

.
.
.
.

Dokumentationsnotat

Klimarådets værktøj til beregning af drivhusgasudledningen fra
landbrugsbedrifter

Indhold

1.	Indledning.....	3
1.1	Opbygning af modellen	3
1.2	Metoden	3
2.	Indtastningsark	4
3.	Resultatark.....	8
4.	Præcision i værktøjet.....	9
5.	Beregningsarkene	10
5.1	Metan fra fordøjelsen.....	10
5.2	Metan fra gødningshåndtering.....	12
5.3	Direkte udledning af lattergas fra gødningshåndteringen	14
5.4	Indirekte udledning af lattergas fra gødningshåndteringen	15
5.5	Lattergasudledningen fra landbrugsjorde – direkte udledninger	16
5.6	Lattergasudledningen fra landbrugsjorde – indirekte udledninger	20
5.7	CO ₂ og andre drivhusgasser fra forbrænding af fossile brændsler	21
5.8	Reduktionsmuligheder	22
6.	Frivillige moduler	25

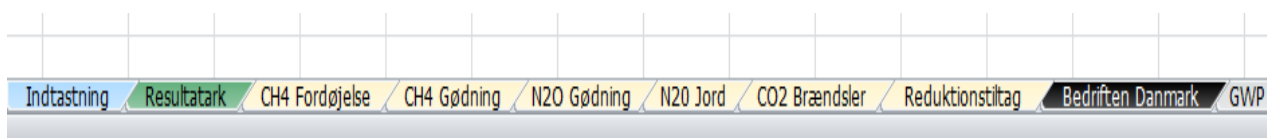
1. Indledning

I Klimarådets analyse "Effektive veje til drivhusgasreduktion i landbruget- Forslag til klimaregnskab for den enkelte landbrugsbedrift" fremsættes der en prototype til et værktøj, der kan udregne den enkelte bedrifts drivhusgasudledning. Afsnit 6 i analysen beskriver værktøjets design, muligheder og begrænsninger. Dette dokumentationsnotat går i dybden med designet, samt beskrive hvordan beregningerne laves.

1.1 Opbygning af modellen

Klimarådets værktøj er inddelt i et indtastningsark, et resultatark og en række beregningsark.

- Indtastningsarket (blå): I indtastningsarket skal landmanden eller landbrugskonsulenten udfylde en række data, der beskriver bedriften. Det kan være antal dyr, brændstofforbrug, staldtype, afgrødetype o.l. Derudover kan landmanden indtaste nogle reduktionstiltag. Alle disse kaldes aktivitetsdata, da disse data beskriver, hvad landmanden aktivt kan gøre.
- Beregningsarkene (gule): Aktivitetsdata indgår i beregningerne af bedriftens drivhusgasudledning i beregningsarkene. Værktøjet omfatter i den nuværende form metan fra fordøjelse, metan og lattergas fra gødningshåndtering, lattergas fra jorden og CO₂ fra fossile brændsler. Der er et beregningsark for hver udledningskilde, samt et ark for udregning af reduktionstiltagenes effekt på bedriftens drivhusgasudledning. Brugeren behøver ikke forholde sig til beregningsarkene.
- Resultatarket (grøn): Resultaterne af beregningerne fremgår af resultatarket. Her er udledningerne også fordelt på de forskellige kilder for at synliggøre, hvor det er landmanden kan sætte ind for at reducere drivhusgasudledningerne.
- Supplerende ark (sorte og grå): I disse ark er der supplerende oplysninger. I arket GWP (Global Warming Potential) ligger data for, hvilke omregningsfaktorer fra metan til CO₂ og fra lattergas til CO₂, der benyttes i udregningerne. I arket Bedriften Danmark ligger aktivitetsdata for det samlede landbrug. Disse kan indsættes i indtastningsarket via knappen "Indsæt data for det samlede landbrug". Formålet med dette har været at kontrollere, hvorvidt modellen regner rigtig. Derudover kan det indsættes for at lave nogle simuleringer af, hvilken effekt tiltag kan have på landsplan.



I senere afsnit beskrives de forskellige ark og beregningerne deri i detaljer. Det næste afsnit beskriver den generelle metode.

1.2 Metoden

Klimarådets værktøj bygger på Århus Universitets Nationalt Center for Miljø og Energis (DCE) årlige opgørelse af Danmarks drivhusgasudledninger, der beskrives i Danmarks National Inventory Report (NIR).¹ Data præsenteres i Common Reporting Format (CRF). NIR og CRF er Danmarks indrapportering af

¹ Seneste rapport fra DCE er Danmarks National Inventory Report 2015 and 2016 - Emission Inventories 1990-2014 (NIR). Både NIR og CFR findes på UNFCCs hjemmeside http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php

drivhusgasudledningen til FNs Konvention om Klimaforandringer. Rapporten skal laves i overensstemmelse med IPCCs² retningslinjer.³ Klimarådets værktøj bygger i store træk på IPCCs retningslinjer.

IPCCs opgørelsesmetoder er inddelt i forskellige detaljeniveauer. Tier 1 er den nemmeste metode, som kræver den mindste mængde information og analyse. Tier 2 kræver ofte, at man analyserer bestemte koefficienter eller finmasker opgørelsen. Tier 3 er den mest krævende metode og involverer ofte, at man selv udvikler en metode til at opgøre udledningerne. NIR bygger hovedsageligt på Tier 2 og lidt Tier 1 metoder, og det samme gør Klimarådets værktøj.

Opgørelsesmetoden bygger på en række normtal. Det betyder, at der er en del af præcisionen, der forsvinder. I Klimarådets analyse "Effektive veje til drivhusgasreduktion i landbruget- Forslag til klimaregnskab for den enkelte landbrugsbedrift" diskuteres fordele og ulemper ved denne tilgang. Konklusionen var, at Klimarådet ser en afvejning mellem på den ene side den administrative byrde, der pålægges landmanden i form af indrapporteringskrav, kontrolbesøg og lignende, og på den anden side, hvor præcis opgørelsen af bedriftens drivhusgasudledning er. Jo mere præcis en opgørelse, des større mængde information er det nødvendigt, at landmanden oplyser. Klimarådets værktøj holder de administrative byrder på et minimum. Det skyldes blandt andet, at der ikke har været tilgængeligt data til at lave en mere præcis opgørelse. I værktøjets nuværende form vil det være muligt at indhente det meste data fra allerede indrapporterede data. Klimarådet har ikke analyseret, hvorvidt den nuværende indrapporterings byrde er optimal i forhold til præcisionen. Det er i sidste ende en politisk afvejning, og så længe den model, man vælger, opfanger nogle af de væsentlige forskelligheder, der er mellem bedrifterne, vil værktøjet kunne bruges til at lave en effektiv regulering.

Klimarådet foreslår at lave nogle moduler til værktøjet, som er frivillige at udfylde. Disse moduler vil give en mere præcis opgørelse af udledningen fra bedriften. Denne frivillige tilgang til ekstra administrative byrder vil give landmanden mulighed for selv at vælge, om det kan betale sig at indrapportere lidt ekstra for derimod at få en mere præcis opgørelse. Et eksempel på et frivilligt modul for udregningen af dyrenes bruttoenergiindtag er beskrevet i afsnit 4 i dette notat.

2. Indtastningsark

Indtastningsarket er bygget op i tabeller, hvor hver tabel angiver en bestemt aktivitetsdatakategori:

- Antal dyr og staldinformation: I denne tabel skal der både indtastes antal af dyr og staldtype. Det gøres ved, at landmanden finder den relevante dyretype. Dernæst kigges der på rækken med staldtyper, hvor landmanden finder den beskrivelse, der passer bedst på staldtyperne på bedriften. Under disse opgøres, hvor mange dyr der er i en given staldtype. De grå felter er en dyr-staldkombination, som ikke findes i dag. Der er derfor ikke normtal for disse dyr-staldkombination. I figuren herunder er vist en hypotetisk landmand, der har 100 jerseykøer og 50 kvier og stude, jersey i en sengestald med fast gulv. Derudover har bedriften 15 småkalve, jersey i en

² IPCC står for Intergovernmental Panel on Climate Change og er en organisation, der vurderer videnskaben om klimaforandringer. IPCC er etableret af FN's Miljøprogram og World Meteorological Organization.

³ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: chapter 10 og 11.

dybstrøelsesstald med kort ædeplads og fast gulv. Det samme indtastningsprincip gør sig gældende for Svin, Fjerkræ, Får og geder, og andre dyr. Disse data kan hentes fra husdyrregistret.

