

13 december 2021

## Estimering af datakvalitet i Landbrugets klimaværktøj 2021

Forfattere: Rikke Albrechtsen, DCE, AU, Julie C. S. Henriksen, ICOEL og Alberto Maresca, SEGES.

## Metodebeskrivelse og anbefalinger for det fremtidige arbejde i Landbrugets klimaværktøj 2021

Notatet gennemgår følgende:

- 1 Gennemgang af metodebeskrivelser i Det nationale regnskab  
v. Rikke Albrechtsen
- 2 Definition af dataniveauer i Landbrugets klimaværktøj  
v. Julie Henriksen
- 3 Anbefalinger for estimering af usikkerheder i Landbrugets klimaværktøj  
v. Julie Henriksen
- 4 Statistisk metodegrundlag og antagelser  
v. Alberto Maresca

Data der anvendes i Landbrugets klimaværktøj er i sagens natur behæftet med usikkerheder i større eller mindre grad, og denne afhænger i høj grad af hvad data er baseret på. Usikkerheden vil som udgangspunkt være lavere for data der hentet direkte fra bedriftens egne opgørelser eller registreringer, frem for data der er indhentet fra registre eller opgørelser på regional eller landsniveau. For nogle data vil der tillige også være en usikkerhed tilknyttet, som følge af variation fra år til år, hvilket fx gælder for høstudbyttet.

Udledningen af drivhusgasser beregnes grundlæggende på baggrund af en aktivitetsdata multipliceret med en emissionsfaktor, hvor aktivitetsdata fx kan være antallet af malkekøer som ganges med en emissionsfaktor for den gennemsnitlige udledning per malkeko. Beskrivelse af usikkerheder i dette notat forholder sig til usikkerheden af beregningen gældende for den nationale opgørelse, som metodemæssigt tager udgangspunkt i IPCC 2006 guidelines [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1\\_Volume1/V1\\_3\\_Ch3\\_Uncertainties.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf).

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

Der gøres opmærksom på, at de nationale opgørelser løbende vurderes og opdateres i takt med, at der opnås ny viden eller at erfaringer baseret på eksisterende viden giver anledning til en justering.

Når det gælder bestemmelse af usikkerheder på data, som er på et andet niveau end det gennemsnitlige landsniveau, kan usikkerhederne for de enkelte parametre være anderledes og for nogle væsentligt anderledes. I Klimaværktøjet inddeles usikkerheder i tre niveauer, som afhænger af datakilden, hvor niveau I er baseret på bedriftsspecifikke data, niveau II på data trukket fra forskellige registre fx Gødningsregnskabet og Niveau III er baseret på data fra den nationale drivhusgasopgørelse. I udgangspunktet anses usikkerhedsniveauet at være lavere såfremt beregningen baserer sig på bedriftsdata (niveau I) fremfor for hentedede tal fra registre (Niveau II) eller standard data gældende for landsniveau. Til nærværende beskrivelse af usikkerheden for den nationale emissionsopgørelse medfølger tre regneark, som indeholder følgende:

**Bilag 1:** Usikkerhedsberegning. Dette regneark omfatter beregningen af usikkerheden på den nationale opgørelse af drivhusgasser fra landbrugssektoren. I arket ses de estimerede usikkerhedsestimater for henholdsvis aktivitetsdata og emissionsfaktorer angivet for forskellige emissionskilder samt de formler der anvendes til den samlede beregning af usikkerheden på landsplan. Der skelnes mellem kilder der udleder metan (CH<sub>4</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O), men emissionerne er angivet i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

**Bilag 2:** Usikkerhedsestimater – National opgørelse. Dette regneark angiver de usikkerhedsestimater for aktivitetsdata og emissionsfaktorer som ligger til grund for den nationale emissionsopgørelse for drivhusgasser.

**Bilag 3:** Usikkerhedsestimater – Landbrugets Klimaværktøj. Dette regneark er sat op til at liste usikkerhedsestimater for henholdsvis aktivitetsdata og emissionsfaktorer på tre forskellige niveauer:

Niveau I - Usikkerhedsestimater for data der er baseret på bedriftsspecifikke forhold.

Niveau II – Usikkerhedsestimater for data som er indhentet automatisk fra registre – fx Gødningsregnskabet, MarkOnline eller lignende.

Niveau III – Usikkerhedsestimater for data som er baseret på standard data fra den nationale emissionsopgørelse (usikkerhedsestimater er indsat).

