

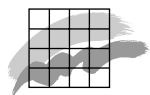


Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Faglig rapport fra DMU nr. 677, 2008

Modellering af dioxindeposition i Danmark

[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Faglig rapport fra DMU nr. 677, 2008

Modellering af dioxindeposition i Danmark

Kaj Mantzius Hansen
Jesper H. Christensen

Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 677
Titel:	Modellering af dioxindeposition i Danmark
Forfattere:	Kaj Mantzius Hansen, Jesper H. Christensen
Afdeling:	Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	Juni 2008
Faglig kommentering:	Thomas Ellermann, Helle Vibeke Andersen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Hansen, K.M. & Christensen, J. H. 2008: Modellering af dioxindeposition i Danmark. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 27 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 677. http://www.dmu.dk/Pub/FR677.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I dette projekt har vi estimeret depositionen af dioxin til Danmark for årene 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 og 2004 samt bidraget til luftkoncentrationer og den deponerede mængde fra danske kilder i forhold til andre europæiske kilder. Estimatet er udregnet ud fra modelkørsler med den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM, hvor dioxin er modelleret som et stof på partikelform. Som input til modellen er benyttet to forskellige emissionsestimater fra EMEPs MSC-E, baseret på ekspertvurderinger. Frem til 1980 er både modellerede luftkoncentrationer og depositioner svagt stigende, hvorefter de falder frem til 2004. Depositioner og koncentrationer er lavere end tilsvarende målinger foretaget tidligere i Danmark. Det skønnes at danske kilder bidrager med 10% til 20% til depositionen til danske landområder, dog med store regionale variationer, fra under 5% til over 40%. Det er vanskeligt at vurdere resultaternes troværdighed. Dels stemmer de modellerede værdier, særligt for luftkoncentrationerne, ikke overens med målinger og dels er der væsentlige usikkerheder på de benyttede emissionsestimater
Emneord:	PCDD/Fs, dioxindeposition, luftkoncentration, Danmark, atmosfærisk kemi-transportmodel, DEHM
Layout:	Majbritt Pedersen-Ulrich
ISBN:	978-87-7073-054-9
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	27
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR677.pdf

Indhold

Sammenfatning 5

Summary 6

1 Indledning 7

- 1.1 Dioxin 7
- 1.2 Kilder 7
- 1.3 Egenskaber 7
- 1.4 Atmosfærens betydning for dioxinoptaget i fødekæden 8
- 1.5 Projektets formål 8
- 1.6 Definitioner 9

2 Modelopsætning 10

- 2.1 Model 10
- 2.2 Modelopsætning 10
 - 2.2.1 Antagelse om tilstandsform af dioxin 10
- 2.3 Input 11
 - 2.3.1 Meteorologi 11
 - 2.3.2 Emissioner 11

3 Resultater 15

- 3.1 Resultater 15
- 3.2 Luftkoncentrationer 15
- 3.3 Deposition 18
- 3.4 Sammenligning med målinger 20
 - 3.4.1 Luftkoncentrationer 20
 - 3.4.2 Deposition 21
- 3.5 Sammenligning med andre modelstudier 21
 - 3.5.1 Luftkoncentrationer 21
 - 3.5.2 Deposition 21

4 Usikkerheder 23

- 4.1 Emissioner 23
- 4.2 Modelantagelser 24

5 Opsummering og konklusion 25

- 5.1 Opsummering og konklusion 25
- 5.2 Anbefalinger 26

6 Referencer 27

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

Sammenfatning

I dette projekt har vi estimeret depositionen af dioxin til Danmark for årene 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 og 2004 samt bidraget til luftkoncentrationer og den deponerede mængde fra danske kilder i forhold til andre europæiske kilder. Estimatet er udregnet ud fra modelkørsler med den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM, hvor dioxin er modelleret som et stof på partikelform. Som input til modellen er benyttet to forskellige emissionsestimer fra EMEPs MSC-E, baseret på ekspertvurderinger. Fra 1990 og frem er der stor forskel på emissionerne i de to estimater for nogle lande, hvilket også påvirker de modellerede depositioner. Det har ikke været muligt at afgøre hvilket estimat, der er det mest realistiske.