Der er valgt et bredt udsnit af dyretyper for at kunne inkludere så mange forskellige bedrifter som muligt, men det er muligt at inkludere endnu flere dyr såvel som en finere inddeling af de allerede inkluderede dyr i en implementerbar model.

Kvæg	Staldtype										
	Bindestald med grebning	Bindestald med riste	Sengestald med fast gulv	Sengestald, fast drænet gulv med skraber og øjlefløb	Sengestald med spalter (kanal, linespil)	Sengestald med spalter (kanal, bagskyl eller	Dybstrøelse (hele arealet)	Dybstrøelse, lang ædeplads med fast	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, bagskyl eller	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, bagskyl eller	Dybstrøelse + Spaltguldvokse
Antal producerede dyr i året											
Malkkvæg, tung race											
Malkkvæg, jersey			100								
Småkalv, 0-6 mdr., tung race											
Småkalv, 0-6 mdr., jersey										15	
Kvier og stude, 6-27 mdr., tung race											
Kvier og stude, 6-27 mdr., jersey			50								
Tyrekalv, 0-6 mdr., tung race											
Tyrekalv, 0-6 mdr., jersey											
Ungtyre, 6 mdr. til slagtning (440 kg), tung race											
Ungtyre, 6 mdr. til slagtning (440 kg), jersey											
Ammekvæg (<400 kg)											
Ammekvæg (400-600 kg)											
Ammekvæg (>600 kg)											

- Brændstofforbrug: Brændstof til stationære anlæg og til mobile anlæg indtastes for at kunne beregne den CO₂, der kommer fra fossile brændsler. Kategorierne er brede og kunne udspecificeres, hvis det ønskes. Det er vigtigt, at man kun indtaster fossilt brændstofforbrug og ikke tager biomasse eller lignende med, da det er besluttet at udledningen fra afbrænding af biomasse er nul i de internationale opgørelser. Disse data skal indtastes af landmanden manuelt.

Fossilt brændstofforbrug	
Fossilt brændstofforbrug i stationære anlæg	
Brændselstype	Brændstofforbrug
Flydende brændsler (l)	
Faste brændsler (ton)	
Naturgas (m3)	
Fossilt brændstofforbrug i mobile anlæg	
Brændselstype	Brændstofforbrug
Benzin (l)	
Diesel (l)	

- Gødningsforbrug: Her indtastes mængden af gødning, som er udbragt på marken. Gødning er fordelt på handelsgødning, husdyrgødning, slam og anden organisk gødning. Den mængde gødning bedriften producerer, behøver ikke at være den samme som den mængde, der bruges på marken, fordi gødning kan handles mellem bedrifter. Disse data kan hentes fra gødningsregnskabet.

Gødningsforbrug	
Gødningsstype	Gødningsforbrug Kg N
Handelsgødning	
Husdyrgødning udlagt på marken	
Slam	
Andet organisk gødning	

- Afgrøder: Her indtastes, hvor mange hektar bedriften har dyrket en given afgrøde. Her er medtaget de afgrødekategorier, som DCE bruger i deres indrapportering. Disse data kan hentes fra gødningsregnskabet.

Afgrøder	
Type afgrøde	Areal i ha
Vinterhvede	
Vårhvede	
Rug	
Vinterbyg	
Vårbyg	
Havre	
Triticale og andet korn til modenhed	
Majs til opfodring	
Kartofler	
Lucerne	
Bælgsæd til modenhed	
Sukkerroer til fabrik + Foderroer	
Korn og bælgsæd til ensilering (helsæd)	
Græs- og kløvermark i omdriften + Frø til udsæd	
Græsarealer uden for omdriften	
Raps i alt + Hør + Anden industrifrø	
Samlet areal	-

- Halm: Her indtastes, hvor mange ton halm bedriften, der er fra marken. Data skal indtastes manuelt af brugeren.

Halm	
Halm bjærget (ton)	

- Jordbundstype: Her indtastes hvor mange hektar af en given jordbundstype bedriften dyrker. I modellen bruges kun JB-nr. 11 og tørvejord til beregninger. De andre jordtyper er med af pædagogiske årsager. Et endeligt værktøj vil kunne inkorporere flere jordbundstyper i udregningerne af blandt andet kvælstofudvaskningen. Information om JB typer fremgår af gødningsregnskabet.

Jordbundstype	
Jordtype	Areal dyrket i ha
JB-nr. 1	
JB-nr. 2	
JB-nr. 3	
JB-nr. 4	
JB-nr. 5	
JB-nr. 6	
JB-nr. 7	
JB-nr. 8	
JB-nr. 9	
JB-nr. 10	
JB-nr. 11	
JB-nr. 12	
Tørvejord dyrket med afgrøde	
Tørvejord dyrket med græs	

- Reduktionstiltag: Her indtastes de reduktionstiltag, bedriften har foretaget. I denne version af værktøjet er der kun medtaget et udvalg af reduktionstiltag. De indtastes på to forskellige måder. I felter under "Ja/nej" skal landmanden skrive "Ja", hvis han benytter det givne tiltag. Man behøver ikke skrive nej, hvis tiltaget ikke benyttes. Det er ikke muligt både at forsure og biogasse gylle. I felter under "areal i ha." skal der indtastes, hvor mange hektar bedriften dyrker med det pågældende tiltag.

Reduktionstiltag	
På gården	
Tiltag	Ja/nej
Forsuret, svinegylle	
Forsuret, kvæggylle	
Biogas, svinegylle	
Biogas, kvæggylle	
På marken	
Tiltag	Ja/nej
Nitrifikationshæmmere	
Tiltag	Areal i ha.
Vedvarende græs	
Dyrkning af energipil, sandjord	
Dyrkning af energipil, lerjord	
Dyrkning af energipil, organogenjord	
Efterafgrøder på sandjord	
Efterafgrøder på lerjord	
Mellemafgrøder på sandjord	
Mellemafgrøder på lerjord	

I bunden af indtastningsarket trykker man beregn og bliver derefter sendt videre til resultatarket.

Hvis man gerne vil indsætte data for hele Danmarks landbrug skal man trykke på knappen "Indsæt data for hele Danmarks landbrug" som findes i celle P2 i værktøjets indtastningsark. Det er også muligt at slette alt indtastet data via knappen "Ryd data" i celle B2 i værktøjets indtastningsark.

3. Resultatark

I resultatarket vises øverst den samlede udledning i CO₂e fra den pågældende bedrift. I tabellerne nedenunder angives alle udledninger fordelt på kilder. Metan og lattergas omregnes til CO₂e via deres global warming potential faktor (GWP), som står i GWP-arket. For metan er GWP 25, og for lattergas er GWP 298.⁴ Reduktionstiltagene bliver fratrasket ved de udledningskilder, de hører til.

Nedenfor er vist et udsnit af resultatarket.

Bedriftsregnskab for udledningen af drivhusgasser

Drivhusgasudledning i alt	0	ton CO ₂ e
---------------------------	---	-----------------------

Tabel 1. Udledningen af metan fra fordøjelsen

Dyretype	I alt ton CO ₂ e
Mælkekøer	0
Tyrekalve (0-½ år)	0
Tyre (> ½ år)	0
Kviekalve (0-½ år)	0
Kvier (> ½ år)	0
Ammekvæg	0
Søer	0
Smågrise	0
Slagtesvin	0
Fjerkræ	0
Andre dyr	0
I alt	0

Tabel 2. Udledningen af metan og lattergas fra gødningshåndtering

	Metan fra gødningshånd- tering ton CO ₂ e	Lattergas fra gødningshånd- tering ton CO ₂ e	Reduktion af udledningen fra gødningshåndtering ton CO ₂ e	I alt ton CO ₂ e
Kvæggylle	0	0		0
Svinegylle	0	0		0
Anden gylle	0	0		0
Anden gødning	0	0		0
Reduktionstiltag			0	0
I alt	0	0		0

⁴ IPCCs https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

4. Præcision i værktøjet

Værktøjet er blevet kvalitetssikret ved at sammenligne værktøjets resultater med tallene i CRF.

Resultaterne heraf vises nedenfor. Overordnet set rammer værktøjet data i CRF. Der er tale om meget små afvigelser indenfor de forskellige drivhusgaskilder. Det viser, at metoderne i værktøjet fungerer.

