0,0106 \times \text{NDF}$$

Where

- DMI = dry matter intake
- FA = fatty acid content
- NDF = neutral detergent fibre content

To estimate the emissions per animal per year, the input data on the share of forage of different quality is required. Based on this input data and on the estimated emission factors for each forage quality type, the model calculates the weighted average emission factor for dairy cows for each year.

The summary of the calculation steps in estimating methane emissions based on forage quality, as well as the overview of the required input data and the main underlying equations, is presented in Table 12.

Table 12 Better forage quality - required input data, main equations and calculation steps in the model

Required input data	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Shares of forage of different quality (1-3) ◦ Calculated ration parameters DMI, FA and NDF for forage of quality type 1, quality type 2 and quality type 3
Main equations	<p>Eq. 1: $\text{CH}_4 \text{ (MJ/day)} = 1,16 \times \text{DMI} - 0,11 \times \text{FA} + 0,0106 \times \text{NDF}$</p> <p>Where</p> <p>DMI = dry matter intake</p> <p>FA = fatty acid content</p> <p>NDF = neutral detergent fibre content</p> <p>Eq. 2: $\text{CH}_4 \text{ (kg/year)} = \text{CH}_4 \text{ (MJ/day)} \times 365 / 55,65$</p> <p>Where 55,65 is MJ energy content in 1 kg of methane</p>
Calculation steps	<p><i>Step 1:</i></p> <p>Calculate $\text{CH}_4 \text{ (MJ/day)}$ per animal using the input data values for DMI, FA and NDF for different types of forage quality in the Eq. 1</p> <p><i>Step 2:</i></p> <p>Calculate methane emissions in kg/animal/year for each type of forage quality using Eq. 2</p> <p><i>Step 3:</i></p> <p>Calculate the weighted average emissions per dairy cow per year using the results from Step 2 and the input data on share of forage of different types per year.</p>

2.5 Increased time on pasture

Another mitigation option included in the model is increased time spent on pasture. The model allows to estimate the reduction of methane emissions for the time spent on pasture for all categories of cattle and sheep. There are

very few studies analysing the effect of time spent on pasture on methane emissions from enteric fermentation, so it is important to highlight that the model only provides the technical opportunity to calculate this effect. The results of the calculation cannot at this point of time be used for the national reporting as more studies are required to scientifically validate the effects of pasture on the emissions.

In the model it is assumed that the emissions from enteric fermentation are reduced by a certain percent while animals are on pasture. The percentage reduction is a variable that can be changed in the model. To estimate this effect on the emission factor per year the input data on share of time spent on pasture for each of the categories of cattle and sheep per year are required.

The table below provides the summary of the required input data and calculation steps in estimating the methane emissions when the time spent on pasture is taken into account:

Table 13 Time on pasture - required input data, main equations and calculation steps in the model

Required input data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Share of time spent on pasture per animal category per year ○ Percentage reduction of methane emissions on pasture
Main equations	The main equations used to estimate methane emissions from enteric fermentation for different animal categories described in Section 2.2 of this report
Calculation steps	<p><i>Step 1:</i></p> <p>Calculate methane emissions in kg/animal/year for each animal category using the methodology described in Section 2.2</p> <p><i>Step 2:</i></p> <p>Adjust the emission factor estimated in Step 1 for the time spent on pasture by using the input data on share of time spent on pasture per animal category per year and the percentage reduction of methane emissions on pasture.</p>

2.6 Feed additives

The third mitigation option implemented in the updated model is feed additives. The effect of various feed additives on the methane emissions from enteric fermentation is described in more detail in NIR 2020, Annex IX. As for the previous mitigation options, the model allows taking into account this effect in the estimation of the emissions from different cattle subgroups, as a percentage reduction in methane emissions due to use of different types of feed additives. At this point, no concrete feed additives are included in the model due to lack of robust empirical data on their effects on animals in Norway. Both the types of feed additives and the corresponding reduction in methane emissions are input factors in the model.

The summary of the required input data and calculation steps in estimating the methane emissions taking into account feed additives is presented in Table 14:

Table 14 Feed additives - required input data, main equations and calculation steps in the model

Required input data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Type of feed additives ○ Share of feed concentrate with different types of additives per animal category per year ○ Percentage reduction of methane emissions due to use of different types of additives
Main equations	The main equations used to estimate methane emissions from enteric fermentation for different categories of cattle described in Section 2.2 of this report
Calculation steps	<p><i>Step 1:</i></p> <p>Calculate methane emissions in kg/animal/year for each cattle category using the methodology described in Section 2.2</p> <p><i>Step 2:</i></p>

	Adjust the emission factor estimated in Step 1 for the feed additives by using the input data on share of feed concentrate with additives per cattle category per year and the percentage reduction of methane emissions due to use of feed additives.
--	--

2.7 The implementation order for the mitigation options

In the model it is assumed that the methane emission factors reduce as the result of the introduction of one or several mitigation options.

Furthermore, it is assumed that the mitigation options are introduced in the following order:

1. Better forage quality
2. Increased time on pasture
3. Feed additives

As mentioned in the previous chapters, one can choose to either include or exclude any mitigation option from the estimation of the emission factors. However, if all three options are included in the emissions calculations, then the emission factor is reduced stepwise following the implementation order presented above. Figure 1 below illustrates the order of the reduction in the emission factor due to implementation of the mitigation options:

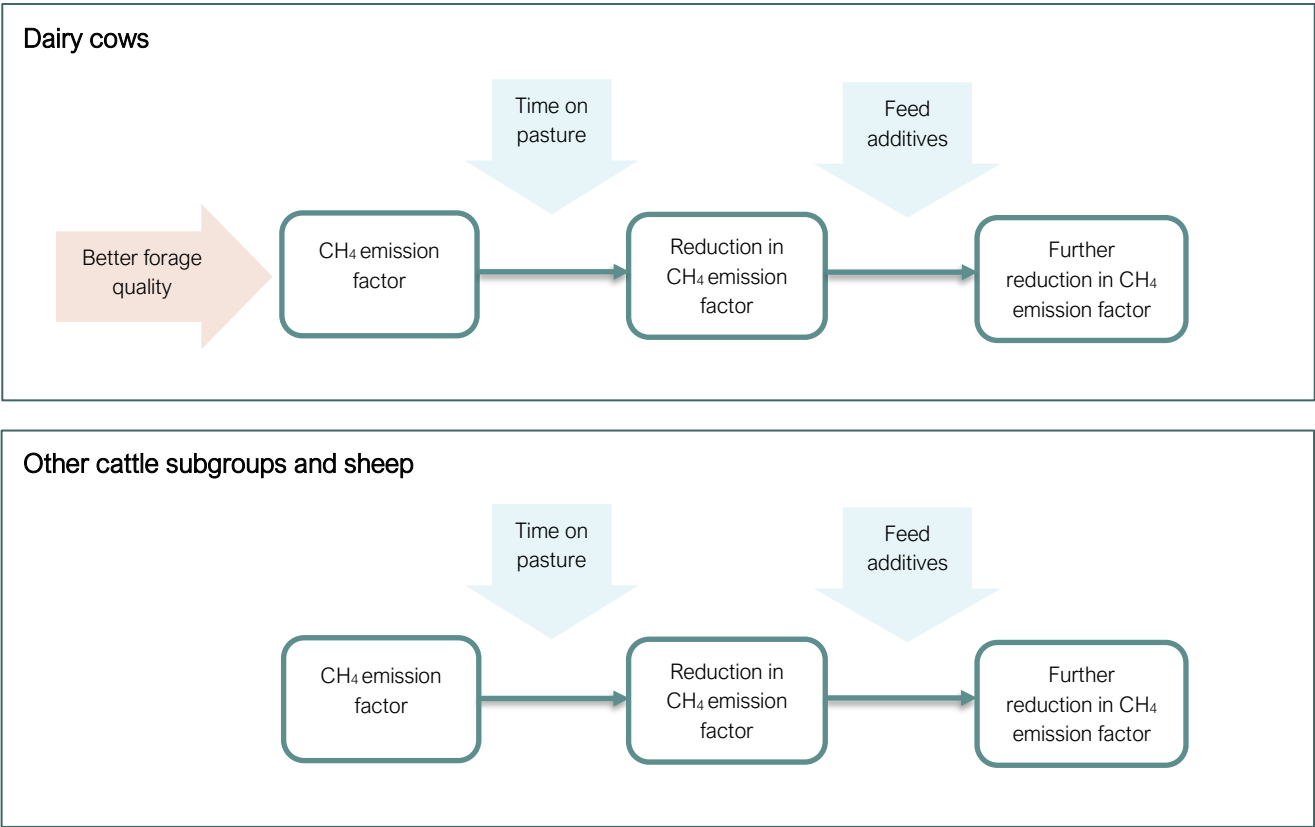


Figure 1 Implementation order and the reduction of the emission factors

3. Limitations and need for further development

As an important part of the project, the model has been reviewed by the Norwegian University of Life Sciences (NMBU), responsible for both the methodology and the existing emission factors assessment. The main recommendations for future development of the model, including the methodology and activity data, are summarized in Table 15. Note that this table only includes the recommendations that have not yet been mentioned in the previous chapters of this report. The full overview of the recommendations from NMBU are provided in Annex 1 to this report (in Norwegian).

Table 15 Model review and main recommendations for future development

Animal category	What does the recommendation refer to	Recommendation
Swine	Implementation of Tier 2 emission factors for swine	<p>Tier 2 emission factors for swine based on the HolosNorSvin model are now available. Nevertheless, NMBU recommends waiting with the implementation of the Tier 2 emission factors until the HolosNorSvin model has been published.</p> <p>NMBU also recommends that in connection with the possible implementation of the new emission factors, an assessment of activity data is also performed.</p>
Goats	Update of the emission factor(s) Division into subgroups	<p>NMBU has pointed out that a Tier 2 methodology based on the equations provided in IPCC 2019 guidelines could be implemented for goats. Otherwise, it was recommended to use the factor of 9 kg CH₄ per goat per year in accordance with IPCC (2019).</p> <p>Furthermore, NMBU recommended to adapt the model to include different subcategories of goats.</p> <p>It was at the same time pointed out that the possible change in the emission factor will only have an insignificant effect on the overall emissions, since the goat population in Norway is rather small.</p>
Young cattle	Tier 2 Methodology update	<p>NMBU's recommendation is to review the Tier 2 methodology for young cattle and evaluate whether the activity data for young cattle and the main equations for the emission factors can be adapted in accordance with the updated equations for growth in the NorFor model.</p>
Sheep	Possible update of the values live-weight and carcass weight	<p>NMBU recommends reviewing the values for live-weight and carcass weight, since these values seem to be too high in the current model. No concrete recommendation on how the values can be updated was provided. It was however mentioned that the methodology described in Øygarden 2019 and the slaughter data provided by Sauekontrollen (Norwegian industry organization for livestock control and breeding of sheep) can be used as some of the background documentation for the review.</p> <p>Furthermore, NMBU is currently finalizing the development of HolosNorSheep model which allows to estimate greenhouse gas emissions from Norwegian sheep. The possibility of including the emission factors for sheep estimated in HolosNorSheep model will be considered when the model is validated and published.</p>

4. References

Animalia, 2021. Årsmelding Sauekontrollen 2020.