Frem til 1980 er både luftkoncentrationer og depositioner svagt stigende, hvorefter de falder frem til 2004. De modellerede luftkoncentrationer er i 2004 hhv. 3,2 fg I-TEQ/m³ og 0,8 fg I-TEQ/m³ for de to emissionsestimer. Den deponerede mængde dioxin til danske landområder er estimeret til hhv. 36 g I-TEQ og 9 g I-TEQ for de to emissionsestimer for 2004.

Det relative bidrag fra de danske kilder til dioxindepositionen til danske landområder udgør hhv. 14% og 15% for de to emissionsestimer for 2004. På trods af store forskelle i emissioner og i modellerede luftkoncentrationer og depositioner mellem de to benyttede emissionsestimer er der ikke så store forskelle på de estimerede relative bidrag fra danske kilder til depositionen i Danmark. Det skønnes at danske kilder bidrager med 10% til 20% til depositionen til danske landområder, dog med store regionale variationer, fra under 5% til over 40%. Der skal dog tages forbehold for at der er kilder der ikke er medtaget i dette studie, eksempelvis kilder udenfor Europa samt re-emission fra tidligere deponeret dioxin, der potentielt kan give store bidrag til depositionen.

Det er vanskeligt at vurdere resultaternes troværdighed. Dels er der benyttet en forsimplet modelopsætning, dels er der væsentlige usikkerheder på de benyttede emissionsestimer. Endelig stemmer de modellerede værdier, ikke overens med danske målinger. De modellerede luftkoncentrationer er en størrelsesorden mindre end de målte luftkoncentrationer, mens de modellerede depositioner også er mindre, men af samme størrelsesorden, end den estimerede deposition ud fra målinger. Forskellen mellem modellerede og målte koncentrationer og depositioner kunne indikere 1. at modelforudsætningerne ikke holder, 2. at der er kilder der ikke er taget med i emissionsestimerne, eller 3. at de eksisterende kilder er for lave. Det er interessant at bemærke at der er mindre forskel på målte og modellerede depositioner end der er på målte og modellerede koncentrationer.

Summary

We have estimated the deposition of dioxin in Denmark for the years 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 and 2004 as well as the contribution to air concentrations and depositions from Danish sources relative to the contribution from other European sources. The estimate is based on model simulations with the high-resolution atmospheric chemistry-transport model DEHM, where dioxin is modelled as one compound in form of particles. Two different expert emission estimates from EMEP's Meteorological Synthesizing Centre East were used as model input. There are large differences in estimated emissions for some countries from 1990 and onwards, which has a large influence on the simulated depositions. However, it has not been possible to determine which estimate is the most realistic.

The concentrations of dioxin in air as well as the depositions increase slightly up to 1980, from where they decrease until 2004. The simulated air concentrations in 2004 are 3,2 fg I-TEQ/m³ and 0,8 fg I-TEQ/m³ for the two emission estimates. The deposited amount of dioxin to Danish land surfaces are 36 g I-TEQ and 9 g I-TEQ for the two emission estimates for 2004.

The relative contribution from Danish sources to the deposition of dioxin to Danish land surfaces are 14% and 15% for the two emission estimates for 2004. Despite of large differences in emissions and simulated air concentrations and depositions between the two applied emission estimates, the relative contribution of the Danish sources to the deposition in Denmark does not differ much between the two emission estimates. The contribution of Danish sources to the deposition to Danish land surfaces is estimated to be between 10% and 20%, although there is a large regional variation, from less than 5% to more than 40%. It should be kept in mind that there are sources that are not included in this estimate, such as sources outside Europe and re-emission from previously deposited dioxin, which potentially can give a large contribution to the deposition.

It is difficult to determine how trustworthy the model results are, partly because the applied model set-up was simplified and partly due to the large uncertainties on the applied emission estimates. Finally the simulated concentrations and depositions are not in accordance with previously made Danish measurements. The simulated air concentrations are one order of magnitude lower than the measured air concentrations, while the simulated depositions are also lower, but of the same order of magnitude as the deposition estimated from measurements. The difference between simulated and measured concentrations and depositions could indicate either that the model set-up is not adequate, that there are sources not included in the emission estimates, or that the included sources in the emission estimates are too low. It is interesting to notice that the difference between simulated and measured depositions is smaller than the difference between simulated and measured air concentrations.