Udledningskilde	Klimarådets værktøjs resultat	CRF resultat	Forskel i kt CO ₂ e	Procentvis afvigelse
Metan fra fordøjelse	145,74 kt metan	145,44 kt metan	7,5	0,2 pct.
Metan fra gødningshåndtering	91,77 kt metan	87,99 kt metan	95	4,3 pct.
Lattergas fra gødningshåndtering	2,60 kt lattergas	2,51 kt lattergas	27	3,6 pct.
Lattergas fra landbrugsjorden	12,55 kt lattergas	12,56 kt lattergas	-3	- 0,1 pct.
CO ₂ e fra fossile brændsler	1.414 kt CO ₂ e	1.438 kt CO ₂ e	-24	- 1,7 pct.

Af tabellen ses, at det især er indenfor gødningshåndtering, at der er nogle mindre afvigelser. Hvis man kigger nærmere på de enkelte dyrekategorier, kan man se, at det er svin, der står for en stor afvigelse for så vidt angår metan fra gødning (3 kt, hvilket er ca. 5 pct. for højt i forhold til CRF). Derudover er der også en større afvigelse for mink (0,8 kt, hvilket er ca. 50 pct. for højt i forhold til CRF), som det ikke har været muligt at finde årsagen til. Dette bør undersøges nærmere og forbedres. Inden for lattergas fra gødningshåndtering er det mere blandet, hvilke dyretyper der giver afvigelsen.

5. Beregningsarkene

Afsnittet opstiller de formler og antagelser, der er gjort til de forskellige kilder til drivhusgasudledning.

De forskellige variabler i formlerne inddeles i forskellige kategorier. Normtal givet af IPCC, DCE eller andre markeres med gul, mellemregninger med rød, det landmanden SKAL indtaste med grøn, og det som findes i standardværdier med turkis, men hvor det kan overvejes at benytte bedriftsspecifik indtastet data. Mange normtal dækker over en stor variation, og det kan derfor være relevant at overveje, om de skal gøres bedriftsspecifikke.

5.1 Metan fra fordøjelsen

Udledningen af metan fra fordøjelse beregnes i arket CH₄ Fordøjelse. Udledningen afhænger af dyreart og foderindtag og beregnes med nedenstående formel⁵.

$$CH_4^{ent} = NH \cdot EF = NH \cdot GE \cdot \frac{365}{55,65} \cdot Y_m$$

NH	= Antal dyr
EF	= Emissionskoefficient (kg pr. dyr. pr. år)
GE	= Bruttonenergiindtag pr. dyr pr. dag (MJ pr. dyr pr. dag) ⁶
Y _m	= Metankonverteringsfaktor, andel af bruttoenergi konverteret til metan
55,65	= Brændværdi af 1 kg CH ₄ omregnet til MJ

Bruttonenergiindtag (GE) stammer fra NIR Annex 3D-11. DCE udregner tallet på baggrund af et udsnit af foderplaner fra SEGES. Derved kommer DCE frem til et gennemsnitstal for alle dyr indenfor en given dyretype. GE kan dog også beregnes bedriftsspecifikt ved hjælp af information om foderplaner. I det frivillige modul beskrevet i afsnit 4 kan man se et eksempel på, hvordan det kan lade sig gøre at opbygge et fodermodul og dermed beregne den bedriftsspecifikke GE.

For smågrise og slagtesvin har Klimarådet justeret bruttoenergiindtaget, da dette er udregnet på baggrund af det antal grise, der er opgivet i NIR Annex 3D-2, og ikke antal producerede grise, som Klimarådets værktøj bruger. Justeringen er gjort ved at gange det bruttoenergiindtag opgivet i Annex 3D-11 med forholdet mellem antal grise i Annex 3D-2 og producerede dyr. som er opgivet af DCE (personlig korrespondance). Se tabel nedenfor:

⁵ IPCCs Retningslinjer side 10.31

⁶ Energiindtag er væsentligt lavere for jerseykøer end for større racer (jf. Annex 3D-11), men der er kun tal for det samlede antal malkekøer (jf. Annex 3D-2). Der er derfor regnet med et gennemsnitligt energiindtag for malkekøer, som også fremgår af tabellen.

Dyr	GE	Antal dyr Annex 3D-2	Producerede dyr pr år	Forhold	Justeret GE
Søer (inkl. grise < 7.4 kg)	72,6	1032	1032	1	72,6
Smågrise (7.4 – 32 kg)	11	5.995	30519	0,196	2,10
Slagtesvin (32 – 107 kg)	40	5.305	22126	0,24	9,60

Metankonverteringsfaktoren, Y_m , betegner den procentvise andel af bruttoenergien i foderet, der omdannes til metan. For hver dyreart gives metankonverteringsfaktoren som et procentvis interval (jf. IPCC's guidelines, tabel 10.12). I beregningen af udledningen anvendes en standardværdi for alle typer dyrehold, med undtagelse af metankonverteringsfaktoren for malkekvæg og kvier, der står for den største andel af udledningen af metan. Metankonverteringsfaktoren for malkekvæg og kvier beregnes nationalt af DCA. I beregningen tages højde for ændringer i foderpraksis, hvilket påvirker udledningen fra fordøjelsen. Normtallet beregnes ud fra data for foderplaner for malkekvæg for sommer og vinterhalvåret. Metankonverteringsfaktoren kan findes i NIR tabel 5.6 og 5.7 samt CRF tabel 3.As1.

Brændværdien 55,65 MJ pr kg metan er givet i IPCCs Retningslinjer side 10.31.

Alle fjerkræ er placeret i samme kategori, selvom der er forskel på udledningen fra en kylling og en struds. Det er valgt da udledningen fra fjerkræes fordøjelse er meget lille (1450 ton CO₂e. i 2014).

Herunder ses et udsnit af beregningsarket.

Karakteristika	Inputs	Normtal			Emissionsfaktor Kg CH ₄ /dyr/år	Total udledning ton CH ₄
		Bruttoenergiindtag	Metankonverteringsrate	Brændværdi af 1 kg CH ₄ omregnet til MJ		
Malkekøer	100	393,1	6,00	55,65	154,697	15
Tyrekalve (0-½ år)	0	61,8	3,00	55,65	12,151	0
Tyre (> ½ år)	0	51,1	6,00	55,65	20,125	0
Kviekalve (0-½ år)	15	115,1	3,00	55,65	22,645	0,34
Kvier (> ½ år)	50	130,2	6,00	55,65	51,253	3
Ammekvæg	0	163,6	6,00	55,65	64,363	0
Søer	0	72,6	0,60	55,65	2,856	0
Smågrise	0	2,1	0,60	55,65	0,082	0
Slagtesvin	0	9,6	0,60	55,65	0,377	0
Får	0	17,4	6,50	55,65	7,435	0
Dådyr	0	34,5	5,00	55,65	11,301	0
Geder	0	39,9	5,00	55,65	13,082	0
Heste	0	133,0	2,50	55,65	21,810	0
Fjerkræ	0				0,003	0

5.2 Metan fra gødningshåndtering

Der udledes metan (CH_4) fra gødningen. Klimarådets værktøj beregner mængden af metan på samme måde som beskrevet i NIR. Mængden udregnes i NIR på følgende måde⁷:

$$CH_4 \text{ Gødning} = (CH_4 \text{ Stald} + CH_4 \text{ Græssende}) * N_{T,S}$$

$$CH_4 \text{ Stald} = VS_{\text{Stald}} * MCF * 0,67 * B_0$$

$$CH_4 \text{ Græssende} = VS_{\text{Græssende}} * MCF * 0,67 * B_0$$

Hvor,

$CH_4 \text{ Gødning}$ er den totale mængde metan produceret fra gødningshåndtering. Denne deles op i $CH_4 \text{ Stald}$, som er metan produceret i stalden, og $CH_4 \text{ Græssende}$, som er metan produceret fra gødningen lagt direkte på græs af græssende dyr.

MCF_S = Metanskonverteringsfaktor for staldsystem S

B₀ = Maksimal metanproduktionskapacitet

VS = Volatile Solids (flygtige forbindelser)

N_{T,S} = Antal dyr af typen T i et givent staldsystem S

Den maksimale metanproduktionskapacitet (B_0) angiver, hvor meget metan der maksimalt produceres fra en given mængde gødning. B_0 varierer efter dyretype. I Klimarådets værktøj ligesom i NIR benyttes normtal fra IPCCs Retningslinjer Tabel 10A-4 til 10A-9.