Aspehølen Åby, B. & Konstad, M., 2021. Kvalitetssikring av oppdatert beregningsmodell for enterisk metan i det nasjonale utslippsregnskapet. Notat NMBU.

IPCC, 2006. IPCC guidelines. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management.

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Karlengen et al., 2012. Husdyrgjødsel; oppdatering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium. Sluttrapport.

Norwegian Environment Agency (2019) Greenhouse Gas emissions 1990-2017, National Inventory Report (NIR 2019). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1271/m1271.pdf>

Norwegian Environment Agency (2020) Greenhouse Gas emissions 1990-2018, National Inventory Report (NIR 2020). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1643/m1643.pdf>

Schwarm et al., 2019. Update of methodology for calculation of enteric methane from dairy cows in Norway. Notat NMBU.

Storlien, T. M. og Harstad, O. M., 2015. Enteric methane emissions from the cattle population in Norway. Method description. Notat NMBU.

Svihus, B., 2015. Production of methane from enteric fermentation in layers and turkeys. Notat NMBU.

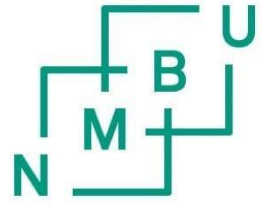
Volden, H. og Nes, S. K., 2006. Methane emissions from enteric fermentation in Norway's cattle and sheep population. Method description. Norway NIR 2014, Annex X

Øygarden, I. K., 2019. Genetisk analyse av utvikling i kroppsvekt frå lam til vaksen søye hjå norsk kvit sau - utnytting av eksisterande informasjon om slaktevekt. Masteroppgave NMBU.
<http://hdl.handle.net/11250/2609938>

Annex 1 (in Norwegian)

NOTAT

**Kvalitetssikring av oppdatert beregningsmodell for
enterisk metan i det nasjonale utslippsregnskapet**



Marie Konstad og Bente Aspeholen Åby

Forord

NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES har på oppdrag fra Miljødirektoratet kvalitetssikret en oppdatert modell for enterisk metan til bruk i det nasjonale klimagassregnskapet. Oppdraget innebærer også en gjennomgang av utslippsfaktorer som brukes i modellen og noe rådgivning underveis i modellutviklingen. Dette har vært NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCESs bidrag i prosjektet 'Teknisk oppdatering av beregningsmodellen for enterisk metan i det nasjonale utslippsregnskapet'. Modellutviklingen er utført av Carbon Limits. Andre involverte i prosjektet er Statistisk sentralbyrå og TINE.

Hensikten med dette notatet er å dokumentere vår gjennomgang av modellen. Notatet er delt i to deler. I del 1 dokumenteres gjennomgangen av nåværende utslippsfaktorer, og vurderinger av mulighetene for å oppdatere disse. Det ble samtidig gjort en sammenlikning med de Skandinaviske landene for Tier 1-verdiene. Vi takker Marion Tviland, Terje Bakken, Angela Schwarm, Ingjerd Dønnem, Geir Steinheim, Birger Svihus, Helge Bonesmo, Eli Johanne Gjerlaug-Enger, Margrete Eknæs og Egil Prestløkken for innspill og ekspertvurderinger til gjennomgangen av utslippsfaktorene.

I del 2 dokumenteres kvalitetssikringen av modellen utviklet av Carbon Limits og det gis tilbakemeldinger på mulige forbedringer. Det ble ikke gitt detaljerte føringer til hvordan kvalitetssikringen skulle gjennomføres. Valgt prosedyre for kvalitetssikring og resultat av kvalitetssikringen er dokumentert i del 2.

23.06.2021



Marie Konstad

Forsker



Bente Aspehølen Åby

Forsker

Oppsummering

Del 1 – Gjennomgang og vurdering av nåværende utslippsfaktorer

Gjennomgangen av nåværende Tier 1 utslippsfaktorer viser at det på sikt kan være mulig å oppdatere Tier 1-utslippsfaktor på gris (Tabell 1). Disse utslippsfaktorene er planlagt publisert i et fagfellelvurdert tidsskrift og implementering kan vurderes etter dette.

Tabell 1: Mulige endringer for Tier 1 utslippsfaktorer.

Kategori	Tier 1 i dag	Tier 1 ny	Kilde	Kommentar
<u>Svin</u>				
Purker	1,5	3,6409	HolosNorSvin,	Det anbefales å vente med implementering til verdiene er publisert i fagfellelvurdert tidsskrift. Utslippsfaktor for råner burde estimeres (har dog lite å si for totale utslipp)
Råner	1,5	Underkat. brukes ikke	Gjerlaug-Enger og Bonesmo, 2021; pers. komm	
Smågris	1,5	0,2954		
Avvent gris				
Slaktegris	1,5	1,2000		
Ungpurke/råne	1,5	1,2186		
Struts	0,02	5	IPCC, 2019	
Alpakka og lama	46	8	IPCC, 2019	

Det foreligger nå Tier 2-metodikk for geit (IPCC, 2019). Hvis det ikke prioriteres å ta i bruk Tier 2-metodikk kan det være aktuelt å oppdatere utslippsfaktoren til 9 kg CH₄ per geit og år iht. IPCC (2019). Dersom utslipp fra struts, alpakka og lama skal rapporteres i NIR anbefales det å bruke utslippsfaktorer fra IPCC (2019). Vi anbefaler per nå ingen andre endringer i Tier 1 utslippsfaktorene.

Tier 2-metodikk for melkeku og ammeku er relativt nylig gjennomgått, og det foreligger ikke grunnlag for endringer i utslippsfaktorene. Kjøttfe har fått en større rolle i norsk storfeproduksjon siden metodikken for utslipp fra kviger og okser ble utviklet, og NorFor har oppdatert sin tilvekstkurve. Dette kan medføre behov for tilpasninger av metodikken til ungdyr, men dette må eventuelt vurderes nærmere.

For sau kan det være mulig å gjøre enkelte oppdateringer i Tier 2-beregningene, oppsummert i Tabell 2. Slaktevekten for påsettlam kan virke noe høy, men det gis ingen anbefaling om

konkret endring per nå. Det anbefales ikke å ta i bruk ny Y_m -faktor for sau over ett år gitt i IPCC (2019) (6,7%) da fôropptaket for norsk sau er betydelig høyere enn 0,8 kg TS per dag. Vi anbefaler dermed fortsatt bruk av Y_m på 6,5%.

Tabell 2: Mulige endringer og oppdateringer til utslippsfaktorer for sau

Beregning av GE	Faktor	Nåværende	Ny	Kilde
Aktivitet	Ca, sau over ett år	0,0146	0,0148	IPCC (2019)
Vedlikehold	C _{fi} , sau under ett år	0,2825	0,2537	NIR 2019
Ullproduksjon	Kg ull per lam eller per år (søyer).	1,9 kg for lam og 4,1 kg for sau >1 år	1,1 kg for lam og 2,8 kg for sau >1 år	Norilia
Drektighet	C _{pregnancy} , sau >1 år	0,1015	0,126	IPCC (2006; 2019)
Tilvekst	Fødselsvekt, kg	3	4,8	Animalia, 2021c

Del 2 – Kvalitetssikring av Carbon Limits' modell for enterisk metan (CH₄)

Carbon Limits har utført en teknisk oppdatering av modellen for enterisk CH₄. Oppdateringer inkluderer nytt design, struktur og teknisk funksjonalitet, i tillegg til oppdatering av enkelte faktorer og en tilrettelegging for framtidig inklusjon av tiltaksanalyser. Den oppdaterte modellen omtales i dette notatet som CL-modellen. Modellen brukt til rapportering i det offisielle utslippsregnskapet (NIR) i 2021 omtales som NIR-modellen.

Det ble ikke funnet noen vesentlige feil ved CL-modellen. Kommentarer til mindre tekniske utbedringsforslag er framstilt i kap. 2.2.

Tiltaksanalysene tar hensyn til sammenhengen mellom enterisk CH₄ og faktorene grovfôrkvalitet, tid på beite og tilsetningsstoffer i kraftfôr, og er foreløpig kun til internt bruk i Miljødirektoratet, slik vi har forstått det. Vår vurdering er at tiltaksanalysene som presenteres er gode utgangspunkt, men at det er behov for utvikling av kunnskap, modeller og datagrunnlag før disse tas i bruk.

Del 1 - Gjennomgang og vurdering av nåværende utslippsfaktorer

1.1 Tier 1 utslippsfaktorer

Tier 1 utslippsfaktorene som brukes i NIR og foreslåtte endringer i IPCC (2019) er vist i Tabell 3, oversendt av Carbon Limits.

Tabell 3: Nåværende og IPCC (2019) Tier 1 utslippsfaktorer

Tier 1				
Animal category	Current EF, kg CH ₄ /dyr/år	Source for current EF	IPCC 2019, kg CH ₄ per dyr per år	Any other sources?
Purker	1.5	IPCC Guidelines 2006	1.5	
Råner	1.5	IPCC Guidelines 2006	1.5	
Smågris	1.5	IPCC Guidelines 2006	1.5	
Griser, slakt	1.5	IPCC Guidelines 2006	1.5	
Ungpurker/ungråner	1.5	IPCC Guidelines 2006	1.5	
Høner	0.02	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
Livkylling	0.0036	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
Slaktekylling	0.00001	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
Kalkun, slakt	0.0002	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
And, slakt	0.00003	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
Kalkun/gås, avl	0.0002	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
And, avl	0.00003	Svihus 2015	Insufficient data for calculation	
Hest	18	IPCC Guidelines 2006	18	
Melkegeit	13	Karlengen et al. 2012)	9	
Andre geiter	13	Karlengen et al. 2012)	9	
Mink	0.1	Harstad	To be determined	
Rev	0.1	Harstad	To be determined	
Hjort	20	Karlengen et al. 2012)	20	
Rein	14	Karlengen et al. 2012)	To be determined	
Struts	0.02		5	
Kamel og lama	46		8	

1.1.1 Svin

For svin brukes Tier 1 utslippsfaktor fra IPCC (2006). Med unntak fra Sverige (som bruker Tier 1), bruker de andre nordiske landene vektete utslippsfaktorer (Tabell 4) som er beregnet basert på utslippsfaktorer for ulike undergrupper av svin (Tabell 5), og dermed tar hensyn til at fordeling av dyr i ulike kategorier kan variere mellom år.