I det følgende gennemgås usikkerhedsestimaterne anvendt i den nationale emissionsopgørelse som udarbejdes af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, heri følger en kort beskrivelse af baggrunden for antagelser om usikkerhedsestimaterne og med reference til kilde eller anden baggrund. Data i de medfølgende

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

regneark tager udgangspunkt i den senest afleverede nationale opgørelse, som omfatter opgørelsen for år 2019.

## 1. Usikkerhedsestimater – nationalt niveau

Beskrivelse af usikkerhedsestimaterne er inddelt i tre hovedkategorier; husdyrproduktionen, direkte- og indirekte emissioner fra dyrkning af landbrugsjord.

### 1.1 Usikkerhedsestimater – husdyrproduktion

Usikkerhedsestimater for husdyrproduktion omfatter de metan- og lattergaskilder der er knyttet til husdyrproduktionen i stald og lager.

#### 1.1.1 Metan fra fordøjelse

##### **Aktivitetsdata**

Antallet af dyr udgør aktivitets data ved beregning af metan emissionen fra fordøjelse og usikkerheden på nationalt plan samlet for alle dyretyper er vurderet til 2 %. Denne vurdering er baseret på at langt størstedelen af emissionen kommer fra fordøjelsesproces hos kvæg og ifølge Danmarks Statistik udgør den relative spredning for antal kvæg 0,9 %. Vurderingen på de 2 % for det samlede antal af dyr er lidt højere, fordi den relative spredning for øvrige dyregrupper er højere, fx 1,3 % for svin og 10,4 % for får (DSt, 2001).

##### **Emissionsfaktorer**

Tabet af metan fra dyrenes fordøjelsesproces afhænger, ud over mængden af foder, også af sammensætningen af foderet dvs. indholdet af fedt, aske, fiber og stivelse. Tabet af metan er i beregningen defineret som en Ym faktor (methane conversion factor). I den nationale opgørelse anvendes en usikkerhed på 20 % baseret på estimat angivet i IPCC 2006 (s. 10.33).

#### 1.1.2 Metan fra gødningshåndtering i stald og lager

##### **Aktivitetsdata**

Metan emissionen fra gødningshåndtering i stald og lager er i høj grad afhængig af antal dyr, men også af staldtypefordeling, som er bestemmende for gødnings-typen og dermed om hvordan gødningen håndteres – fx flydende eller fast gødning. Ligeledes kan der være usikkerhed forbundet med dyrenes græsningsperiode. På nationalt niveau er valgt en samlet usikkerhed for aktivitetsdata på 5 %. Således vurderes at usikkerheden er højere end de 2 %, som er relateret til usikkerhed for antal dyr, men ikke væsentligt højere, fordi staldd typer registreres i Gødningsregnskabet i Landbrugsindberetningen og derfor anses som værende data af pålidelig karakter.

##### **Emissionsfaktorer**

CH<sub>4</sub> emissionsfaktorerne er baseret på de værdier, som er angivet i IPCC 2006 Guidelines, hvor der skelnes mellem forskellige dyregrupper, mellem flydende og

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

fast gødning, samt lagringsforhold. Usikkerhedsestimatet i den nationale opgørelse er angivet til 20 % baseret på vurdering i IPCC 2006 (s. 10.48).

### **1.1.3 Lattergas fra gødningshåndtering i stald og lager**

#### ***Aktivitetsdata***

Lattergas emissionen fra håndtering af husdyrgødning afhænger i udgangspunktet af antallet af dyr, men også af fordelingen på forskellige staldtyper, fordi disse har betydning for hvordan gødningen håndteres, enten som fast eller flydende gødning. Da lattergasemissionen er knyttet til omsætningen af kvælstof (N), skal der i usikkerhedsestimatet for aktivitetsdata også tages højde for usikkerheden i relation til estimerne for dyrenes N-udskillelse og ammoniakfordampning i stald og lager, hvilket er baseret på Normtal for husdyrgødning, som varetages og udgives årligt af Institut for Husdyrvidenskab (DCA, 2021). Den samlede usikkerhed på antal dyr, staldtypefordeling og N-udskillelse er i den nationale opgørelse vurderet til 25 %.

#### ***Emissionsfaktorer***

Emissionsfaktorer for  $N_2O$  er generelt forbundet med relativ store usikkerhed, fordi der er store udfordringer ved at måle  $N_2O$  fra en specifik kilde. Emissionsfaktorerne er baseret på estimer fra IPCC 2006 (tabel 10.21) og her er usikkerheden angivet til 100 %.