Metankonverteringsfaktoren MCF angiver, hvor stor en del af den maksimale metanproduktionskapacitet der realiseres i det givne staldsystem. MCF afhænger af staldsystem og gødningstyper. For svin og kvæg udregnes nationale MCF,⁸ mens der for andre dyr bruges tal fra IPCCs retningslinjer⁹. Klimarådets værktøj benytter de samme MCF som i NIR.

Mængden af flygtige forbindelser (VS) afhænger af, hvor meget gødning der udskilles fra dyret, og hvor meget strå der bruges. For nemheds skyld bygger Klimarådets værktøj på DCEs udregnede VS, da alle inputs til udregningen af VS er normtal. VS beregnes principielt ved brug af følgende formel:¹⁰

$$VS_{\text{Housing}} = \frac{m}{365} * DM_M * VS_{DM} * (365 - g_1) + s * DM_s * \left(1 - \frac{\%ash}{100}\right) * (365 - g_2)$$

$$VS_{\text{Grazing}} = \frac{m}{365} * DM_M * VS_{DM} * g_1$$

Hvor,

VS = volatile solids, kg pr. dyr pr. år

⁷ NIR 2016 side 389.

⁸ NIR Annex 3D-13

⁹ IPCCs retningslinjer Tabel 10.17

¹⁰ NIR 2016 side 389.

m	= Mængde udskilt gødning, kg pr. dyr pr. år
DM	= Tørstofprocent for gødning (M) og dybstrøelse (S), pct.
VS_{DM}	= flygtige forbindelser i tørstof, pct.
g1	= Græsningsdage, dage
g2	= Faktisk antal dage på græs, dage
S	= Mængde dybstrøelse, kg pr. dyr pr. år
% ash	= Askeindhold i dybstrøelse

For at synliggøre, hvordan en udregning af VS kunne stilles op, er der i Klimarådets værktøj inkluderet information fra Normtallene¹¹ for m, S, DM, samt g₁ og g₂ fra NIR Annex 3D-9. NIR oplyser VS_{DM} = 80 pct. og % ash = 4,5 pct.¹²

Beregningsarket er bygget op således, at hver dyre/stald kombination har en række, og derefter fremgår alle beregninger fra venstre mod højre. I figuren nedenunder ses et udsnit af beregningsarket.

	C	E	F	R	T	U	V	W	X
1	Karakteristika		Inputs					Emissionsfaktor	Totale udledninger
2	Dyretype Dansk betegnelse	Staldtype (Dansk)	Number of animals	VS _{Housing}	VS _{Grazing}	MCF	B ₀	CH ₄ pr dyr	Total amount of CH ₄
3	1 årsko, tung race	Bindestald med grebning	15754	2.044,45	88,52	2,00	0,24	6,8596	108.064
4	1 årsko, tung race	Bindestald med grebning	15754	341,87	17,73	6,97	0,24	4,0303	63.492
5	1 årsko, tung race	Bindestald med riste	24193	2.387,06	106,29	6,97	0,24	27,9449	676.074
6	1 årsko, tung race	Sengestald med fast gulv	84395	2.161,72	106,29	6,97	0,24	25,4193	2.145.253
7	1 årsko, tung race	Sengestald med spalter (kanal, linespil)	206434	2.161,72	106,29	6,97	0,24	25,4193	5.247.407
8	1 årsko, tung race	Sengestald med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal)	120966	2.161,72	106,29	6,97	0,24	25,4193	3.074.862
9	1 årsko, tung race	Sengestald, fast drænet gulv med skraber og ajlefløb	22505	2.161,72	106,29	6,97	0,24	25,4193	572.061
10	1 årsko, tung race	Dybstrøelse (hele arealet)	16879	5.429,17	106,29	17,00	0,24	151,3175	2.554.077
11	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med fast gulv	3376	819,30	42,50	6,97	0,24	9,6588	32.606
12	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med fast gulv	3376	4.046,52	63,79	17,00	0,24	112,3595	379.302
13	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, linespil)	7314	819,30	42,50	6,97	0,24	9,6588	70.647
14	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, linespil)	7314	4.046,52	63,79	17,00	0,24	112,3595	821.820
15	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal)	5064	819,30	42,50	6,97	0,24	9,6588	48.909
16	1 årsko, tung race	Dybstrøelse, lang ædeplads med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal)	5064	4.046,52	63,79	17,00	0,24	112,3595	568.952
17	1 årsko, tung race	Biogas	55752	2.161,72	106,29	5,06	0,24	18,4536	1.028.825
18	1 årsko, jersey	Bindestald med grebning	0	1.694,47	73,29	2,00	0,24	5,6851	-

Normtallene er på dansk, mens NIRs annekser for metankonverteringsfaktor er på engelsk. Oversættelser mellem NIR og Normtallene er givet i Annex 1.

Det ses også af figuren, at der er en "biogas" staldtype. Det skyldes, at det er denne måde biogas opgøres i NIR i dag. For at kvalitetstjekke modellen har det derfor været nødvendigt at inkludere denne staldtype i beregninger af hele landbrugets udledning.¹³ Det er dog ikke muligt for landmanden selv at indtaste et antal dyr i en "biogasstald".

Antal dage på græs er indregnet som standardværdier. Det er dog muligt at udvide modellen, så dette inkluderes som aktivitetsdata.

¹¹ Poulsen (2015) Normtal og Baggrundstal (2008) <http://anis.au.dk/forskning/sektioner/husdyrernaering-og-fysiologi/normtal/>

¹² NIR side 389.

¹³ Ved henvendelse til Klimarådets sekretariat er det muligt at få biogasstalden ud af beregningerne.

5.3 Direkte udledning af lattergas fra gødningshåndteringen

Husdyrgødningen producerer også en mængde lattergas (N_2O). Udledningen af lattergas fra gødningen dækker over en direkte og en indirekte udledningskilde. Den **direkte emission** stammer fra gødningshåndteringen i stald og lager. Den **indirekte emission** dækker over den estimerede udledning af lattergas, der opstår, når der udledes ammoniak (NH_3) og NO_x fra stald og lager. Emissionerne af lattergas afhænger af kvælstofindholdet (N) i gødningen, og der benyttes i Danmark nationaldata for N-udledningen for alle dyretyper.

Den direkte lattergasudledning afhænger af indholdet af N i gødningen. Udregningen af udledningen af lattergas fra gødningshåndtering er baseret på IPCCs Retningslinjers Tier 2 metode. Den **direkte udledning** beregnes ved brug af følgende formel¹⁴:

$$N_2O_{D(mm)} = [\sum_s [\sum_T (N_T * Nex_T * MS_{T,S})] EF_{3(S)}] * \frac{44}{28}$$

Hvor,

$N_2O_{D(mm)}$ = Direkte udledning af kg N_2O fra gødningshåndtering pr. år

N_T = Antal dyr af type T

Nex_T = Gennemsnitlig udskillelse af N pr. dyr pr. år for type T

$MS_{T,S}$ = Andel af den samlede N-udskillelse pr. dyr pr. år for type T som håndteres i systemet S

$EF_{3(S)}$ = Emissionsfaktor for direkte udledninger af N_2O for gødningshåndteringssystemet S

S = Gødningshåndteringssystem

T = Type af dyr

$44/28$ = Konverteringsfaktor, der omregner N_2O -N til N_2O , det vil sige $(N_2O-N)_{(mm)}$ emissioner til $N_2O_{(mm)}$ emissioner. Værdien er givet en standardværdi fra IPCC, og er relevant for alle udledningskilder af lattergas fra landbrugsjorden.¹⁵

I værktøjet skal landmanden indtaste antallet af dyr i en given staldtype, hvorved der opnås data for N_T og $MS_{T,S}$. Data for hele landbruget findes i Annex 3D-1 og 3D-2 i NIR. Dog skal nogle af tallene i 3D-2 justeres for at få antal producerede dyr.¹⁶ Staldtype oversættes til gødningshåndteringssystem i NIR Annex 3D-13.

Den gennemsnitlige udskillelse af N pr. dyr er opgjort i Normtallene¹⁷. Disse er specifikke for den enkelte dyr/staldkombination¹⁸.

¹⁴ IPCC Retningslinjer side 10.25

¹⁵ IPCCs Retningslinjer side 11.10.

¹⁶ DCE har leveret tal for antal producerede dyr.

¹⁷ Poulsen (2015) Normtal <http://anis.au.dk/normtal/>

¹⁸ Som i beregningen af metan fra gødningshåndteringen, indgår biogas som en staldtype, men landmanden kan ikke indtaste dyr i en biogasstald. Det er som tidligere nævnt udelukkende gjort for at kunne kvalitetstjekke værktøjet.