Tabell 4: vektete utslippsfaktorer fra CRF-filer for 2018

Land	Metode	Antall, 1000 hoder	Utslippsfaktor, kg CH ₄ /dyr og år	Ktonn CH ₄	Ktonn CO ₂ -ekv.
Norge	Tier 1	831,63	1,50	1,25	31,19
Sverige	Tier 1	1393,25	1,50	2,09	52,25
Danmark	Tier 2	12781,25	1,08	13,75	343,71
Finland	CS ¹	1041,10	1,04	1,09	27,15

¹Country-spesific**Tabell 5:** utslippsfaktorer, kg CH₄ per dyr og år for underkategorier av svin

	Norge	Sverige	Danmark	Finland	HolosNorSvin
Purker	1,5	1,5	2,75 ¹	3,8	3,6409
Råner	1,5	1,5	underkat. brukes ikke	3,6	underkat. brukes ikke
Smågris	1,5	1,5	0,42 ²	0,1 ³	0,2954 ⁴
Avvent gris				0,6 ⁵	
Slaktegris	1,5	1,5	1,53 ⁶	1,2 ⁷	1,2000 ⁸
Ungpurke/råne	1,5	1,5	underkat. brukes ikke	underkat. brukes ikke	1,2186 ⁹

¹inkludert smågris frem til 6,6 kg; ²fra 6,6 kg til 31 kg; ³0-20 kg; ⁴10-30 kg; ⁵20-50 kg; ⁶31-113 kg; ⁷over 50 kg; ⁸30-120 kg; ⁹120-160 kg

I arbeidet med en gårdsmodell for svin tilpasset norske produksjonssystem (HolosNorSvin), har Eli Johanne Gjerlaug-Enger (Norsvin) og Helge Bonesmo (NIBIO) m.fl. beregnet oppdaterte faktorer for enterisk CH₄ (Tabell 5). HolosNorSvin har også oppdaterte utslippsfaktorer for CH₄ og N₂O fra husdyrgjødsel tilpasset norske forhold (Gjerlaug-Enger, 2021, pers.komm.). Det er planlagt å publisere modellen i et vitenskapelig tidsskrift.

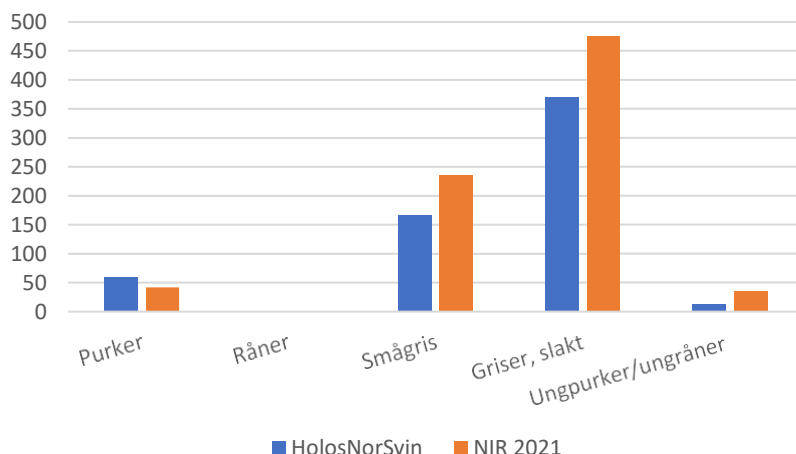
Utslippsfaktorene i HolosNorSvin differensieres for purker, smågris, slaktegris, og ungpurker, mens råner er ikke inkludert. Siden råner utgjør en svært liten andel av svinepopulasjonen (1,6 promille i 2018), er kvaliteten på utslippsfaktoren for råner mindre viktig for det totale regnskapet. Det er imidlertid mulig å gjøre en beregning av utslippsfaktor for råner basert på samme metodikk.

Utslippsfaktorene for enterisk CH₄ i HolosNorSvin gir en gjennomsnittlig utslippsfaktor på 1.06 kg CH₄ per gris ved vekting etter antall svin rapportert i NIR 2021. Verdien samsvarer godt med verdier brukt i Danmark og Finland, som også har differensiert utslippsfaktor for ulike kategorier av svin (Tabell 5).

De nordiske landene har generelt høy produktivitet i svineproduksjon, med blant annet et høyt antall avvente smågris per purke. Dette påvirker forholdet mellom antall dyr i kategorier for voksne avlsdyr (med relativt høye utslipp per dyr), og dyr til slakt. Det kan derfor argumenteres for at utslippsfaktorer differensiert for ulike underkategorier bedre vil representere utslipp fra produktive produksjonssystem, slik som norsk svineproduksjon. I Danmarks NIR (2020) påpekes det at den lave utslippsfaktoren for svin sammenligna med IPCCs Tier 1 faktor har bakgrunn i høy andel smågris. CL-Modellen er tilrettelagt i regnearket 'INPUT – FACTORS' for et enkelt skifte til nye utslippsfaktorer.

Utslippsfaktorene har vært fokus for denne gjennomgangen, og ikke bearbeiding av aktivitetsdata. Det kan likevel nevnes at HolosNorSvin benytter en metode for beregning av antall dyr som kan vurderes som aktuell for nasjonal rapportering. Siden det er stor forskjell på utslippsfaktoren for de ulike kategoriene svin, har beregning av antall i hver kategori betydning for den samlede utslippsfaktoren per svin, og vi anser det derfor som relevant å nevne.

I gårdsmodellen tas det utgangspunkt i antall slaktede slaktegris, en verdi vi vet med relativt høy sikkerhet. Med Ingridata er det beregnet en faktor som angir antall årdsdyr i de ulike kategoriene svin oppgitt per slaktet slaktegris. Dette er 0,038, 0,106, 0,235 og 0,008 årdsdyr per slaktet slaktegris for hhv. purker, smågris, slaktegris og ungpurker (Gjerlaug-Enger, pers.komm.). Figur 1 sammenligner de to metodene for året 2019, med forutsetning om 1 572 021 slaktede slaktegris. HolosNorSvin-beregningen gir et lavere totalt antall svin, og en annen sammensetning av populasjonen.



Figur 1 Antall svin (1000 årdsdyr) i 2019 beregnet med metodikk fra HolosNorSvin og rapportert i NIR 2021.

Vi har ikke detaljert kjennskap til beregningsmetodikken i NIR 2021, men det kunne vært interessant å se nærmere på årsak til disse forskjellene i antall svin og sammensetning av populasjonen. Ved vekting av utslippsfaktoren for svin etter antallsberegning fra HolosNorSvin, blir gjennomsnittlig utslipp per gris noe høyere (1.19 kg CH₄ per gris), samtidig blir totale utslipp lavere pga. færre svin (Tabell 6).

Tabell 6: Antall svin fra NIR 2021 (#NIR) og HolosNorSvin (#Holos) ganget med utslippsfaktor fra enten NIR (EF_{NIR}) eller HolosNorSvin (EF_{Holos}).

			Alt. A	Alt. B	Alt C.		
	#NIR	#Holos	#NIR	#NIR	#Holos		
			*	*	*		
	#NIR	#Holos	EF _{NIR}	EF _{Holos}	EF _{Holos}	%endring A–B	%endring A–C
	t CH ₄						
Purker	41 619	59866	62,43	151,53	217,97	143 %	249 %
Råner ^a							
Smågris	235 444	166246	353,17	69,55	49,11	-80 %	-86 %
Griser, slakt	475 338	369963	713,01	570,41	443,96	-20 %	-38 %
Ungpurker/ ungråner	35 723	13351	53,59	43,53	16,27	-19 %	-70 %
Sum/snitt	789 013	609 427	1 182,1	835,0	727,3	-29 %	-38 %

^aRåner utelukket pga. manglende faktor i HolosNorSvin

Det faglige grunnlaget for implementering av Tier 2 utslippsfaktorene basert på HolosNorSvin-modellen foreligger nå, men vi anbefaler å vente med implementering til

modellen er vitenskapelig publisert. Vi anbefaler at det i forbindelse med eventuell implementering av nye utslippsfaktorer også gjøres en vurdering av aktivitetsdata.

1.1.2 Fjørfe

Utslippsfaktorene for ulike underkategorier av fjørfe er basert på ekspertvurdering fra Birger Svihus (2015). Det beregnes en gjennomsnittlig utslippsfaktor som brukes i NIR basert på populasjonssammensetning. En gjennomgang av utslippsregnskapet til de andre nordiske landene viser at det entes brukes landsspesifikk Tier 1 (Norge og Danmark) eller at utslipp fra fjørfe ekskluderes fra regnskapet (Sverige og Finland; Tabell 7).

Tabell 7: Vektet utslippsfaktor for fjørfe i CRF-filene for 2018 (NIR, 2020)

Land	Antall dyreplasser, 1000 dyr	Utslippsfaktor, kg CH ₄ per hode	Totale utslipp, ktonn CH ₄	Totale utslipp, kg CO ₂ -ekv.
Norge	15250,97	0,01	0,09	2,37
Sverige	21325,93	0	0	0
Danmark	21246,20	0,003	0,07	1,64
Finland	14140,31	0	0	0

1.1.2.1 Mulighet for å oppdatere utslippsfaktorer for fjørfe

Som poengtert av Svihus (2015) baseres den norske og danske utslippsfaktoren på mye av det samme vitenskapelige grunnlaget (hovedsakelig Wang og Huang, 2014) samt ekspertvurderinger. Etter denne gjennomgangen har det, så vidt vi vet, verken blitt gjort norske målinger på enterisk CH₄ fra fjørfe (i respirasjonskammer) eller kommet nye relevante vitenskapelige publikasjoner. Ifølge tall fra Animalia (2021a) har det ikke vært betydelige endringer i fôrforbruk og produksjonsresultater siden 2015. **Det kan dermed ikke på nåværende tidspunkt argumenteres for at det er grunnlag for å endre nåværende utslippsfaktorer (Svihus, 2021, pers. komm.). En endring i utslippsfaktor for fjørfe vil ha liten effekt på de totale utslippene fra jordbrukssektoren.**

1.1.3 Hest

Alle land unntatt Danmark bruker Tier 1 utslippsfaktor for hest (Tabell 8). Dette er samme situasjon som da Karlengen *et al.* (2012) gjorde sin gjennomgang.

Tabell 8: Utslippsfaktor for hest

Land	Metode	Antall årsdyr, 1000 dyr	Utslippsfaktor, kg CH ₄ per hode	Totale utslipp, ktonn CH ₄	Totale utslipp, kg CO ₂ -ekv.
Norge	Tier 1	72,47	18	1,30	32,61
Sverige	Tier 1	355,50	18	6,40	159,98
Danmark	Tier 2	175,00	21,81	3,82	95,42
Finland	Tier 1	74,40	18	1,34	33,48

1.1.3.1 Tier 2 Danmark

Tier 2 verdien på 21,81 kg CH₄ per hest og år er fast for hele tidsserien 1990–2018. Utslippsfaktoren baseres seg på landsspesifikke beregninger av gjennomsnittlig fôropptak (1995 fôrenheter). Bruttoenergiopptaket blir beregnet ut fra beiteperiode (183 dager) og bruttoenergiinnhold i fôret på hhv. beite og i innefôringsperioden (18,8 og 30 MJ bruttoenergi per fôrenhet).