### **1.1.4 Lattergas fra ammoniakfordampning i stald og lager**

#### ***Aktivitetsdata***

Ud over de direkte lattergas emissioner, forventes også en  $N_2O$  emission i forbindelse med ammoniakudledning. Usikkerheden for aktivitetsdata svarer til den usikkerhed, der er beregnet for ammoniakemissionen for husdyrgødning i stald og lager i den nationale ammoniakopgørelse, hvilket er opgjort til en usikkerhed på 15 %.

#### ***Emissionsfaktorer***

Usikkerhed for  $N_2O$  emissionsfaktoren fra ammoniakfordampning er i IPCC 2006 (tabel 11.3) estimeret til 500 %. Generelt er det ressourcekrævende og forbundet med store usikkerheder at bestemme denitrifikationen, som både omfatter  $N_2O$  og  $N_2$  – frit kvælstof og derfor er  $N_2O$  emissionsfaktorerne typisk forbundet med store usikkerhedsintervaller. Et usikkerhedsestimat op til 500 % vil have en betydeligt effekt på den samlede beregning af usikkerheden for den nationale opgørelse af drivhusgasser, og derfor har DCE i beregningen af usikkerheden antaget en maksimal usikkerhed på 100 %, fordi dette estimat i sig selv angiver en væsentlig usikkerhed. Således skelnes der i den nationale opgørelse for landbrugssektoren ikke mellem usikkerhedsestimater på 100 %, 300 %, 500 % eller højere. Alle data har således en maksimal usikkerhedsestimat på 100 %.

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

## 1.2 Usikkerhedsestimater – dyrkning af landbrugsjord, direkte emissioner

Usikkerhedsestimater vedrørende dyrkning af landbrugsjord, som hører under betegnelse direkte emissionskilder, er de aktiviteter som orienterer sig mod direkte tilførsel af kvælstof til marken – dvs. udbringning af handels-og husdyrgødning samt slam eller andre N-holdige gødskninger. Det omfatter tillige emission fra omsætning af N fra de afgrøderester, der efterlades på marken efter høst, fra dyrkning af organiske jorde og fra mineralisering i jorden.

### 1.2.1 Lattergas fra udbringning af handelsgødning

#### **Aktivitetsdata**

Lattergasemissionen fra udbringning af handelsgødning afhænger af mængden af N i den anvendte mængde handelsgødning. Usikkerheden for mængden af anvendt N er baseret på handelsgødningsstatistikken og det antages at usikkerheden for disse data i de nationale opgørelser er relativ lav, den er vurderet til 3 %

#### **Emissionsfaktorer**

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra udbringning af handelsgødning sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

### 1.2.2 Lattergas fra udbringning af husdyrgødning

#### **Aktivitetsdata**

Lattergasudledningen fra udbringning af husdyrgødning til markerne er beregnet på baggrund af N-indholdet i husdyrgødningen fra lageret, og denne afhænger af antal dyr, staldtypefordeling (gødningstype), men ydermere også af de ammoniak emissionsfaktorer, som er anvendt for stald og lager. Den samlede usikkerhed er vurderet til 25 %.

#### **Emissionsfaktorer**

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra udbringning af husdyrgødning sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (Tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

### 1.2.3 Lattergas fra udbringning af slam og anden organisk gødning

#### **Aktivitetsdata**

Lattergasemissionen fra udbringning af slam og anden organisk gødning afhænger af mængden af N i de produkter som udbringes til marken. I de nationale opgørelser stammer oplysningerne fra slam- og affaldsstatikker og usikkerheden for disse data vurderes til 15 %. Anden organisk gødning som udbringes på marken er fx bioforgasset biomasse andet end husdyrgødning og kartoffelrugtsaft og

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

data er baseret på Gødningsregnskaber og Biogasanlæggenes Biomasseindberetning. Usikkerheden for disse data vurderes til at være 20 %.

### ***Emissionsfaktorer***

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra udbringning af slam og andre kvælstofholdige produkter sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

## **1.2.4 Lattergas fra dyr på græs**

### ***Aktivitetsdata***

Emissionen af lattergas fra dyr på græs afhænger af hvor meget N, der bliver afsat ude på marken, hvilket igen afhænger af antallet af dyr, N-udskillelsen i husdyrgødningen og hvor meget tid (dage) dyrene er sat på græs. På nationalt niveau er usikkerheden vurderet til 10 %.