Emissionsfaktoren (EF) for et givent gødningshåndteringssystem ($EF_{3(S)}$) stammer fra IPCC tabel 10.21. For Danmark gælder det, at der benyttes samme N_2O -emissionsfaktor for alle typer af dyr indenfor et givent gødningshåndteringssystem. Disse emissionsfaktorer er oplyst i NIR Tabel 5.12 og i IPCC Tabel 10.21.

5.4 Indirekte udledning af lattergas fra gødningshåndteringen

Klimarådets værktøj benytter IPCCs Retningslinjers metode til at bestemme mængden af den indirekte udledning af lattergas fra gødningshåndteringen. Den indirekte udledning af lattergas beregnes ved brug af følgende ligning¹⁹:

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{volatalization-MMS} * EF_4) * \frac{44}{28}$$

Hvor,

$N_2O_{L(mm)}$ = Årlig udledning af lattergas, som følge af fordampning af N, målt i kg

$N_{volatalization-MMS}$ = Årlig mængde N der går tabt som følge af fordampning af NH_3 og NO_x , målt i kg N

EF_4 = Emissionsfaktor for lattergasudledningen fra fordampning af N fra jorde

$44/28$ = Konvertering af $(N_2O-N)_{(mm)}$ emissioner til $N_2O_{(mm)}$ emissioner

Emissionsfaktoren er givet i NIR og er 0,01 kg N_2O-N pr. kg fordampet NH_3-N eller NO_x-N .²⁰

N betegner mængden af tilgængelig fordampet N, og afhænger af mængden af N produceret af dyret. Den mængde N, som fordamper og derved danner lattergasbindinger, kan beregnes med følgende formel:²¹

$$N_{volatalization-MMS} = \sum_S \left[\sum_T [(N_T * Nex_T * MS_{T,S}) * \left(\frac{Frac_{gas}}{100} \right)_{T,S}] \right]$$

Hvor,

$N_{volatalization-MMS}$ = Årlig mængde N der går tabt som følge af fordampning af, at NH_3 og NO_x udvaskes fra gødningshåndtering, målt i kg N.

N_T = Antal dyr af type T

Nex_T = Gennemsnitlig årlig udskillelse af N pr. dyr af type T

$MS_{T,S}$ = Andel af den samlede årlige udskillelse af N pr. dyr af type T som håndteres i systemet S

$Frac_{Gas}$ = Procentdel af N fra gødning for dyr af type T fra gødningshåndteringssystem S, der fordamper som NH_3 og NO_x

Det ses af formelen, at den totale mængde N for en given dyr/staldkombination udregnes på samme måde som i de direkte udledninger. Af denne mængde er det kun en procentdel, som fordamper til NH_3-N eller NO_x-N . Denne procentdel ($Frac_{Gas}$) er specifik for dyretypen.

$Frac_{Gas}$ er i værktøjet udregnet ved hjælp af Danmarks indberetning af luftforurening (IIR)²², da normtallene fra IPCCs Retningslinjer gav for høje udledninger sammenlignet med NIR. IIR opgiver, hvor meget NO_x og

¹⁹ IPCCs Retningslinjer side 10.56.

²⁰ NIR side 393.

²¹ IPCCs Retningslinjer side 10.54.

NH₃ der udledes fra gødningshåndtering fra de forskellige dyretyper. Disse omregnes til NH₃-N og NO_x-N. Disse lægges sammen for at få den totale fordampede mængde N. Dernæst fås Frac_{Gas} ved at dividere den fordampede mængde N med den totale mængde N produceret af en given dyretype. Det giver den dyrespecifikke Frac_{Gas}, som benyttes i Klimarådets værktøj. Denne metode giver et resultat som stemmer nogenlunde overens med, hvad der er opgivet i den officielle opgørelse (0,490 kt indirekte N₂O i Klimarådets værktøj mod 0,463 kt indirekte N₂O i den officielle opgørelse). Metoden er dog ikke uden fejl. Metoden giver en Frac_{Gas} for slagtekyllinger på over 100 pct. Samtidig har det ikke været muligt at efterprøve metoden på de enkelte dyretyper, da indirekte lattergas kun opgøres på totalt niveau i CRF. Metoden kan også videreudvikles, så der kommer forskellige Frac_{Gas} for forskellige staldsystemer, som IPCCs Retningslinjer også indikerer. Udregninger er udspecificeret i nedenstående figur.

Aggregeret udledning af N fra gødningshåndtering i landbruget	Total udledning				Total N-fordampning fordelt på dyretyper (kg)	Total N-udledning for dyr af typen T	Implicit FracGas for dyr af typen T
	NOx (som NO2) (kt)	NH3 (kt)	NO2-N (kt)	NH3-N (kt)			
Malkekvæg	0,02	7,27	0,01	5,98	5.986.149	76.864.092	8%
Andet kvæg	0,09	3,47	0,03	2,85	2.880.863	38.011.005	8%
Får	0,00	0,09	0,00	0,07	72.228	3.203.695	2%
Svin	0,05	15,93	0,01	13,10	13.118.886	89.503.121	15%
Geder	0,00	0,01	0,00	0,01	9.747	170.352	6%
Heste	0,03	0,65	0,01	0,54	544.885	5.736.375	9%
Høns og hønniker	0,00	1,28	0,00	1,05	1.050.294	2.540.762	41%
Slagtekyllinger	0,02	0,84	0,01	0,69	692.796	432.280	160%
Andre dyr	0,00	6,02	0,00	4,95	4.948.958	9.446.086	52%
Kilde	Denmark NFR report 2016, ark: 2014 tabel 1	Denmark NFR report 2016, ark: 2014 tabel 1				Klimarådets værktøj	
Konverteringsfaktor							
NH3 til NH3-N	1,21589						
NO2 til NO2-N	3,28443						

5.5 Lattergasudledningen fra landbrugsjorde – direkte udledninger

Landbrugsjorden udleder lattergas pga. den mængde N, der anvendes på marken i forbindelse med dyrkning. N kommer fra forskellige kilder:

- Handelsgødning (F_{SN}) (også kaldet uorganisk N-gødning)
- Organisk gødning (husdyrgødning (F_{AM}), spildevandsslam (F_{SEW}), andet organisk gødning (F_{OOA}))
- N i afgrøderester (F_{CR})
- N fra mineralisering/immobilisering (F_{SOM})
- Husdyrgødning fra græssende dyr (F_{PRP})
- Opdyrkning/dræning af humusjord (også kaldet organiske jorde, JB-nr. 11) (F_{OS})

De direkte udledninger udregnes ved at beregne udledningen fra hver af de ovenstående kategorier og lægge dem sammen.

²² DCE (2016) Danish Informative Inventory Report To Unece
http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/status_reporting/2016_submissions/

For de fleste af de ovenstående kilder bruges den samme emissionsfaktor. Derfor ser ligningen således ud:²³

$$N_2O - N_{N \text{ inputs}} = (F_{SN} + F_{AM} + F_{SEW} + F_{OOA} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1$$

Hvor,

$N_2O - N_{N \text{ inputs}}$ = Direkte $N_2O - N$ udledninger fra landbrugsjorden, kg $N_2O - N$ pr. år

F_{SN} = Mængden af handelsgødning udlagt på marken, kg N pr. år

F_{AM} = Mængden af animalsk gødning udlagt på marken, kg N pr. år

F_{SEW} = Mængden af slam udlagt på marken, kg N pr. år

F_{OOA} = Mængden af anden organisk gødning udlagt på marken, kg N pr. år

F_{CR} = Mængden af N i afgrøderester, kg N pr. år

F_{SOM} = Mængden af mineraliseret N, kg N pr. år

EF_1 = Emissionsfaktor for N_2O emissioner fra N-inputs, kg $N_2O - N$ pr. kg N-input

De første fire N-mængder er inputs, hvor data kommer fra indtastningsarket. N fra afgrøderester og N fra mineralisering kræver udregninger.

Emissionsfaktoren er 0,01 og givet i IPCCs Retningslinjer Tabel 11.1.