1.1.3.2 Mulighet for Tier 2 utslippsfaktor for Norge

Det er ikke tilgjengelig beregninger for gjennomsnittlig fôrbehov for hest i Norge samt informasjon om beiteperiode og gjennomsnittlig energiinnhold i fôrrasjonen. **Det anbefales dermed fortsatt bruk av Tier 1 utslippsfaktor (18 kg CH₄ per hest og år).**

1.1.4 Geit

Tier 1 utslippsfaktoren oppgitt i IPCC (2006) er 5 kg CH₄ per dyr og år, og brukes av Sverige og Finland (Tabell 9). Norge bruker Danmarks utslippsfaktor etter anbefaling fra Karlengen *et al.* (2012). Danmark har en Tier 2 utslippsfaktor for geit. I følge danske NIR 2021 varierer

utslippsfaktoren for geiter med endringer i fôropptak, fordeling av dyretall i ulike underkategorier og antall beitedager.

Tabell 9: Utslippsfaktorer for geit (CRF, 2018)

Land	Metode	Antall årsdyr, 1000 dyr	Utslippsfaktor kg CH ₄ per hode	Totale utslipp, ktonn CH ₄	Totale utslipp, kg CO ₂ -ekv.
Norge	Tier 1	58,00	13,00	0,75	18,85
Sverige	Tier 1	15,67	5,00	0,08	1,96
Danmark	Tier 2	10,32	13,10	0,14	3,38
Finland	Tier 1	5,44	5,00	0,03	0,68

1.1.4.1 Muligheter for oppdatering av utslippsfaktor

IPCC (2019) gir vesentlige oppdateringer i retningslinjer for geit. Det introduseres metodikk for beregning av Tier 2 utslippsfaktor for geit, og det presenteres en ny utslippsfaktor på 9 kg CH₄ per dyr og år for «high productivity systems». Den nye metodikken er basert på omfattende litteraturstudie (IPCC, 2019; Anneks 10B.3).

Den nye Tier 1 utslippsfaktoren for produksjonssystemer med høy produktivitet er basert på geiter med kroppsvekt på 50 kg. Det er ut ifra kroppsvekt beregnet et tørrstoffopptak og forventede metanutslipp. Ifølge NSG, som har ansvaret for det nasjonale avlsarbeidet på melkegeit, er snittvekten til norsk melkegeit rundt 50 kg (NSG, 2021). Det er ikke oppgitt hvilken melkeytelse det er tatt utgangspunkt i ved beregning av fôrbehovet til grunn for Tier 1 utslippsfaktoren. Det er heller ikke oppgitt hvilket forhold det er antatt mellom ulike kategorier geit. Utslippsfaktoren skal brukes for alle geiter, inkludert kje. Sammensetning av geitepopulasjonen har dermed stor betydning.

Tall fra SSB indikerer at sammensetningen av den norske geitepopulasjonen endrer seg i retning færre melkegeiter ift. andre geiter. Dette kan ha sammenheng med at flere kje føres fram og brukes til kjøttproduksjon, samt økende antall ammegeit. Utviklingen i antall dyr kunne vært bedre hensyntatt i utslippsregnskapet, da det vil være vesentlige forskjeller i utslippsfaktor tilknyttet de ulike kategoriene geit (Lasse, 2012). Produksjonstilskuddssystemet har en mer finmasket inndeling av geiter enn det som brukes i NIR for enterisk CH₄, så tilgang på aktivitetsdataene burde ikke være til hinder for en mer detaljert inndeling.

Tier 2- koeffisientene som presenteres i IPCC (2019) ser ut til å kunne være aktuelle for norsk geitemelkproduksjon. Ytelsen til norske melkegeiter er 708 kg per årsgeit (Tine, 2020). Dette ligger innenfor intervallet man finner i dataene til grunn for utvikling av Tier 2-koeffisienter (14,53–64,00 kg kroppsvekt og daglig ytelse på 0,81–3,69 kg melk per dag; IPCC, 2019; Anneks 10B.3).

Eknæs (pers.komm.) vurderer at det er mulig å utvikle Tier 2- metodikk for norske melkegeiter. Ytelse registrert i geitekontrollen kan være en aktuell datakilde. Normer for energibehov og data på fôropptakskapasitet kan sammen med ytelse brukes til å finne en utslippsfaktor. Håndtering av utmarksbeite vil imidlertid bli en utfordring (Eknæs, pers.komm.). Utmarksbeite utgjør en stor andel av rasjonen i mange besetninger, og geita velger gjerne planter som inneholder mye tannin, som virker hemmende på metanproduksjonen.

Karlengen *et al.* (2012) anbefalte å bruke den danske utslippsfaktoren pga. manglende dokumentasjon av totalt fôropptak i fôrstatistikken for geit. Siden IPCC nå gir et nytt og bedre dokumentert estimat er dette aktuelt å ta i bruk. Eknæs (pers.komm.) påpeker dessuten at den danske faktoren er basert på halm til innefôr, noe som er lite brukt til norske geiter. Det kan også påpekes at vekta til grunn for beregninger for geit er høy i det danske regnskapet (60 kg; Danmarks NIR 2021, CRF-tabeller).

Hvis det ikke prioriteres å ta i bruk Tier 2-metodikk kan det være aktuelt å oppdatere utslippsfaktoren til 9 kg CH₄ per geit og år iht. IPCC (2019). Samtidig anbefaler vi å tilrettelegge modellen slik at det etter hvert kan brukes ulike faktorer for ulike kategorier geit (melkegeit/ammegeit/kje). Tier 2 beregninger kan gjøres på sikt basert på likningene i IPCC (2019). En endret utslippsfaktor vil imidlertid ha liten effekt på de totale utslippene fra jordbrukssektoren pga. størrelsen på geitepopulasjonen.

1.1.5 Øvrige husdyrproduksjoner

Det anbefales at dagens utslippsfaktorer for mink, rev, hjort og rein videreføres. Etter det vi har kjennskap til foreligger det ikke faglig grunnlag for oppdatering av disse faktorene på nåværende tidspunkt.

Utslipp fra struts og kameldyr er per i dag vurdert som ikke signifikante og utelukket fra NIR (2020). Det er små populasjoner av struts og kameldyr i Norge, så utslipp i disse kategoriene er lite betydningsfulle. Produksjonstilskuddsdata (Landbruksdirektoratet, 2021) viser 25 struts i Norge per 01.03.2019. Selv om denne statistikken antagelig ikke fanger opp alle dyr, er

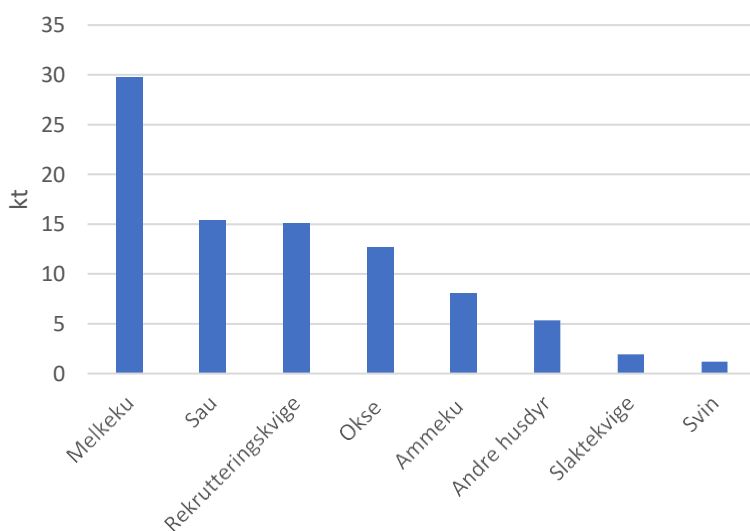
bidraget fra strutsen i det nasjonale klimaregnskapet ubetydelig. **Dersom det på sikt skal gjøres beregninger av utslipp fra struts bør den oppdaterte faktoren på 5 kg CH₄/dyr/år benyttes (IPCC, 2019).**

Populasjonen av kamelider i Norge er vanskelig å fastsette presist da mange dyr ikke omfattes av statistikken for produksjonstilskudd (Norsk Kamelidforening, 2021). Det ble i forbindelse med søknad om produksjonstilskudd (per 01.03.2019) registrert 956 lamaer og 1141 alpakkaer (Landbruksdirektoratet, 2021). IPCC (2006) inkluderte ikke Tier 1 utslippsfaktor for lama, mens IPCC (2019) fastsetter Tier 1-faktoren til 8 kg CH₄/dyr/år for lamaer og alpakkaer. Basert på data fra produksjonstilskudd og IPCC (2019) gir dette et totalt utslipp på 16,8 t CH₄ i året. Et lite bidrag i det totale regnskapet, men likevel på linje med utslipp fra pelsdyr, som er inkludert. **Ved eventuell inkludering av utslipp fra alpakkaer og lamaer i NIR bør utslippsfaktoren baseres på IPCC (2019).**

1.2 Tier 2 utslippsfaktorer

1.2.1 Melkeku

Det meste av CH₄ som produseres i fordøyelseskanalen til norske husdyr kommer fra storfe (75 prosent; CRF-tabell 2021). Av de ulike klassene av storfe, er særlig melkekua viktig (Figur 2).



Figur 2 Kilotonn (kt) enterisk metan fra norske husdyr i 2019 (CRF-tabell fra 2021). Rekkefølge av utslippskolonner er rangert etter størrelse av utslipp.

Som beskrevet av IPCC (2006) baseres beregningen av enterisk CH₄ (Tier 2) på to variabler, i tillegg til faste omregningsfaktorer.

1. Fôropptak (MJ Bruttoenergi)
2. Omregningsfaktor (Y_m ; andel av fôropptak som omdannes til CH₄)

I det norske utslippsregnskapet beregnes begge variabler ved regresjonsligninger med kraftfôrandel og melkeytelse som årsaksvariabler. Kraftfôrandel og melkeytelse er tilgjengelig i Kukontrollen, og dette er årsaken til at disse variablene ble valgt (Storlien og Harstad, 2015). Regresjonsligningene ble utviklet av Storlien og Harstad (2015), basert på Volden og Nes (2006). Ligning for Y_m er senere oppdatert av Schwarm *et al.* (2019). Metodikken er altså nylig gjennomgått og det anbefales dermed ingen endringer i metodikk for melkeku på dette tidspunktet. Ligningen for enterisk CH₄ fra Schwarm *et al.* (2019) publiseres nå (Niu *et al.*, 2021), og er dermed ytterligere kvalitetssikret.

Sammenligning av resultater fra modellen viser resultater som samsvarer med NIR 2021 (CRF-verdier) for melkeku. Faktorer i beregningen ble sammenlignet med faktorer dokumentert av Storlien og Harstad (2015) og Schwarm *et al.* (2019). Beregningen ser ut til å fungere etter hensikten og vi har ingen innspill til beregningsmetodikken, utover innspill av mindre betydning i kapittel 2.2.

1.2.2 Ammeku

Nåværende modell for enterisk CH₄ fra ammeku er basert på Åby *et al.* (2019). Metoden ble innført i 2019 for rapportering av utslipp fra 2017. Den avlastet en modell basert på fast melkeytelse og kraftfôrandel. CL-modellen er gjennomgått, og metodikk for ammeku samsvarer med Åby *et al.* (2019).