### ***Emissionsfaktorer***

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra græssende dyr sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

## **1.2.5 Lattergas fra afgrøderester**

### ***Aktivitetsdata***

Afgrøderester er den del af afgrøderne som efterlades på marken efter høst, stub, avner, rødder og evt. top og halm. Lattergasemissionen er afhængig af N-indholdet i afgrøderesternes, som i udgangspunktet er bestemt af høstudbytte og tørstofindhold. Usikkerheder for aktivitetsdata er således knyttet til afgrødetype, areal, udbytte og N-indhold i afgrøden. Usikkerheden for arealet og udbyttet er baseret på Danmarks Statistik og vurderes at være relativt lavt, mens N-indholdet i afgrøderne er baseret på IPCC 2006 (tabel 11.2) og varierer meget fra afgrødetype til afgrødetype (2-100%). På nationalt niveau er usikkerheden for aktivitetsdata vurderet til 25 %.

### ***Emissionsfaktorer***

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra afgrøderester sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

## **1.2.5 Lattergas fra mineralisering**

### ***Aktivitetsdata***

Når kvælstofholdige organiske stoffer i jorden bliver mineraliseret, vil der samtidig frigøres lattergas. Den mineraliserede mængde N afhænger af klima- og

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

jordbundsforhold samt jordens balance mellem kulstof og kvælstof (C/N-forhold). Usikkerheden for dette vurderes i den nationale opgørelse at være relativ høj, svarende til 50 % baseret på usikkerheden i LULUCF opgørelsen.

### ***Emissionsfaktorer***

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra mineralisering sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.1) angivet til op til 300 %.

#### **1.2.6 Lattergas fra dyrkning af organiske jorder**

### ***Aktivitetsdata***

Aktivitetsdata for lattergasemission fra organiske jorde omfatter arealet af organiske jorder som er i omdrift og der skelnes mellem om der dyrkes græs eller anden afgrøde og om indholdet af SOC (Soil Organic Matter) er mellem 6-12 % eller højere end 12%. I den nationale opgørelse er usikkerheden vurderet til 50 % baseret på usikkerheden i LULUCF opgørelsen.

### ***Emissionsfaktorer***

Emissionsfaktorerne for organiske jorde med >12 % SOC stammer fra IPCC 2013 Wetlands supplement (Tabel 2.5) og usikkerheden er der givet til 40 %, men da emissionsfaktorerne for organiske jorde med 6-12 % SOC er baseret på ekspert vurdering, er den samlede usikkerhed for emissionsfaktorerne for lattergas fra organiske jorde på nationalt niveau vurderet til at være 100 %.

#### **1.3 Usikkerhedsestimater – dyrkning af landbrugsjord, indirekte emissioner**

I forbindelse med dyrkning af landbrugsjord er der, ud over de direkte lattergas emissioner, også to kilder til indirekte lattergasemission, hvilket omfatter lattergas fra ammoniakemission og lattergas fra N-udvaskning til rodzone, vandløb og hav.

##### **1.3.1 Lattergas fra ammoniakfordampning i marken**

### ***Aktivitetsdata***

Når der sker en ammoniakfordampning, antages det at der samtidig sker en udledning af lattergas. Ammoniakfordampningen fra landbrugsjord sker fra kvælstoftildeling i form af husdyr- og handelsgødning, slam og anden organisk gødning. Derudover forekommer der en ammoniakemission fra ammoniak behandlet halm, halmafbrænding og fra voksende afgrøder. Usikkerheden er angivet til 15 % hvilket er baseret på usikkerhedsberegning fra den nationale ammoniakemissionsopgørelse.

### ***Emissionsfaktorer***

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for lattergas fra ammoniakfordampning i marken er sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.3) angivet til op til 500 %.

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

### 1.3.2 Lattergas fra N-udvaskning

#### **Aktivitetsdata**

Lattergasemissionen fra N-udvaskning afhænger af mængden af N der er udbragt på marken samt den andel af N der antages at udvaskes (tabes) til henholdsvis rodzonen, vandløb og hav. Andelen af N udvasket er i de nationale opgørelser baseret på modelberegninger baseret på data fra Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA). Usikkerheden for aktivitetsdata er således knyttet til mængde af N som udbringes på marken (husdyr- og handelsgødning, slam mv.), afsætningen af gødning for græssende dyr og den mængde der omsættes via mineralisering og afgrøderester. Usikkerheden for aktivitetsdata er vurderet til 20 %.