N fra afgrøderester udregnes via nedenstående formel:²⁴

$$F_{CR} = \sum_T \{Crop_T * [Area_T * R_{AG(T)} * N_{AG(T)} + Area_T * R_{BG-BIO(T)} * N_{BG(T)} * Frac_{Renew}]\} - N_{Halm \text{ Bjærget}}$$

T = Afgrøde T

$Crop_T$ = Høstresultat i kg pr. ha. * tørstofindholdet i afgrøden. Oplysninger om tørstof kan findes i SEGES Fodermiddeltabel

$Area_T$ = Dyrket areal for afgrøde T, ha pr. år

$R_{AG(T)}$ = Forholdet mellem tørstofsrester ($AG_{DM(T)}$) over jorden og høstet tørstof for afgrøde T ($Crop(T)$). $R_{AG(T)} = AG_{DM(T)} / Crop(T)$

$AG_{DM(T)}$ = Tørstofrester over jorden for afgrøde T. $AG_{DM(T)} = (Crop_{(T)} * \text{hældning} + \text{skæringspunkt}) * Frac_{Renew(T)}$. Hældning og skæringspunkt er givet for forskellige afgrøder i Tabel 11.2 i IPCCs Retningslinjer.

²³ IPCC Retningslinjer side 11.7 og 11.12.

²⁴ IPCC Retningslinjer side 11.14.

$Frac_{Renew}(T)$ = Ompløjningsrate, hvor tit afgrøden høstes (årligt = 1, hvert 3. år = 0,33), givet af DCE

$N_{AG(T)}$ = N-indholdet i over-jorden tørstofrester for afgrøde T, kg N (kg d.m.)⁻¹, data er givet for forskellige afgrøder i Tabel 11.2 i IPCCs Retningslinjer

$R_{BG-BIO(T)}$ = Forholdet mellem tørstofrester under jorden for afgrøde T og biomasse over jorden. Oplysningen er givet for forskellige afgrøder i Tabel 11.2 i IPCCs Retningslinjer.

$N_{BG(T)}$ = N-indholdet i under-jorden tørstofrester for afgrøde T, kg N pr. kg tørstof, data er givet for forskellige afgrødetyper i Tabel 11.2 i IPCCs Retningslinjer

$N_{Halm\ bjærget}$ = Mængden af N fra bjærget halm fra marken, pr. kg N

Halm bjærget udregnes som

$$N_{Halm\ Bjærget} = Halm\ bjærget * DM_{Halm} * Råprotein * \frac{1}{N_{Protein}}$$

Hvor,

$Halm\ bjærget$ = Hvor meget halm, der bjærges, ton pr. år

DM_{Halm} = Andel af tørstof i halm, pct.

$Råprotein$ = Andel af råprotein i halm, pct.

$N_{protein}$ = Andel af kvælstof i protein i halm, pct.

Ligesom med udregningerne til lattergasudledningen fra gødning har hver afgrøde en række, og så følger udregningen fra mod højre. Først findes $Crop_T$ ved at tage høstresultatet, som kan findes via Danmarks Statistik²⁵ og divideres med det samlede dyrkede areal²⁶. Dernæst ganges dette med tørstofindholdet, som er opgivet i SEGES Foddermiddeltabel for at få $Crop_T$. Det eneste input i denne udregning er det dyrkede areal. Man kunne lave et frivilligt modul, hvor landmanden indtaster sin egen høst. Det ville give en bedriftsspecifik $Crop_T$.

Dernæst følger en række normtal, som er givet i IPCC Retningslinjer tabel 11.2. Ompløjningsraten er givet af DCE.

Sidst fratrækkes bjærget halm, fordi dette fjerner afgrøderesterne fra marken. Udregningsmetoden er DCEs og givet ved personlig korrespondance. Den totale mængde bjærget halm for Danmark er oplyst af Danmarks Statistik.²⁷

N fra mineralisering er lavet på en forsimplet måde i værktøjet, da der i NIR benyttes en speciel model (C-TOOL):

$$F_{SOM} = Area * IEF$$

²⁵ Statistikbanken HST6.

²⁶ Statistikbanken AFG1.

²⁷ Statistikbanken HST6.

Hvor,

Area = Det totale dyrkede areal på humusjord (JB-nr. 11)

EF = Den implicitte emissionsfaktor for N-mineralisering

EF er udregnet ved at tage den totale mængde N fra mineralisering som opgivet i CRF og dividere denne med det totale areal for humusjord (JB-nr. 11)²⁸. Mængden af mineraliseret N er et oplagt sted for videreudvikling og forbedring af modellen.

Udover disse kilder er der også lattergasudledningen fra græssende dyr og fra organiske jorde.

Udledningen fra organiske jorde udregnes på følgende måde²⁹:

$$N_2O - N_{OS} = Area_{Crop} * EF_{OS Crop} + Area_{Grass} * EF_{OS Grass}$$

Hvor,

Area_{Crop} = Det dyrkede areal på organiske jorde (også kaldet tørvejorde), ha pr. år

Area_{Grass} = Det areal på organiske jorde (også kaldet tørvejorde), hvor der dyrkes græs, ha pr. år

EF_{OS Crop} = Emissionsfaktor for mængden af N₂O-N der udledes fra dyrkede organiske jorde, kg N₂O-N pr. ha

EF_{OS Grass} = Emissionsfaktor for mængden af N₂O-N der udledes fra organiske jorde, kg N₂O-N pr. ha

Begge emissionsfaktorer er givet i NIR: EF_{OS Crop} = 13 kg kg N₂O-N pr ha og EF_{OS Grass} = 8,2 kg N₂O-N pr ha.³⁰

Udledningen fra græssende dyr udregnes i forhold til antal dyr via følgende formel:³¹

$$N_2O - N_{PRP} = \left(\sum_T ((N_{(T)} * Nex_{(T)}) * MS_{(T,PRP)}) \right) * EF_{3 PRP}$$

Hvor,

N_(T) = Antal dyr af type T

Nex_(T) = Gennemsnitlig udskillelse af N pr. dyr pr. år for type T

MS_{T, PRP} = Antal dage på græs delt med 365, pct.

EF_{3 PRP} = Emissionsfaktor for mængden af N₂O-N emissioner fra gødning på græs, kg N₂O-N pr. kg N input

EF_{3 PRP} er givet i CRF og er 1,8 pct.

²⁸ DCE: For bestemmelse af drivhusgasudledning ved udtagning/ekstensivering af landbrugsjorder på kulstofrige lavbundsjorder, 2015.

²⁹ IPCCs Retningslinjer side 11.7 og NIR side 399.

³⁰ NIR side 399.

³¹ IPCCs Retningslinjer side 11.13.

Der kunne også udvikles et frivillighedsmodul vedrørende græsningsdage. På den måde ville man få en mere præcis udledning af både metan og lattergas fra gødningen samt en mere præcis opgørelse af F_{PRP} .

5.6 Lattergasudledningen fra landbrugsjorde – indirekte udledninger

Indirekte emissioner stammer fra to kilder: N-udvaskning til jorden, vandløb og havet, og landbrugets udledninger af NH_3 og NO_x .

Udledninger af NH_3 og NO_x udregnes med følgende formel:

$$N_2O_{ATD} - N = [F_{SN} * FRAC_{GASF} + F_{ON} * Frac_{GASM} + F_{CR} * Frac_{GASC}] * EF_4$$

Hvor,

- F_{SN} = Mængden af handelsgødning udlagt på marken, kg N pr. år
- $FRAC_{GASF}$ = Andel af handelsgødning, der fordampes som NH_3 og NO_x , kg N fordampet pr. kg N
- F_{ON} = Mængden af al organisk gødning udlagt på marken, kg N pr. år. Dette inkluderer husdyrgødning, slam, andet organisk gødning og gødning fra græssende dyr
- $FRAC_{GASM}$ = Andel af organisk gødning, der fordampes som NH_3 og NO_x , kg N fordampet pr. kg N
- F_{CR} = Mængden af N fra afgrøderester, kg N pr. år
- $FRAC_{GASC}$ = Andel af afgrøderester, der fordampes som NH_3 og NO_x , kg N fordampet pr. kg N. Denne udregnes på baggrund af NIR tabel 5.25.
- EF_4 = Emissionsfaktor for N_2O emissioner fra fordampning, kg N– N_2O pr. kg NH_3 –N + NO_x –N fordampet

$FRAC_{GASF}$ og $FRAC_{GASM}$ er givet i NIR³², mens $FRAC_{GASC}$ er udregnet på baggrund af input fra tabel 5.25³³. Emissionsfaktoren er givet i IPCC Tabel 11.3.