Utslippsfaktoren er relativt nylig oppdatert (Åby *et al.*, 2017 i NIR, 2020). Det foreligger ingen nye vitenskapelige data på fôropptak og fôrkvalitet eller faktiske målinger av enterisk CH₄ fra ammeku under norske forhold. **Det foreligger dermed ikke noe vitenskapelig grunnlag på nå for å endre utslippsfaktoren fra dagens 86 kg CH₄ per ammeku og år.**

1.2.2.1 Oppdatering av kraftfôrandel og melkeytelse for ammeku

I NIR-modellen for melkeku, tidligere benyttet til ammeku, ligger et anslag for melkeytelse (2000 kg EKM per år) og kraftfôrandel (20%). Disse faktorene brukes ikke lenger i

utslippsregnskapet og det ble derfor diskutert (møte 12.mai) å utelukke disse. Det var likevel et ønske fra Miljødirektoratet å la disse variablene stå, i den hensikt å synliggjøre hvilke verdier som er brukt i beregning av den konstante faktoren i NIR.

Følgende verdier er basert på det samme datasettet som var utgangspunkt for beregning av den faste utslippsfaktoren beskrevet i NIR 2019-annekset. Det påpekes imidlertid at dette er gjennomsnittsverdier som ikke er brukt direkte i beregning av den faste utslippsfaktoren. Det ble i beregning av den faste utslippsfaktoren tatt høyde for variasjon i rasjonssammensetning og kraftfôrandel mellom besetninger. Inklusjon av disse gjennomsnittsverdiene kan dermed være kilde til misforståelser når de stilles opp på lik linje med kraftfôrandel og melkeytelse for melkeku. Dersom kraftfôrandel og melkeytelse for ammeku skal framgå i CL-modellen anbefaler vi at disse verdiene erstatter dagens verdier på hhv. 20 prosent kraftfôr og avdrått på 2000 kg:

- **7 prosent kraftfôr på energibasis** (fôrenheter melk; FEm).

Dette gjelder fôrforbruk for ei voksen ku i perioden fra en kalving til neste kalving, i tillegg til fôret til en kalv fram til 200 dg. Beregnet gjennomsnittlig kraftfôrforbruk er 125/395 FEm for lette/tunge raser og beregnet totalt fôrforbruk er 3 600/4 480 FEm for lette/tunge raser. Ved vekting av fôrforbruk etter forekomst på 0,6 av intensive raser (som i NIR 2019), blir resultatet 7 prosent.

- **1200 kg melk per år.**

Vi har ikke kjennskap til at det er gjort målinger av melkeytelse for kjøttfe i Norge. Wetlesen *et al.* (2020) gjorde en vurdering av melkeytelsen i norsk ammekuproduksjon. Verdier funnet ved litteraturgjennomgang var en ytelse på 1000 liter for Angus og 1200 liter for Hereford og Charolais. Dette tilsvarer 1031/1237 kg med antagelse om tetthet på 1.0305 kg/L. Ved vekting av ytelser etter antall kalvinger fra ulike raser i undersøkelsen, samt vekting i forhold til en forekomst på 0,6 av intensive raser (som i NIR 2019), kan resultatet avrundes til 1200 kg melk per år.

Som forklart under kulepunkter over er dette vurderinger basert litteratur og tilgjengelige data. Variablene kraftfôrandel og melkeytelse ble valgt som årsaksvariabler i melkekuberegningen på grunn av tilgjengelighet i Kukontrollen (Storlien og Harstad, 2015), men dette er ikke situasjonen for ammekuproduksjonen. En eventuell framtidig Tier 2-ligning vil sannsynligvis dermed være basert på andre parametere. Det kan godt ligge inne en teknisk mulighet for å

legge inn en ligning basert på 2 variabler i framtida, men det er altså lite sannsynlig at disse variablene vil være kraftfôrandel og melkeytelse for ammeku.

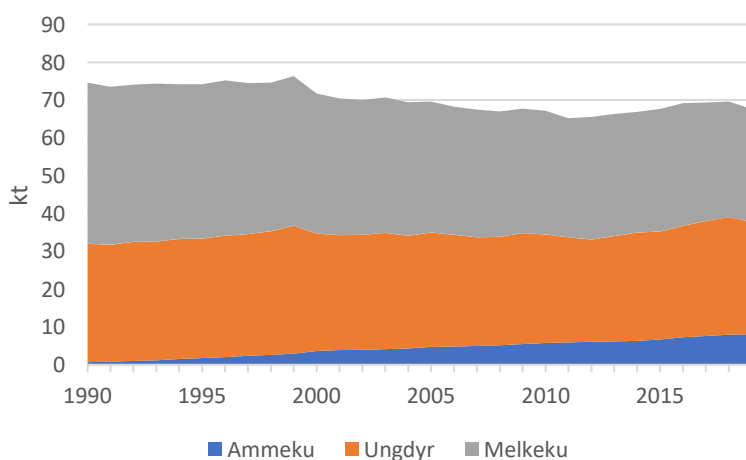
1.2.3 Kviger og okser

Metodikken for kviger og okser er basert på Storlien og Harstad (2015). På samme måte som for melkeku, er det laget regresjonsligninger for hhv. GE og Y_m . Årsaksvariabler er slaktealder/alder ved innkalving og slaktevekt/vekt ved innkalving. Sammenhengen mellom disse variablene og GE er funnet vha. tilvekstkurve og energibehov fra NorFor, og sammenhengen med Y_m er funnet med en ligning av Hristov *et al.* (2013).

Det er tre sett regresjonsligninger, for hhv. kviger til påsett, kvige/okse slaktet < 1 år og kvige/okse slaktet > 1 år. Disse brukes til å beregne utslippsfaktorer for i alt fem kategorier.

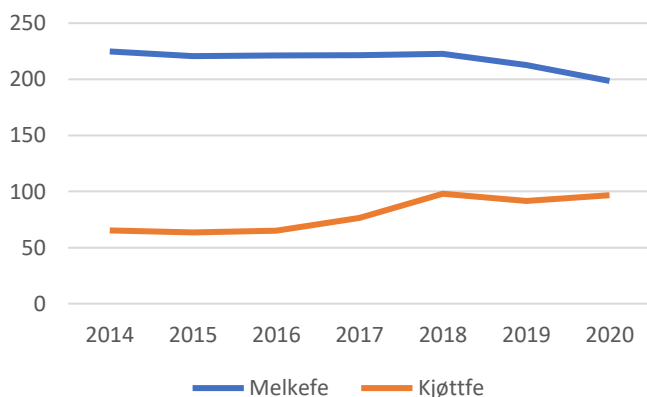
1. Kvige til påsett
2. Kvige slaktet <1 år gammel
3. Okse slaktet <1 år gammel
4. Kvige slaktet >1 år gammel
5. Okse slaktet >1 år gammel

Enterisk CH₄ fra melkeku har utgjort en stor andel av utslipp fra storfe over tid, men fra 2005 har utslipp fra ammeku og voksende storfe vært større enn utslipp fra melkekua (Figur 3). Med andre ord har også ammeku og voksende storfe økende betydning for norske utslipp av enterisk metan.



Figur 3 Kilotonn (kt) enterisk metan fra storfe (NIR 2021, CRF-tabeller).

Av voksende storfe kan vi anta at en økende andel er ungdyr i ammekuproduksjon, da norsk storfeproduksjon spesialiseres, grunnet økning i melkeytelse for melkekyr. Hovedandelen av ungdyra vil fortsatt være av NRF, men en stadig større andel av storfekjøttet produseres nå på kjøttfe i ammekubesetninger. Dette fører til et større innslag av kjøttferaser i produksjonen (Figur 4).



Figur 4 Antall 1000 slakt (Animalia, 2021d).

Metodikken for mordyra i den spesialiserte storfekjøttproduksjonen er nylig oppdatert. Regresjonsligningene for ungdyr er imidlertid basert på tilvekst for NRF. Spesialiseringen av storfekjøttproduksjonen kan gi grunn til å se nærmere på beregningen for ungdyr, og om disse er godt nok tilpasset kjøttfe.

De tunge rasene har høyere tilvekst, og dermed høyere fôrbehov og utslipp per dag. Dette tas det hensyn til med nåværende ligninger, da disse varierer med slaktevekt og slaktealder. Samtidig kan fôrbehovet per kg tilvekst være ulikt for de tunge og lette rasene. De lette rasene og melkeraser avleirer fett tidligere enn de tunge rasene, og fettvev er særlig energikrevende å bygge opp. Kjøttferaser har også et noe lavere vedlikeholdsbehov (Nortura, 2016).

Det ser ut til at NorFor har oppdatert sin tilvekstfunksjon etter at regresjonsligningene for ungdyr ble utvikla. Dette gjelder både NRF og kjøttfe. Oppdateringen har særlig stor betydning for tunge kjøttferaser (Anderssen, 2016). Oppdatert tilvekstfunksjon vil kunne medføre endringer i fôropptak og metanutslipp.

Kviger og okser står til sammen for en vesentlig andel av metanutslippene (Figur 3). Det kan derfor være aktuelt med en validering, og eventuelt en oppdatering, av metodikken for kviger og okser. **Vår anbefaling er at det gjøres en gjennomgang av metodikken for ungdyr, hvor det vurderes om aktivitetsdata og ligninger kan/bør tilpasses kjøttferaser og NorFors**

oppdaterte tilvekstfunksjon. Tilvekst, fôropptak og -behov er av vesentlig betydning også for utslipp fra husdyrgjødsel, så en eventuell oppdatering kunne sett på forbedring i metodikk også for utslipp fra husdyrgjødsel.

Det må samtidig nevnes at den oppdaterte vekstfunksjonen kan reflektere biologiske endringer i dyremateriale. Det kan godt være at nåværende ligninger reflekterer utslipp tilbake i tid på en bedre måte enn eventuelle nye ligninger. Dette er vurderinger som også må gjøres i forbindelse med en oppdatering av beregningsmetodikken i husdyrproduksjonene.

1.2.4 Sau og lam

Beregningen for sau er basert på metode utviklet av Volden og Nes (2006). Det er en Tier 2-beregning, hvor fôropptaket (BE, MJ/dg.) følger utviklingen i slaktevekter, og Y_m er fast (6,5% for dyr over ett år, 4,5% for dyr under ett år).

1.2.4.1 Vurdering av Y_m , slaktealder og slaktevekter

Slaktealder: ifølge Haarsaker og Thuen (2019) er kilden til de brukte tallene for slaktevekter ukjent. Slaktestatistikken til Animalia (2021b) oppgir ikke slaktealder hos lam. Vi har dermed ingen bakgrunn for å uttale oss om disse tallene. **Anbefalingen er dermed å ikke endre dette på nåværende tidspunkt.** Det er mulig å bruke data fra Sauekontrollen for å se nærmere på dette. Sauekontrollen inneholder ca. 40% av den norske sauepopulasjonen og inneholder registreringer av fødsels- og slaktedato på individnivå. Imidlertid virker de forutsatte slaktealderne fornuftige fortsatt (Steinheim, 2021; pers.komm.).