#### **Emissionsfaktorer**

I de nationale opgørelser er usikkerheden for emissionsfaktoren for N-udvaskning sat til max værdien, 100 % (jvf. forklaring i afsnit 1.1.4). Usikkerhedsestimatet er i IPCC 2006 (tabel 11.3) angivet til -1500/+300 %.

### 1.4 Usikkerhedsestimater – øvrige kilder

Af øvrige kilder, som indgår i den nationale emissionsopgørelse for landbrugssektoren, kan nævnes afbrænding af halm samt tre CO<sub>2</sub>-kilder; CO<sub>2</sub> fra kalkning af landbrugsjord, udbringning af urea og handelsgødningstyper med kulstofholdigt indhold.

#### 1.4.1 Metan og lattergas fra halmafbænding

##### **Aktivitetsdata**

Arealet med frøgræs og håndtering af halm er baseret på Danmarks Statistik, mens andelen af afbrændt biomasse er vurderet af kontakt fra SEGES. Usikkerhedsestimatet er vurderet til 25 %.

##### **Emissionsfaktorer**

Usikkerhedsestimatet for emissionsfaktorerne anvendt for afbrænding er baseret på IPCC 2006, (tabel 2.5). IPCC refererer til Andreae and Merlet (2001), hvor der ikke specifik er angivet usikkerhed for stofferne metan og lattergas, men da usikkerhedsestimatet for mange af de øvrige stoffer er angivet til mellem 25-100 % er der i den nationale opgørelse antaget en usikkerhedsestimat på 50 %.

#### 1.4.2 CO<sub>2</sub> fra kalkning

##### **Aktivitetsdata**

CO<sub>2</sub> emissionen fra kalkning afhænger af mængden af CaCO<sub>3</sub> der er udbragt på marken, baseret på information fra SEGES i "Årlig statistik for kalkforbruget i landbruget", som er opgørelse over solgte mængder kalk. Usikkerheden i den nationale opgørelse er vurderet til at være relativ lav, 5 %.

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug



### ***Emissionsfaktorer***

Ved beskrivelse af usikkerheder for kalkning er der i IPCC 2006 alene nævnt usikkerhed i relation til molvægt i forbindelse med forholdet til CO<sub>2</sub>. Derfor er den samlede usikkerhed for emissionsfaktoren i den nationale opgørelse, vurderet af DCE til at være 100 % ud fra en relativ sammenligning af usikkerhedsestimaterne på de øvrige emissionskilder.

#### **1.4.3 CO<sub>2</sub> fra urea**

##### ***Aktivitetsdata***

Aktiviteten for emission af CO<sub>2</sub> fra urea udbragt på marken afhænger af mængden af urea, hvor data er baseret på Handelsgødningsstatistikken, hvor usikkerhedsestimatet er vurderet til 3 %.

##### ***Emissionsfaktorer***

Emissionsfaktorerne er baseret på samme estimat som for kalkning (jvf. Afsnit 1.4.2).

#### **1.4.4 CO<sub>2</sub> fra CAN (kulstofholdige handelsgødninger)**

##### ***Aktivitetsdata***

Aktiviteten for emission af CO<sub>2</sub> fra CAN udbragt på marken afhænger af mængden af CAN og er baseret på data fra Handelsgødningsstatistikken. Usikkerhedsestimatet er derfor vurderet til at være det samme som data for anvendelse af handelsgødning, 3 %.

##### ***Emissionsfaktorer***

Emissionsfaktorerne er baseret på samme estimat som for kalkning (jvf. Afsnit 1.4.2).

### **Referencer**

- DCA, 2021. Normtal for husdyrgødning. <https://anis.au.dk/forskning/sektioner/husdyrernaering-og-fysiologi/normtal/>
- DSt 2021. Statistikbanken. <https://www.dst.dk/da/Statistik/dokumentation/statistikdokumentation/landbrugs--og-gartneritaellingen/praecision-og-paalidelighed>
- Handelsgødningsstatistikken. <https://lbt.dk/virksomheder/salg-af-goedning-og-jordforbedringsmidler-mv/statistik-over-salg-af-goedning/>
- IPCC 2013. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

Landbrugsindberetningen, 2021. <https://landbrugsindberetning.dk/ghi/start-side.jsp>

Nielsen et al., 2021. Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M. & Hansen, M.G. 2021. Denmark's National Inventory Report 2021. Emission Inventories 1990-2019 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 944 pp.