I værktøjet udregnes lattergasudledningen fra nitrogenudvaskningen via følgende formel:

$$N_2O_L - N = (F_{Total}) * Frac_{LEACH} * EF_5$$

Hvor,

- F_{Total} = Den totale mængde N på marken, kg N pr. år
- $FRAC_{Leach}$ = Andel af N på marken der udvaskes
- EF_5 = Emissionsfaktor for N_2O emissioner fra udvaskning, kg N– N_2O pr. kg udvasket N

$FRAC_{Leach}$ er landsgennemsnittet for N-udvaskning, som opgivet i CRF. EF_5 er ligeledes opgivet i CRF.

³² NIR Tabel 5.15.

³³ Udregningen er lavet ved at dividere antal kg NH_3 –N med antal kg N fra afgrøderester.

Udledningen fra nitrogenudvaskning udregnes i NIR via NOVANA (National Monitoring program of the Water Environment and Nature), som er et monitoreringsprogram. Det har ikke været muligt at replikere denne proces, og derfor tager modellen udgangspunkt i FNs Klimapanel's Tier 1 metode. I den antages det, at der udvaskes lige meget kvælstof på alle marker. Det er ikke en præcis antagelse, da udvaskning afhænger af jordbundstypen, hvor tæt marken er på vandløb og andre forhold.³⁴ Den indirekte udledning fra kvælstofudvaskning er et af de områder, hvor der skal forskes mere og den endelige model bliver nødt til at tage højde for i hvert fald jordbundstypen for at give et nogenlunde reelt billede af udledningen. Under alle omstændigheder er det dog bedre at inkludere udledningskilden i bedriftsregnskabet end at udelade den.

5.7 CO₂ og andre drivhusgasser fra forbrænding af fossile brændsler

Udledningerne fra forbrænding af fossile brændsler i landbruget består af både **stationære og mobile kilder**. De **stationære kilder** er naturgasforbrug til opvarmning. De **mobile kilder** er fx traktorer, der benyttes i landbrugsproduktionen. I NIR kapitel 3.2 er det kun de stationære kilder, som er inkluderet. De mobile kilder håndteres i NIR kap 3.3. I IPCCs Retningslinjer findes det i hhv. kap 2.2. og 2.3.

Generelt set beregnes drivhusgasudledningerne fra stationære kilder ved at gange forbruget af en given type brændstof med den tilhørende emissionsfaktor. Til at beregne drivhusgasudledningerne fra stationære kilder i landbrugssektoren benyttes følgende ligning:

$$CO_{2e\text{ stationary } (T)} = \sum_T (Fuel\ consumption_T * EF)$$

Hvor,

CO _{2e} stationary (T)	=	Udledninger af en given drivhusgas fra forbrænding af en given brændstofkilde T i stationære anlæg, kg CO _{2e}
Fuel Consumption _T	=	Mængden af anvendt brændstof af typen T, TJ pr. år
EF	=	Emissionsfaktor for en given brændstofkilde kg CO _{2e} pr. TJ

I værktøjet skal landmanden indtaste brændstofforbruget. Brændstofforbruget i liter, ton eller m³ omregnes til energienheden TJ. Klimarådet har benyttet data fra DCRF tabel 1.A(a)s4, men data for brændstofforbruget kan også fås fra Energistyrelsens Energistatistik 2014.

DCE har opdelt de stationære kilder i flydende brændsler, faste brændsler, gasser og biomasse. De flydende brændsler består af olie, petroleum og LPG. De faste brændsler består af kul. Gasser er naturgas.

³⁴ En rapport om NOVANA modellen viser, at udvaskning er 37 pct. på sandjord og 27 pct. på lerjord (DCE (2014 Landovervågningsoplande 2014)). Dette passer ikke så godt med, at landsgennemsnittet er 27 pct. ifølge CRF. Klimarådet har benyttet CRF tallet.

For de flydende brændsler er det antaget, at alle flydende brændsler er dieselolie. På baggrund af forbruget for landbruget som helhed af flydende brændsler i stationære kilder (TJ) fra CRF tabel 1.A(a)s4 og energiindholdet i diesel³⁵ er forbruget af diesel i stationære kilder, målt i liter, udregnet implicit.

For naturgas og kul for landbruget som helhed er det implicitte forbrug i hhv. m³ og ton udregnet på baggrund forbruget i TJ fra CRF og energiindholdet i de to typer af brændsler³⁶.

De anvendte emissionsfaktorer stammer fra CRF tabel 1.A(a)s4.

Til at beregne udledningen fra mobile kilder benyttes følgende formel

$$CO_2e_{Mobile(T)} = \sum_T (Fuel\ consumption_T * EF)$$

Hvor,

CO₂e_{mobile (T)} = Udledningen af en given drivhusgas fra forbrænding af en given brændstofkilde T i mobile anlæg, kg CO₂e

Fuel Consumption_T = Mængden af anvendt brændstof af typen T, TJ pr. år

EF = Emissionsfaktor for en given brændstofkilde kg CO₂e pr. TJ

De anvendte emissionsfaktorer stammer fra CRF tabel 1.A(a)s4.

5.8 Reduktionsmuligheder

Der er forskellige reduktionstiltag integreret i værktøjet. De udvalgte tiltag er medtaget for dels at give den enkelte landmand mulighed for at se effekten af nogle oplagte reduktionsmuligheder, dels for at give eksempler på forskellige måder at integrere forskellige reduktionstiltag i en opgørelse over den enkelte landbrugsbedrifts udledninger.

Et reduktionstiltag kan integreres i værktøjet på to måder.

- *Direkte.* Tiltag, der er ændringer i den normale drift, indgår ikke særskilt i indtastnings- eller resultatarket. Det drejer sig fx om ændring af en staldtype, et mindre handelsgødningsforbrug, færre kvier eller fjerkræ i stedet for kvæg. Disse ændringer registreres i det eksisterende aktivitetsdata og vil dermed indgå direkte i beregningerne af udledningen og optræder ikke særskilt i indtastningsarket.
- *Investeringsiltag.* Reduktionen fra en investering i en teknologi kan indgå som en (procentuel) reduktion i udledningen fra den pågældende kilde. Det gælder fx biogas, der vurderes at reducere udledningen af metan fra husdyrgødningen med en given procentsats.
- *Driftsomlægninger.* Reduktionen i udledningen ved at foretage driftsændringer vil ofte indgå som en absolut reduktion i CO₂e, fx reduceret CO₂e pr. hektar. Det kan være tilfældet for fx dyrkning af efter- og mellemafgrøder eller etablering af græsarealer.

³⁵ Energiindholdet i brændsler kan findes:

<http://www.folkecenter.dk/mediafiles/folkecenter/energibesparelse/Energiindhold-i-braendsler.pdf>

³⁶ Energiindholdet i brændsler kan findes:

<http://www.folkecenter.dk/mediafiles/folkecenter/energibesparelse/Energiindhold-i-braendsler.pdf>

Reduktionstiltag kan vælges på en liste i indtastningsarket. Reduktionspotentialerne fremgår af arket, Reduktionstiltag.

De inkluderede tiltag, hvordan de er integreret, og hvad deres reduktionspotentialer er, er beskrevet nedenfor.

Forsuring af gylle

Ved at tilsætte svovlsyre i gyllen kan metanudledningen reduceres med ca. 60 pct. pr. ton gylle.³⁷ Reduktionspotentialer antages i værktøjet at være det samme for svine- og kvæggylle, og indgår som en procentuel reduktion af udledningen af metan fra husdyrgødningen.³⁸ Der skelnes ikke mellem, hvor forsuringen foregår. Det forudsættes i værktøjet, at al kvæg- eller svinegyllen på den pågældende bedrift forsures.

Biogas

Bioforgasning af husdyrgødning i et biogasanlæg reducerer udledningen af metan med ca. 25 pct.³⁹ Værktøjet tager i den nuværende form ikke højde for, hvorvidt der er tale om et gård- eller et fællesbiogasanlæg. Der tages heller ikke højde for en eventuel reduktion i udledningen af lattergas. Reduktionen indgår som en procentuel reduktion af udledningen af metan fra husdyrgødning, og det forudsættes, at al kvæg- eller svinegyllen på den pågældende bedrift bioforgasses.

Nitrifikationshæmmere i handelsgødning

Ved at tilsætte nitrifikationshæmmere i handelsgødning estimeres lattergasudledningen at kunne reduceres med ca. 38 pct.⁴⁰ Reduktionstiltaget indgår i værktøjet som en procentuel ændring og forudsætter, at der tilsættes nitrifikationshæmmere til det samlede handelsgødningsforbrug.