Slaktevekt for påsett under ett år: slaktevekt på 29 kg brukes for å estimere levendevekt. Det fremkommer ikke hva som er kilden til dette estimatet. Forutsatt en slakteprosent på 41 tilsvarer 29 kg slaktevekt en levendevekt på 71 kg. I følge Bomann og Eikje (2011) var gjennomsnittlig levendevekt for Norsk Kvit Sau (NKS) åringer (67% av sauepopulasjonen i Norge, Steinheim, 2021 pers.komm.) ca. 61 kg mens den for Spæl var 55 kg. Levendevekten hos søyer ble i samme studie anslått å øke med ca. 7 kg per tiår som et resultat av avlsarbeid for tilvekst av Boman, 2010. Øyhus (2017) fant at NKS søyelam under ett år veide 54 kg (dog basert på få vekter) mens åringer veide 66 kg (over 22000 veide dyr). Sistnevnte vekt stemmer godt med forventet vektøkning ut fra avlsfremgang på tilvekst nevnt over. En analyse av slaktedata (nesten 37000 NKS slakt) fra to væreringer (Øygarden, 2019) viste at aldersklassen

216-365 dager hadde en gjennomsnittlig slaktevekt på 20,47 kg (=ca. 50 kg levendevekt). Tabellen under (Figur 5) viser utvikling i slaktevekt for ulike aldersklasser hos sau (Øygarden, 2019). Denne viser også at en slaktevekt på 29 kg virker høyt for et påsettlam på ett år. En slaktevekt på 29 kg oppnås først ved en høyere alder (ca. 2 år).

Tabell 5. Gjennomsnittleg slaktevekt, standardavvik, minimums- og maksimumsvekt for aldersklassane.

Aldersklasse	Alder i dagar	N	Gjennomsnittsvekt	Std.	Min.	Maks.
1	<123	1293	17,71	3,76	12,10	64,70
2	123-215	20708	19,24	2,36	12,10	34,20
3	216-365	3210	20,47	4,03	12,30	41,20
4	366-730	2220	26,79	6,30	12,30	60,00
5	731-1095	2068	32,04	6,15	12,40	57,80
6	1096-1460	1788	34,70	6,35	18,10	61,10
7	1461-1825	1565	35,60	6,22	17,80	61,70
8	1826-2190	1196	35,17	6,23	18,70	57,40
9	2191-2555	1456	33,07	5,67	19,50	54,70
10	2555<	918	31,14	5,29	17,80	61,30

Figur 5 Tabell fra Øygarden (2019).

Basert på analysene som er gjort på levende- og slaktevekt på sauepopulasjonen kan det se ut til at anslaget på 71 kg levendevekt, basert på 29 kg slaktevekt og slakteprosent på 41, er noe høyt. Vi kan imidlertid ikke komme med noen ny konkret anbefaling på nåværende tidspunkt. Metodikken til Øygarden (2019) og data fra Sauekontrollen (alle slaktedata for søyer) kan eventuelt brukes til å undersøke dette nærmere (Steinheim, 2021, pers.komm.).

Y_m: det oppgis en Y_m for sau i 2006 IPCC guidelines på 6,5%. IPCC (2019) foreslår en gjennomsnittsverdi for Y_m på 6,7% for all sau uavhengig av fôrkvalitet. Imidlertid påpekes det at Y_m-verdien er mest riktig for et tørrstoffopptak mellom 0,6 og 0,8 kg/dag, mens en Y_m-verdi på 6,5 er mer passende når gjennomsnittlig fôropptak er høyere enn 0,8 kg/dag. Gjennomsnittlig fôropptak for norsk sau ligger godt over 0,8 kg/dag (Dønnem, 2021; pers. komm.). **Det anbefales dermed fortsatt bruk av Y_m på 6,5%.**

1.2.4.2 Beregning av bruttoenergiopptak

Nettoenergi vedlikehold: For daglig energibehov til vedlikehold (MJ) per kg stoffskiftevekt (C_f) brukes et gjennomsnittsnitt av hann og hunnkjønn da det ikke kan skilles på kjønn i dataene over antall dyr ifølge Volden (2006).

Carbon Limits påpeker at koeffisienten C_f for sau under ett år er ulik i NIR-modellen, og dokumentasjon til grunn for beregningen (Volden og Nes, 2006; Haarsaker og Thuen, 2019; NIR 2019). Retningslinjer fra IPCC (2000; 2006; 2019) er undersøkt, samt de siste åras NIRer. Vi har ikke lyktes i å finne faglig grunnlag for å bruke koeffisienten som til nå er brukt (0,2825), og anbefaler at den dokumenterte faktoren (0,2537) brukes, med mindre Miljødirektoratet har intern faglig dokumentasjon som tilsier fortsatt bruk av nåværende faktor.

Nettoenergi aktivitet: Koeffisienten C_a oppgir daglig energibehov til aktivitet (MJ) per kg kroppsvekt. Volden og Nes (2006) bruker et snitt av «housed ewes», «sheep grazing in flat pasture» or «sheep grazing on hilly pasture» for sau over ett år ($C_a=0,0146$). IPCC (2019) oppgir en oppdatert C_a for «housed ewes» og nytt gjennomsnitt vil da bli **0,0148**.

Nettoenergi tilvekst: Fødselsvekt i 2020 var 4,8 kg (Animalia, 2021c). Utvikling over tid kan eventuelt undersøkes ved å bruke data fra Sauekontrollen. Det kommer ikke frem hvor fødselsvekt brukes i formelen oppgitt i Excelarket; $17,3 * (Kroppsvekt-3) / (Slaktealder*30)$. Det følger imidlertid logisk av formelen at fødselsvekten er satt til 3 kg. Dette er lavere enn verdien oppgitt av Volden og Nes (2006) og Haarsaker og Thuen (2019). For lav fødselsvekt vil overdrive energibehovet til tilvekst, fordi differansen mellom kroppsvekt ved slakt og fødselsvekt (tilveksten) blir overdrevet. **Vi anbefaler, som Haarsaker og Thuen (2019), en oppdatering av fødselsvekt til 4,8 kg, med mindre Miljødirektoratet har intern dokumentasjon som tilsier fortsatt bruk av fødselsvekt på 3 kg.**

Nettoenergi ullproduksjon: Haarsaker og Thuen (2019) foreslår oppdatering av ullproduksjon for sau over ett år fra 4,1 til 4,5 kg per år. Den oppdaterte verdien er hentet fra Agri Analyse (2011). Agri Analyse (2011) refererer til totalalkylen for jordbruket for denne verdien (NILF, 2011). Av NILF (2011) er det beskrevet at «Leveransen av ull i budsjettåret er beregnet på grunnlag av et anslag for antall vinterfôrede sauer og en stipulert ullmengde per vinterfôret sau». Dokumentasjon for den stipulert ullmengden per vinterfôret sau er ikke

oppgitt. Det kan virke som dette er beregnet ved $\frac{\text{Leverte ullmengde}}{\text{antall vinterføra sau}}$. Det vil med en slik

beregningsmåte ikke tas hensyn til at noe av den leverte ulla kommer fra lam, men vi kan altså ikke finne beskrivelse av vurderinger bak dette anslaget. Datagrunnlag for det opprinnelige anslaget på ullmengde brukt av Volden og Nes (2006) er heller ikke dokumentert.

Norilia anslår følgende ullproduksjon per lam/søye (Tviland og Bakken, pers. komm.)

- Lam: 1,1 kg ved slakting på høsten
- Søye: 2,8 kg i årsproduksjon

Tviland og Bakken oppgir at total ullmengde for ullåret 2019/20 klassifisert på Norilia/Nortura og Fatland sine ullstasjoner var 3 551 387 kg. Denne totalen er noe lavere enn deres anslag på ullproduksjon per sau/lam ganget med hhv. antall slaktete lam i 2020 og antall søyer ved telling i mars (Tviland og Bakken, pers. komm.):

1 041 000 lam x 1,1kg = 1 145 100 kg

903 000 søyer x 2,8 kg = 2 528 400 kg

SUM 3 673 500 kg

Tviland og Bakken påpeker at dette er som forventet, siden noe ull går til skinn, og noe ull ikke blir levert inn. Deres maksimale anslag er 1,2 kg i snitt på lam og 3 kg på søyer.

Ekspertvurderingen fra Tviland og Bakken skiller seg fra nåværende verdi for ullproduksjon. **Vurderinger bak nåværende verdi bør dokumenteres bedre. Hvis ikke dokumentasjon kan framskaffes kan det være aktuelt å benytte til Tviland og Bakkens anslag på 1,1 kg ull i snitt for lam og 2,8 kg for søyer.**

Nettoenergi drektighet: Carbon Limits påpeker at det for koeffisienten $C_{\text{pregnancy}}$ brukes en annen verdi i NIR-modellen (0,1015) enn det som er oppgitt i NIR 2019 (0,1177) for sau over ett år. IPPC (2006; 2019) oppgir egne verdier for $C_{\text{pregnancy}}$ tilpasset lammetall på hhv. 1, 2 og >2. I NIR 2019 er det beskrevet at det brukes et snitt for $C_{\text{pregnancy}}$ tilpasset hhv. enklinger og tvillinger for påsettlam, og at et gjennomsnitt for alle tre verdier brukes for søyer (0,1177). I siste årsmelding fra Sauekontrollen (Animalia, 2021c) er det oppgitt et lammetall på 2,22/1,51 for voksne søyer/gimrer. Ut ifra dette virker det logisk at det for påsett beregnes et snitt av verdier for $C_{\text{pregnancy}}$ tilpasset enklinger og tvillinger. Snittet for alle tre kategorier er derimot

mindre logisk å bruke for søyer, da dette gir en verdi som er mindre enn koeffisienten som oppgis av IPCC (2006;2019) for tvillinger ($0,1177 < 0,126$). **Det kan være aktuelt å ta i bruk $C_{\text{pregnancy}}$ for tvillinger (0.126) for søyer over ett år, eventuelt undersøke fordelingen av søyer etter lammetall for mer presis vektning av koeffisienten.**

Del 2 Vurdering av tiltaksanalyser

Flere aktuelle tiltak for klimagassreduksjoner i jordbruket fanges ikke opp i det nasjonale utslippsregnskapet. Dette slås fast i en rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klimagassutslipp fra jordbruket (2019). Forbedring av jordbrukets utslippsregnskap er viktig for næringas innsats for reduserte utslipp og vil få økt fokus (Meld. St. 13, 2020–2021).

Ved oppdatering av modellen ble det drøftet å inkludere effekt av grovfôr kvalitet, tid på beite, tilsetningsstoffer, avl, dyrehelse og fruktbarhet. Det ble ikke gått videre med tiltakene avl, dyrehelse og fruktbarhet fordi det er en større oppgave å modellere disse tiltakene slik at effekten ikke overdrives, da disse tiltakene allerede vil ha en indirekte effekt på utslipp gjennom å påvirke produktivitet og antall dyr. Det ble lagt inn en teknisk tilrettelegging for å (på sikt) hensynta effekten av grovfôr kvalitet, tid på beite og tilsetningsstoffer. Dette i påvente av forbedret kunnskapsgrunnlag og datagrunnlag.