## **2 Definition af data-niveauer i Landbrugets klimaværktøj**

I Landbrugets klimaværktøj arbejdes der med datainput på 3 niveauer: Bedriftsspecifikke aktivitetsdata, standardtal og normtal baseret på danske gennemsnitsværdier og internationale værdier. Data kan opdeles i primære og sekundære data på følgende måde:

Primære data: Bedriftsspecifikke data, hvilket svarer til tier 3 niveau jf. IPCC guidelines. Tier 3 data beskriver modellerede eller målte emissions- og lagerfaktorer og tager form som bedriftsspecifikke aktivitetsdata eller bliver defineret som foreground elementary flows i livscyklusanalyser.

Sekundære data: Normtal/standardværdier baseret på et dansk landsgennemsnit, hvilket svarer til tier 2 niveau, og IPCC-faktorer, som svarer til tier 1 niveau jf. IPCC guidelines. Tier 1 og 2 er data, der ikke kan indsamles/måles direkte på bedriften og specifikt for en produktkæde, men derimod findes fra eksisterende relevante databaser.

Datakvaliteten af det enkelte klimaregnskab vil derfor afhænge af andelen af primære data i det samlede input, hvormed det skal være muligt at dokumentere det samlede estimering af usikkerheder for det enkelte regnskab og andelen af primære data for bedriftens samlede regnskab.

## **3 Anbefalinger for estimering af usikkerheder i Landbrugets klimaværktøj**

Det vurderes, at metoden der ligger til grund for usikkerhedsestimeringerne i Det nationale klimaregnskab i Danmark jf. IPCC guidelines gennemgået under punkt 1, er en brugbar og simpel metode, der også kan overføres til beregning af usikkerheder på bedriftsniveau ift. drivhusgasudledninger.

Som beskrevet i IPCC-guidelines, skal der optimalt set estimeres en usikkerhed på hvert enkelt input (aktivitetsdata) som bruges i klimaregnskabet – bortset fra konstanter. Denne værdi skal repræsentere et 95% konfidensinterval for det enkelte input. Derefter tilføjes regler for videre beregning af afvigelser for forskellige input (summering, multiplication mm.) afhængig af om afvigelse er tilfældige eller korrelerede.

Kvantificering af datainput vil afhænge af fordelings natur (normalfordeling mm.) og variationskoefficienten, hvormed de rette antagelser skal medfølge.

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

Denne proces er tidskrævende, da det skal beregnes og evalueres for hvert enkelt input.

#### 4 Statistisk metodebeskrivelse og antagelser

*Følgende er forklaret / ekstrakter (på engelsk) baseret på IPCC guidelines 2019, 2006 og 2000 for beregning af usikkerheder i et nationalt klimaregnskab.*

##### Uncertainty quantification

coefficient of variation (CV) = relative standard deviation (RSD)

When defining the distribution of each parameter, we want to indicate:

- The uncertainty lower and upper bounds defining the 95% Confidence Interval (CI)
- The type of distribution. This can be useful in the future.

Considerable judgement is required in selecting an appropriate parametric distribution to fit to a very small data set.

- In situations where the coefficient of variation is less than approximately 0.3, a normal distribution may be a reasonable assumption (Robinson, 1989).
- When the coefficient of variation is large and the quantity is non-negative, then a positively skewed distribution, such as a lognormal distribution, may be a preferable option. *“When using a normal distribution for a parameter with large uncertainty there is a risk of having negative values, which is not possible in reality.”* (Fauser et al. 2011)

Uncertainties per each parameter should always be presented in the format of 95% CI, regardless of the type of distribution. If the distribution is known to be asymmetric, the lower and upper limits defining the 95% confidence interval should be reported. Examples:

- normal distribution ( $\mu \pm 1.96\sigma$ ):  
2000 g CO<sub>2</sub>  $\pm$  10% (i.e. 2000  $\pm$  200 g CO<sub>2</sub>), where the interval 1800–2200 g CO<sub>2</sub> represents the 95% CI

normal distribution [95% Confidence Interval (CI)]

$$uncertainty = \pm \left( \frac{1.96 \times \sigma}{\mu} \right) \times 100\%$$

- asymmetrical distribution:  
1000 g CO<sub>2</sub> with lower and upper bounds of the 95% CI are -30% and +50% (where the interval 700–1500 g CO<sub>2</sub> represents the 95% CI). The lower (Ulb) and upper (Uub) bounds are calculated as:
  - $Ulb = (\min EF - EF) / EF \times 100 \%$
  - $Uub = (\max EF - EF) / EF \times 100 \%$

##### Approach 1: error propagation formulas

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

Approximation methods based on a first-order Taylor series expansion, often referred to as “error propagation” equations. The conditions imposed for use of the Tier 1 approximation methods are (IPCC, 2000):