Dyrkning af energipil

Ved at omlægge fra fx korn til energipil mindskes behovet for kvælstofgødning og derved reduceres udledningen af lattergas fra jorden. Effekten af at dyrke energipil afhænger af jordtypen. Omlægning til energipil på organogene jorde og sandjord estimeres at have en lidt større reduktion af lattergas end på lerjord. Reduktionen indgår som en reduktion på 0,247 ton CO₂e pr. ha for sand- og tørvejord og 0,185 ton

³⁷ Olesen, Jørgen E.; Jørgensen, Uffe; Hermansen, John E.; Petersen, Søren O.; Eriksen, Jørgen; Søgaard, Karen; Vinther, Finn P.; Elsgaard, Lars; Lund, Peter; Nørgaard, Jan V.; Møller, Henrik B.: Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27. August 2013.

³⁸ Hhv. 13 pct. af kvæggyllen og 5 pct. af svinegyllen forsures i dag og indgår i den nationale opgørelse med en reduktion af metanudledningen. I en implementering af værktøjet skal tage højde for denne reduktion, da der ellers vil forekomme en dobbelt-reduktion.

³⁹ Mikkelsen, Mette Hjorth; Albrechtsen, Rikke; Gyldenkerne, Steen: Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. DCE Rapport nr. 197, 2016.

⁴⁰ Olesen, Jørgen E.; Jørgensen, Uffe; Hermansen, John E.; Petersen, Søren O.; Eriksen, Jørgen; Søgaard, Karen; Vinther, Finn P.; Elsgaard, Lars; Lund, Peter; Nørgaard, Jan V.; Møller, Henrik B.: Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27. August 2013.

CO₂e pr. ha for lerjord. Dyrkning af energipil bidrager også i værktøjet med en øget kulstofbinding på 1,57 ton CO₂e pr. ha uanset jordtype.⁴¹

Vedvarende græs

Ved at omlægge fra fx korn til vedvarende græsarealer estimeres en øget kulstofbinding på 1,833 ton CO₂e pr. ha uanset jordtype.⁴² Dette medregnes under reduktionstiltag i resultatarket, mens effekten på lattergasudledningen af ikke at dyrke korn fremkommer direkte i værktøjet.

Efter- og mellemafrøder

Dyrkning af efter- og mellemafrøder øger kulstofbindingen i jorden (positiv klimaeffekt). Dyrkningen øger dog også lattergasudledningen en smule (negativ klimaeffekt). Efter- og mellemafrøder er medtaget i værktøjet som en reduktion i CO₂e pr. ha. Den øgede kulstofbinding er sat til at være den samme uanset jordtype på 0,733 ton CO₂e pr ha. Stigningen i lattergasudledningen fremgår som en negativ reduktion. Efterafgrøder estimeres at øge udledningen af lattergas på sandjord henholdsvis lerjord med 0,005 og 0,113 ton CO₂e pr. ha. Mellemafrøder estimeres at øge udledningen af lattergas på sandjord henholdsvis lerjord med 0,05 og 0,024 ton CO₂e pr. ha.⁴³

Se et eksempel på reduktionsarket herunder.

Reduktionstiltag		Input data		Metan	Latterga: CO2	Total reduktion
				Reduktion p.a., i pct	Reduktion p.a., per enhed i ton CO2e	
Udledningskilde	Tiltag	Input data	Enhed	Reduktion p.a., i pct	Reduktion p.a., per enhed i ton CO2e	
CH4 og N2O Gødning	Forsuret, svinegylle	-	ton CO2e	60%		-
CH4 og N2O Gødning	Forsuret, kvæggylle	-	ton CO2e	60%		-
CH4 og N2O Gødning	Biogas, svinegylle	1.418.514	ton CO2e	25%		354.628,41
CH4 og N2O Gødning	Biogas, kvæggylle	-	ton CO2e	25%		-
N2O Jord	Dyrkning af energipil, sandjord	5.000,00	ha.		0,247	1.235,00
N2O Jord	Dyrkning af energipil, lerjord	-	ha.		0,185	-
N2O Jord	Dyrkning af energipil, organogenjord	-	ha.		0,247	-
N2O Jord	Nitrifikationshæmmere, handelsgødning	-	ton handelsgødning		1,78	-
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Dyrkning af energipil	5.000,00	ha.		1,57	7.850,00
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Efterafgrøder på sandjord	10.000,00	ha.		-0,005	7.280,00
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Efterafgrøder på lerjord	-	ha.		-0,113	-
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Mellemafrøder på sandjord	-	ha.		-0,05	-
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Mellemafrøder på lerjord	-	ha.		-0,024	-
Arealanvendelse (kulstofbindende tiltag)	Vedvarende græsarealer	-	ha.		1,833	-

⁴¹ Olesen, Jørgen E.; Jørgensen, Uffe; Hermansen, John E.; Petersen, Søren O.; Eriksen, Jørgen; Søegaard, Karen; Vinther, Finn P.; Elsgaard, Lars; Lund, Peter; Nørgaard, Jan V.; Møller, Henrik B.: Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27. August 2013.

⁴² Olesen, Jørgen E.; Jørgensen, Uffe; Hermansen, John E.; Petersen, Søren O.; Eriksen, Jørgen; Søegaard, Karen; Vinther, Finn P.; Elsgaard, Lars; Lund, Peter; Nørgaard, Jan V.; Møller, Henrik B.: Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27. August 2013.

⁴³ Olesen, Jørgen E.; Jørgensen, Uffe; Hermansen, John E.; Petersen, Søren O.; Eriksen, Jørgen; Søegaard, Karen; Vinther, Finn P.; Elsgaard, Lars; Lund, Peter; Nørgaard, Jan V.; Møller, Henrik B.: Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27. August 2013.

6. Frivillige moduler

Klimarådets værktøj har som nævnt i analysen *Effektive veje til drivhusgasreduktion i landbruget- Forslag til klimaregnskab for den enkelte landbrugsbedrift* så lav en administrativ byrde som muligt. Det kan dog være værdifuldt at lave opgørelsen mere præcis. En måde at gøre det er ved at lave frivillige moduler, hvor landmændene, kan indmelde mere information for at få nogle mere præcise opgørelser.

Klimarådet har skitseret et eksempel på et frivilligt modul, der kan udregne bruttoenergiindtaget, som bruges i udregningen af metan fra fordøjelsen. Modulet bygger på formlerne i NIR side 384:

$$GE_{FU} = \frac{MJ/day}{FU/day}$$

$$FU/day = \frac{kg\ dm}{day} \cdot \frac{FU}{kg\ dm}$$

$$MJ/day = \frac{kg\ dm}{day} \cdot \frac{MJ}{kg\ dm}$$

$$MJ/kg\ dm = \%_{Crudeprotein} \cdot E_{Crudeprotein} + \%_{Raw\ fat} \cdot E_{Raw\ fat} + \%_{Carbonhydrates} \cdot E_{Carbonhydrates}$$

$$\%_{Carbonhydrates} = 100 - (\%_{Crudeprotein} + \%_{Raw\ fat} + \%_{Raw\ ashes})$$

Hvor,

GE_{FU} = Bruttoenergiindtag pr foderenhed af et givent foder, MJ pr. foderenhed

FU = Foderenhed

Kg dm = Tørstof i kg

MJ = Megajoule

$\%_j$ = Andelen af henholdsvis råprotein, fedt, kulhydrater og aske i foderet, pct.

E_j = Energi i henholdsvis råprotein, fedt og kulhydrater, MJ pr. kg tørstof

Oplysninger til disse tal fremgår af NIR Annex 3D-6. Heri er der informationer, der danner basis for udregningen af GE. Landmanden vil skulle indtaste, hvad det givne dyr spiser, hvilke mængder, og hvor mange dage om året dyret får det givne foder. Selve programmeringen af et sådant modul vil dog kræve en vis videreudvikling i forhold til det viste eksempel. Derfor er modulet endnu ikke inkluderet i værktøjet.

Herunder er der en del af modulet, som viser de indtastninger, der er nødvendige.

Frivilligt f

Indtastning				
Dyr	Typer af foder	Mængde foder pr da	Antal af året med foderet	Fo pr
(Navn)	(Navn)	(kg dm pr dag)	(dage)	(fo
Kvier, stor	Straw	33,4	233	
Kvier, stor	Maize silage	57,5	233	
Kvier, stor	Toasted soya	8,1	233	
Kvier, stor	Kløvergræs	1	132	