Vår vurdering er at den tekniske oppdateringen gir et godt utgangspunkt for videre modellutvikling. Det kreves imidlertid forskning, modellutvikling og forbedring av datagrunnlag før det blir aktuelt å inkludere effekt av tiltakene på utslippsnivåer rapportert til FNs Klimakonvensjon/Parisavtalen. Denne vurderingen samsvarer med tidligere konklusjoner av Aass og Åby (2021), rapporten fra teknisk beregningsutvalg for klimagassutslipp fra jordbruket (2019) og Schwarm *et al.* (2019). Tiltaksanalysene må gjøres med omhu, og da særlig med tanke på interaksjon mellom tiltak og biologiske sammenhenger i produksjonssystemet (eks. effekt av tiltaket på antall dyr, fôropptak, kraftfôrandel, ytelse mm.), samt effekt av tiltaket på andre utslippskilder, inkl. utslipp i andre land.

IPCC (2019) omtaler tiltaksanalyser og påpeker at disse bør kvalitetssikres godt gjennom vitenskapelige publikasjoner, at effekten må være påvist under faktiske produksjonsforhold og at tiltaket kun inkluderes for dyr som med sikkerhet berøres av tiltaket.

Det er stort fokus på jordbrukets utslippsregnskap, og pågående prosjekter vil kunne forbedre forutsetningene for vellykkete tiltaksanalyser.

2.1 Tiltaksanalysenes struktur

I modellen er utbredelse av tiltaket i stor grad basert på bruk av innsatsfaktorer (med unntak av beitetid, som er basert på andel av tid/dyr på beite). Forekomst av tilsetningsstoffer beregnes som en andel av kraftfôr som brukes i populasjonen, og grovfôrkvalitet tar utgangspunkt i andel av høstet fôr.

En alternativ struktur kunne være å differensiere populasjonen i større grad, og operere med egne ligninger eller utslippsfaktorer for ulike grupper dyr. Dette er i tråd med IPCC, 2019:

«Cattle and buffalo populations should be classified into at least three main subcategories: mature dairy, other mature, and growing cattle. Depending on the level of detail in the emissions estimation method, subcategories can be further classified based on animal or feed characteristics. For example, growing / fattening cattle could be further subdivided into those cattle that are fed with a high-grain diet and housed in dry lot vs. those cattle that are grown and finished solely on pasture».

Vi har ikke datagrunnlag og modeller til dette enda, men det kunne vært en ryddig med en slik inndeling av populasjonen i undergrupper som differensieres etter fôring og produksjon i ulike stadier av dyras liv. Inspirasjon kan hentes fra Danmark, som for melkeku skiller mellom dager på beite, dager på innefôring og dager med fôrbete i rasjonen.

Da kunne det f.eks. blitt utviklet egne ligninger eller faktorer under bestemte forutsetninger i de ulike dyregruppene. Man kunne da på sikt sett for seg en inndeling i kategoriene, 'dyr som får godt grovfôr', 'dyr med tilsetningsstoffer i rasjonen', 'dyr som har både godt grovfôr og tilsetningsstoffer i rasjonen' osv. For eksempel vil effekten av økt grovfôrkvalitet på ytelse og metanutslipp være større i en grovfôrbasert rasjon, enn i en rasjon som hovedsakelig består av kraftfôr (Randby *et al.*, 2012; Åby *et al.*, 2019). En slik inndeling kunne altså gjøre det mulig å ta bedre hensyn til interaksjon mellom tiltak. Tilgang på aktivitetsdata vil imidlertid på nåværende tidspunkt være til hinder for en slik inndeling.

2.1.1 Bedre grovfôrkvalitet

Sammensetning av fôrrasjonen påvirker både hvor mye en drøvtygger eter, men også hvor mye av energien i fôret som blir omdannet til enterisk CH₄ (Y_m; IPCC, 2019). Ulike fôringssituasjoner påvirker den mikrobielle fordøyelsen i vomma. Med bedre grovfôr vil reaksjonsveier som i mindre grad bidrar til hydrogenoverskudd og metandannelse dominere. Dette gir mindre CH₄ per kg tørrstoff i rasjonen (redusert Y_m). Samtidig vil økt grovfôrkvalitet

kunne gi grunnlag for økt produktivitet og produksjonseffektivitet. Dette gir en ytterligere effekt på utslipp per kg melk/kjøtt ved å fordele utslipp på et større produksjonsvolum.

I den oppdaterte modellen for beregning av nasjonale utslipp av enterisk CH₄ er prediksjonsligningen utviklet av Schwarm *et al.* (2019) inkludert. Denne predikerer daglig metanutslipp på bakgrunn av fôropptak (kg TS/dag) og innhold av fett (FA, g/kg TS) og fiber (NDF¹, g/kg TS) i rasjonen. Med denne ligningen kan en effekt av økt grovfôr kvalitet fanges opp, gjennom påvirkning av disse parameterne. Høsting av planten på et tidligere morfologisk utviklingsstrinn er et aktuelt tiltak for å bedre grovfôr kvaliteten. Tidlig høsting gir redusert fiberinnhold i fôret og økt fettinnhold, og dette reduserer metanutslippene med ligningen av Schwarm *et al.* (2019). Utfordringa knyttet til å ta i bruk denne ligninga er ikke metode, men tilgang på pålitelige data. Dette er konklusjonen til Schwarm *et al.* (2019), og situasjonen er den samme i dag (Prestløkken, pers.komm.). Det er gitt noen innspill til utregningen i kap. 2.2, men forbedring av tiltaksanalysen vil i hovedsak dreie seg om forbedring av datagrunnlaget og er ikke relatert til den tekniske modellen.

For å teste denne oppdateringen ble det lagt inn et fiktivt scenario, hvor kraftfôrnivå holdes konstant fra 2019, og grovfôr kvaliteten økes. Effekt på produksjonen baseres på Randby *et al.* (2012). Randby *et al.* (2012) undersøkte effekten av surfôr høstet på tidlige utviklingsstrinn i kombinasjon med ulike kraftfôrnivåer på fôropptak og ytelse i første del av laktasjon. I testing av modellen ble det tatt utgangspunkt i at 31 prosent av årskyr er i tidlig laktasjon og fikk svært godt grovfôr. Følgende endring ble lagt inn i modellen for 2019–202x, tilsvarende differanse mellom gjennomsnitt i forsøksledd med svært tidlig og tidlig høstet surfôr.

- Økning i grovfôrets energiinnhold på 0.49 MJ NEL per kg TS
- Reduksjon i NDF-innhold i rasjonen fra 425 til 394 gram per kg TS
- Økning i fettinnhold i rasjonen fra 40 til 45 g per kg TS
- Økning i daglig surfôropptak på 2,3 kg TS
- Økning i daglig ytelse på 3,5 kg EKM per dag (tilsvarer 3,5 kg EKM per dag*112 dager= 392 kg EKM økt ytelse per laktasjon).

Økningen i melkeytelse tilsvarende en økning på 4,67%, og gjør at antall kyr kan reduseres til 95,54% av populasjonen i 2019 for å opprettholde en stabil nasjonal melkeproduksjon (1/ 1,047

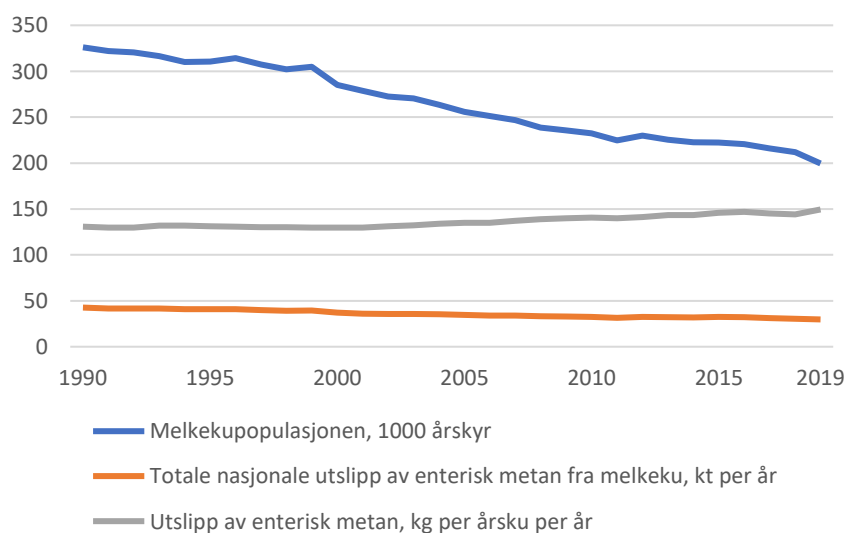
¹ NDF=Neutral detergent fiber. Fiber funnet ved oppløsning av fôrprøve i nøytral såpeløsning.
<https://www.nmbu.no/tjenester/laboratorietjenester/labtek/booking>

= 0,9554). Resultater av testen er framstilt i Tabell 14. Det understrekes at dette er fiktive verdier for å teste modellens funksjonalitet, og ikke en reell framskrivning. Til tross for økte utslipp per ku, reduseres antall kyr nødvendig for å opprettholde nasjonal melkeproduksjon, og totale utslipp reduseres.

Tabell 14 Hypotetisk situasjon hvor grovfôrkvaliteten økes med 0.49 MJ NEL per kg TS for 31% av årskyr i 202x sammenligna med 2019.

	2019	202x	% endring 2019–202x
Antall årskyr, 1000	199,4	190,5	-4.46
Avdrått per årsku, kg EKM	8395	8787	3.80
Enterisk CH ₄ per årsku, kg	145,2	148,8	2.48
Totale utslipp av enterisk CH ₄ , tonn	28964	28358	-2.09

Utviklinga samsvarer med utviklinga dokumentert gjennom nasjonale utslippstall (Figur 6). Den viktigste årsaken til endringer i utslipp er endring i antall dyr (NIR 2021). Antall dyr kan reduseres pga. økning i ytelse. Økningen i ytelse skyldes i hovedsak økt kraftfôropptak (Volden, 2020), men økt grovfôr kvalitet og -opptak vil kunne ha en tilsvarende effekt på metanutslipp og ytelse.



Figur 6 Den norske melkekupopulasjonen og dens utslipp av enterisk metan fra 1990 (NIR 2021, CRF-tabeller).

Det er komplekse sammenhenger som styrer effekten av grovfôr kvalitet til melkekua på nasjonale utslipp. Med økt ytelse og påfølgende reduksjon i antall melkekyr vil behovet for spesialisert storfekjøttproduksjon med ammeku øke, og dette vil kunne utligne reduksjonen

som følger av redusert melkekupopulasjon (Aass og Åby, 2016). Dersom økt grovfôrkvalitet brukes til å erstatte kraftfôr i rasjonen mens ytelsen opprettholdes er effekt på nasjonal ressursutnytting vesentlig, men effekt på klimagassutslippene ikke like tydelige. Slike betraktninger burde inkluderes når tiltaksanalysene skal tas i bruk.