1. The uncertainties are relatively small, the standard deviation divided by the mean value being less than 0.3.  
In practice, the relative standard deviation (i.e. coefficients of variations) can be larger than 30%. *“If the uncertainties are larger, Approach 1 may continue to be used, providing informative results. However without any corrections, this approach will tend to underestimate uncertainty of the multiplicative (or quotient) terms.”* (p.3.32, IPCC 2006)
2. *“The uncertainties have normal distribution”*  
“In fact, this condition that the uncertainties have Gaussian (normal) distributions is not necessary for the method to be applicable” (Appendix 1, IPCC 2000)
3. *“The uncertainties have no significant covariance”*  
*“statistically independent (uncorrelated) inputs. When inputs are known to be fully (or mostly) correlated, modified equations should be used or a preliminary step should be performed to combine these inputs before the application of the basic rules.”*  
In other words, the method can be extended to allow covariances, but the presented error propagation formulas must be updated accordingly.

Symmetry:

- symmetric distributions are seemingly needed, although this is not written anywhere explicitly. (to be checked: validity of the method for symmetric triangular and uniform distributions)
- If we have an asymmetrical distribution, and we can approximate it with a normal distribution, then the method can still be used:  
*“When the probability distribution function is known to be asymmetrical, upper and lower limits of the confidence interval need to be specified separately (e.g., -10 %, +20%). In this case, Approach 1 will provide only a rough approximation and in order to be used the interval needs to be replaced by a symmetrical interval built using the larger of the two quantities (e.g. ±20%).”*  
This approximation may not be optimal (in terms of the accuracy of the estimated error), but it allows us to still apply the error propagation formulas.

(Annex 1 in IPCC 2000) *“The error propagation equation is a method of combining variances and covariances for a variety of functions, including those used in inventories.*

*In this approach, non-linear equations can be expanded using the Taylor expansion. This approach provides an exact solution for additive linear functions and an approximation for products of two terms. Most emission inventories are sums*

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

of emissions, E, that are the products of activity data, A, and emission factors, F. Assuming that both quantities have some uncertainty, such inventory equations are non-linear with respect to uncertainty calculations.

Therefore, the error propagation equation provides only an approximate estimate of the combined uncertainty that is increasingly inaccurate for larger deviations.

Systematic error caused by neglecting this non-linearity in inventories can be assessed case by case. The method is very inaccurate with respect to functions containing inverse, higher power or exponential terms (Cullen and Frey, 1999). Terms can be included to allow for the effects of covariance.”

Error propagation:

- Multiplication, e.g. in the case of [activity data] X [EF]

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

expressed in percentage terms, the formula does not work for division

$U_i$  = the percentage uncertainties associated with each of the quantities ( $\pm U_i$  represents the 95% CI)

$U_{\text{total}}$  = the percentage uncertainty in the product of the quantities (half the 95 percent confidence interval divided by the total and expressed as a percentage)

$$U_{\text{total}} = \frac{\sqrt{(U_1 \times x_1)^2 + (U_2 \times x_2)^2 + \dots + (U_n \times x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$$

- Addition and subtraction:  
expressed in percentage terms,  
 $x_i$  = quantities to be combined;  $x_i$  may be a positive or a negative number  
 $U_i$  = the percentage uncertainties associated with each of the quantities ( $\pm U_i$  represents the 95% CI)  
 $U_{\text{total}}$  = the percentage uncertainty in the sum of the quantities (half the 95 percent confidence interval divided by the total (i.e., mean) and expressed as a percentage)
- Where partial correlations are known to exist and are relevant, Approach 2 (Monte Carlo simulations) is recommended.

A calculation example is presented in IPCC 2019, Box 3.1A

### Approach 2: Monte Carlo simulations

- Always applicable, more flexible (e.g. applicable in the case of large uncertainties, non-normal distributions, asymmetrical distributions, the algorithms are complex function – i.e. not just a simple multiplication of activity data with emission factors – , correlations occur between some of the activity data sets, emission factors or both., ...)
- “For each parameter, the choice of distribution and distribution parameters (mean, median, range etc.) is based on actual information, if available (literature, distribution of measurements, past data information), or/and expert judgment. The shape of distribution may vary from the classical

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

normal or lognormal distributions to more sophisticated ones. Whenever assumptions or constraints on variables are known, this information is reflected on the choice of type and shape of distributions (e.g. variability, asymmetry and multimodal).” – see Figure 3.8a in IPCC 2019.

- The final result of a Monte Carlo simulation should contain: trials, mean, median, st.dev., range min, range max, uncertainty % (-xx% ; +yy%), the probably density function

### Hybrid combinations of approaches 1 and 2

- We may not need to make hybrid combinations of Approach 1 with Approach 2 in the Klimaværktøj. However, if so, more details can be found in IPCC 2006, Chapter 3, Section 3.2.3.3.

**Uncertainty in the trend** (p. 3.24 in IPCC 2019) – probably not relevant for the Klimaværktøj.

It requires quite some time to understand the presented formulas

- Trend uncertainty
- Type A Sensitivity and Type B Sensitivity

**Dealing with large and asymmetric uncertainties in the results of Approach 1** (IPCC 2006, Chapter 3, Section 3.7.3)

- **Correction of uncertainty estimate for large uncertainties**

*“The approximate error propagation method of Approach 1 produces an estimate of the uncertainty half range (U), expressed as a percentage relative to the mean, of the inventory results. As the uncertainty in the total inventory uncertainty becomes larger, the error propagation approach systematically underestimates the uncertainty unless the model is purely additive”* (p. 3.60 IPCC 2006)

*(...) “a correction factor was developed from the comparison that is applicable if U for the total inventory uncertainty is large (e.g., greater than 100 percent)”*

➔ The error propagation formulas get far more complicated because we need to add a correction factor. Probably, it is not very practical.

- **Calculation of asymmetric confidence intervals for large uncertainties**

In order to calculate confidence intervals for the model output based upon only the mean and half-range for uncertainty, a distribution must be assumed.

- For models that are purely additive, and for which the half range of uncertainty is less than approximately 50%, a normal distribution is often an accurate assumption for the form of the model output. (~SUM of many distribution tends towards a normal distribution)

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

- For multiplicative models, or when the uncertainty is large for a variable that must be non-negative, a lognormal distribution is typically an accurate assumption for the form of the model output.
- lognormal distribution is approximately symmetric for small ranges of uncertainty (*“The uncertainty range is approximately symmetric relative to the mean up to an uncertainty half-range of approximately 10 to 20 percent”*) and they are positively skewed for large ranges of uncertainty.
- The parameters of the lognormal distribution can be defined in several ways, such as in terms of the geometric mean and geometric standard deviation. The geometric mean can be estimated based upon the arithmetic mean and the arithmetic standard deviation:

$$\mu_g = \exp\left\{\ln(\mu) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \left[\frac{U}{200}\right]^2\right)\right\} \quad \sigma_g = \exp\left\{\sqrt{\ln\left(1 + \left[\frac{U}{200}\right]^2\right)}\right\}$$

$\mu_g$  = geometric mean;  $\mu$  = arithmetic mean;  $\sigma_g$  = geometric standard deviation

- A confidence interval can be estimated

$$U_{low} = \left(\frac{\exp\{\ln(\mu_g) - 1.96 \ln(\sigma_g)\} - \mu}{\mu}\right) \times 100$$

$$U_{high} = \left(\frac{\exp\{\ln(\mu_g) + 1.96 \ln(\sigma_g)\} - \mu}{\mu}\right) \times 100$$

$U_{low}$  = Lower ½-range for uncertainty estimated from error propagation, in units of %.

$U_{high}$  = Upper ½-range for uncertainty estimated from error propagation, in units of %.

- Nice example: from normal distribution ( $\mu=1$ ;  $\varepsilon = 100\%$ ) to log-normal distribution (p. 3.62 IPCC 2006)  
*“Suppose the mean is 1.0 and the ½-range of uncertainty estimated from error propagation is 100 percent. In this case, the geometric mean is 0.89 and the geometric standard deviation is 1.60. The 95 percent probability range as a percentage relative to the mean is given by the interval from  $U_{low}$  to  $U_{high}$  of Equations 3.7. In the example, the result is -65% to +126%. In contrast, if a normal distribution had been used as the basis for uncertainty estimation, the range would have been estimated as approximately  $\pm 100\%$  and there would be a probability of approximately two percent of obtaining negative values.”*

## Referencer

STØTTET AF

# Promilleafgiftsfonden for landbrug

- IPCC 2000, ch.6
- IPCC 2006, vol1 Chapter 3
- IPCC 2019, vol1 Chapter 3
- Fauser et al. (2011). Monte Carlo (Tier 2) uncertainty analysis of Danish Greenhouse gas emission inventory