2.1.2 Beiting

Det er behov for økt kunnskap om utslipp fra drøvtyggere på beite (Aass og Åby, 2018). Schwarm *et al.* (2019) gjengir gjennomsnittlige utslipp per ku per dag i europeiske studier med melkekyr på beite vs. oppstalling innendørs, og finner da at utslippene på beite er 84 prosent av utslippene innendørs. Samtidig påpekes forskningsbehov.

I den oppdaterte modellen er det mulig å legge inn en fast prosentvis reduksjon i enterisk CH₄ for storfe og sau som oppholder seg utendørs på beite. Med en slik tilnærming tas det ikke hensyn til at metanutslipp per dyr per beitedag påvirkes av en rekke faktorer.

På verdensbasis er utslipp per kg melk/kjøtt høyere i beitebaserte produksjonssystemer, sammenligna med andre produksjonssystemer (Gerber *et al.*, 2013). Dette gjelder både for storfe, geit og sau. Undersøkelsen til Gerber *et al.* (2013) inkluderte alle vesentlige utslippskilder i landbruket (ikke kun enterisk CH₄), men gir likevel en påminnelse om at sammenhengen med produktivitet per dyr og kvalitet på fôret ikke kan ignoreres i vurdering av klimatiltak i husdyrproduksjon. Som påpekt av IPCC (2006):

“It is also important to note that digestibility, intake, and growth are co-dependent phenomena. For example, a low digestibility will lead to lower feed intake and consequently reduced growth. Conversely, feeds with high digestibility will often result in a higher feed intake and increased growth”

IPCC (2006) oppgir stor variasjon i fordøyelighet av beite (55-75% DE av GE). Tiltak for bedret grovfôrkvalitet, som beiting ved et tidlig morfologisk utviklingstrinn av grasen, gjelder for beite så vel som høstet fôr (Knapp *et al.*, 2014). Når kunnskaps- og datagrunnlag er på plass kan det være mulig å inkludere en egen ligning for beiteperioden i klimaregnskapet.

2.1.3 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer i fôret for redusert enterisk CH₄ fra drøvtyggere skal påvirke produksjonssystemet på en slik måte at mengden CH₄ per dyr, per kg fôr eller per kg melk/kjøtt reduseres. Noen tilsetningsstoffer er utviklet spesielt for å hemme metanproduksjonen (eks. 3-

nitrooxypropanol; 3-NOP). Andre tilsetningsstoffer har flere formål, som økt fôrutnyttelse og produktivitet. Eksempler på aktuelle tilsetningsstoffer er 3-NOP, tanniner og fett (Schwarm *et al.*, 2020).

Noen av tilsetningsstoffene er allerede naturlig forekommende i fôr i tillegg til å være tilsetninger, som tanniner med høy forekomst i beitevekster (eks. løv) og tidlig slått eller beitet gras med høyere fettinnhold. Vi kan derfor ikke ta utgangspunkt i at effekten av et tilsetningsstoff er uavhengig av tiltakene grovfôrkvalitet og tid på beite.

I modellen kan man velge å la enterisk CH₄ fra storfe (kg/dyr/år) påvirkes av andel kraftfôr med tilsetningsstoff A, B, C eller D, hvor hvert av disse tilsetningsstoffene har et fast prosentvis reduksjonspotensial. Det tas med dette ikke hensyn til at effekten av tilsetningsstoffet kan variere med variabler som endres fra år til år. Studier har vist at effekten av 3-NOP blant annet avhenger av mengde fiber i rasjonen (Dijkstra *et al.*, 2018).

En mulig forbedring av modellen vil være å åpne for varierende reduksjonspotensial fra år til år, som følge av eks. varierende kraftfôrandel i rasjonen og endringer i mengde tilsetningsstoff som tilsettes hvert kg kraftfôr. Ulikt reduksjonspotensiale for ulike år vil også gjøre det mulig å ta høyde for endringer i praksis etter hvert som det gjøres teknologiske fremskritt.

Tilsetningsstoffer i fôret kan redusere utslipp av enterisk metan også fra sau, men reduksjonspotensialet kan være annerledes enn for storfe (van Gastelen, *et al.*, 2019). En mulig oppdatering av modellen er inklusjon av dette tiltaket også for sau (ikke bare for storfe).

I beregningen er det lagt opp til at tilsetningsstoff vil tilsettes kraftfôret. Det har ikke vært suksess med tilsetning av 3-NOP i kraftfôr til nå, da virkningen av dette tilsetningsstoffet reduseres ved varmebehandling av kraftfôret. Kanskje blir det aktuelt å tildele tilsetningsstoffet på andre måter, som da ikke vil fanges opp av modellen. Det kan være tidlig å legge mye ressurser i modellering av tilsetningsstoffer, siden det er vanskelig å forutsi hvilke tilsetningsstoffer som vil få fotfeste, hvordan tildelingen av stoffet vil foregå i praksis, og hvilke aktivitetsdata som da vil foreligge. Det er stor forskningsaktivitet på ulike type tilsetningsstoffer internasjonalt og mye ny kunnskap vil komme i årene som kommer.

3 Referanser

- Aass, L. & Åby, B. A., 2021.** Oppdrag til januarmøtet i Regnskapsgruppa: Bruk av indikatorer for Anneks 2. Notat til Sekretariatet Regnskapsgruppa for klimagassutslipp i jordbruket. NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES.
- Aass, L. & Åby, B. A., 2018.** Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Aass, L. & Åby, B. A., 2016.** Melkeytelse, storfekjøtt og klimaavtrykk. Buskap utgave 8 – 2016.
- AgriAnalyse, 2011.** God drift viktigere enn størrelse? Økonomien i saueholdet. Rapport 4-2011. Oslo: AgriAnalyse
- Anderssen, Å. M. F., 2016.** [Fôrplanlegging til oksar. Buskap Utgave 6 – 2016.](#)
- Animalia, 2021a.** [Kjøttets tilstand 2020. Status i norsk kjøtt- og eggproduksjon.](#)
- Animalia, 2021b.** [Slaktestatistikk - sau og lam \(animalia.no\)](#)
- Animalia, 2021c.** Årsmelding Sauekontrollen 2020.
- Animalia, 2021d** [Slaktestatistikk - storfe](#)
- Boman og Eikje, 2011.** Voksenvekt hos sau. Husdyrforsøksmøtet 2011.
- Dijkstra et al., 2018.** Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. Journal of Dairy Science (2018) 101(10) 9041-9047. DOI: 10.3168/jds.2018-14456.
- Eurofins, 2020.** [Næringsinnhold i grovfôr til drøvtyggere](#)
- Gerber, P. J. et al., 2013.** Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO
- Haarsaker, V. & Thuen, A. E., 2019.** Metodikk for beregning av utslipp av enterisk metan fra sau. AgriAnalyse. Notat 1– 2019.
- Hristov, A. N. et al., 2013.** Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production - A review of technical options for non-CO₂ emissions. J. G. Pierre, B. Henderson and P. S. H. Makkar, ed. FAO, Rome, Italy, FAO Animal Production and Health Paper No. 177
- IPCC, 2000.** Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2006.** IPCC guidelines. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management.

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Karlengen *et al.*, 2012. Husdyrgjødsel; oppdatering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium. Sluttrapport.

Knapp, J. R. *et al.*, 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97 (6): 3231-3261. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>.

Landbruksdirektoratet, 2021. [PT-900 Antallstatistikk](#).

Lassey, K. R., 2012. Methane emissions and nitrogen excretion rates for New Zealand goats. MAF Technical Paper No: 2012/13

Meld. St. 13, 2020–2021. Klimaplan for 2021–2030.

NILF. 2011. Totalkalkylen for jordbruket. Jordbrukets totalregnskap 2009 og 2010. Budsjett 201, Budsjettnemnda for jordbruket, 2011. Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning, Oslo.

Niu, P. *et al*, 2021. A basic model to predict enteric methane emission from dairy cows and its application to update operational models for the national inventory in Norway. *Animals* 2021

Norges Bondelag, 2020. Landbrukets klimaplan 2021–2030. <https://www.bondelaget.no/klima/landbrukets-klimaplan>

Norsk kamelidforening, 2021. <http://www.kamelidforeningen.no/index.php/artikler-om-kamelider/12-offentlige-anliggender/52-antall-kamelider-i-norge>

Nortura, 2016. [Temahefte - Fôring av okser til slakt](#).

Nortura, 2018. [Temahefte - Fôring av sau og lam](#)

NSG, 2021. [Geiteraser i Norge - Norsk Sau og Geit \(nsg.no\)](#)

Randby, Å. T. *et al.*, 2012. Early lactation feed intake and milk yield responses of dairy cows offered grass silages harvested at early maturity stages. *Journal of Dairy Science* Volume 95, Issue 1, Pages 304-317. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4454>

Schwarm *et al.*, 2019. Update of methodology for calculation of enteric methane from dairy cows in Norway. Notat NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES.

Storlien, T. M. og Harstad, O. M., 2015. Enteric methane emissions from the cattle population in Norway. Method description. Notat NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES.

Svihus, B., 2015. Production of methane from enteric fermentation in layers and turkeys. Notat NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES. 2 sider.

Teknisk beregningsutvalg for klimagassutslipp fra jordbruket, 2019. Jordbruksrelaterte klimagassutslipp. Gjennomgang av klimagassregnskapet og vurderinger av forbedringer. Rapport fra partssammensatt arbeidsgruppe.

Tine, 2020. Statistikkssamling fra Ku- og Geitekontrollen 2020 Årsrapport fra Helsekortordningen 2020

van Gastelen, S. *et al.*, 2019. Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? J. Dairy Sci. 102:6109–6130 DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15785>

Volden, H., 2020. [Kraftfôrdrevet vekst. Nationen.](#)

Volden, H. og Nes, S. K., 2006. Methane emissions from enteric fermentation in Norway's cattle and sheep population. Method description. Norway NIR 2014, Annex X

Wang S. Y., Huang D. J., 2005. Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 18, 873-878.

Wetlesen, M. S. *et al.*, 2020. Suckler cow efficiency – breed by environment interactions in commercial herds under various natural production conditions. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science, 68 (4): 161-173. doi: <https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1717592>.

Øygarden, I. K., 2019. Genetisk analyse av utvikling i kroppsvekt frå lam til vaksen søye hjå norsk kvit sau - utnytting av eksisterande informasjon om slaktevekte. Masteroppgave NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES. <http://hdl.handle.net/11250/2609938>

Øyhus, 2017. Voksenvekt på søyer av rasen Norsk Kvit Sau. Masteroppgave NORWEGIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES.

Åby, B. A. *et al.*, 2019. Impact of grass silage quality on greenhouse gas emissions from dairy and beef production. Grass and Forage Science, 74 (3): 525–534. doi: DOI: 10.1111/gfs.12433.