1 Indledning

1.1 Dioxin

Dioxin er fællesbetegnelsen for en gruppe kemiske stoffer (Engelsk: polychlorinated dibenzo-p-dioxins: PCDDs og polychlorinated dibenzofurans: PCDFs), tilsammen kaldet PCDD/Fs, der består af hhv. 75 og 115 forskellige stoffer med varierende kompleks kemisk sammensætning. Dioxin er svært nedbrydeligt i miljøet, ophobes i fedt og andre organiske materialer, bioakkumuleres i fødekæden og kan have skadelige effekter på dyr og mennesker.

Dioxiner har forskellig grad af skadelighed, nogle er harmløse andre er meget skadelige. Derfor rangordnes de efter skadelighed og koncentrationer angives i såkaldte toksicitetsækvivalenter (TEQ) i forhold til den mest skadelige dioxin (2,3,7,8-TCDD). På den måde bliver koncentrationen omregnet til fiktive koncentrationer af 2,3,7,8-TCDD, hvilket simplificerer præsenteringen af måle- og modelresultater. Den internationale TEQ enhed (I-TEQ) består af bidrag fra de 17 mest skadelige dioxiner og anvendes generelt til at angive koncentrationer i luft, vand og jord.

1.2 Kilder

Dioxin produceres ikke tilsigtet, men dannes som biprodukter ved en række forbrændingsprocesser, f.eks. i forbindelse med affaldsforbrænding, kraftværker, opvarmning og transport. Dioxin kan også dannes ved forskellige kemiske processer med klor og findes derfor som biprodukt i klorholdige kemikalier. Langt hovedparten af dioxinudslip sker til atmosfæren.

Dioxinemissionen i Danmark er faldet stødt i de seneste to årtier. Fra 1990 til 2004 faldt emissionen af dioxin med 68% (Henriksen et al., 2006). Dette skyldes i særdeleshed store reduktioner i emissionen fra industrielle kilder og fra affaldsforbrænding på grund af strammere miljøregulering. Samtidig er der sket en ændring i sammensætning af de mest betydningsfulde kilder. I 1990 var de største kilder affaldsforbrænding og industrielle kilder, hvor det i 2004 var forbrænding af træ i husholdninger (40%) og ildebrande (28%) (Henriksen et al., 2006).

1.3 Egenskaber

Dioxin kan hurtigt spredes gennem atmosfæren både til de nærmeste omgivelser og over lange afstande. Dioxin bliver transporteret med vinden og afsat direkte eller med nedbør på f.eks. en jord-, plante- eller vandoverflade, hvor de kan blive optaget i fødekæden og bioakkumulere. De fysisk-kemiske egenskaber af dioxinerne gør at de kan findes på både gasform og bundet til partikler i luften. Fordelingen mellem de to tilstandsformer er blandt andet afhængig af temperaturen, således at der ved høje temperaturer er en højere andel på gasform og ved lave tempe-

raturer er en højere andel på partikelform. Der kan ske en gentagen omfordeling mellem de to tilstande, f.eks. som følge af temperaturændringer. Gas- og partikelformen transporteres forskelligt gennem atmosfæren. Dioxin på partikelform afsættes hurtigere til overfladen end dioxin på gasform gør. For det første fordi dioxin på gasform ikke er særligt vandopløseligt og dermed ikke nemt bliver optaget i vanddråber, hvorimod partikler bliver mere effektivt udvasket af atmosfæren med nedbør. For det andet er tørdepositionen af partikler mere effektiv, da depositionen af dioxin på gasform afhænger af den allerede eksisterende koncentration i overflademediet. Hvis overflademediet har en høj koncentration i forhold til luften, eksempelvis på grund af tidligere afsat dioxin kan der i stedet for afsætning fra luften blive afgivet dioxin på gasform til luften. Denne proces vanskeliggør estimeringen af afsætningen af dioxin til overfladen.

1.4 Atmosfærens betydning for dioxinoptaget i fødekæden

Mennesker optager dioxin gennem føden. Mælk og andre mejeriprodukter udgør en væsentlig kilde til dioxinoptaget. Den atmosfæriske deposition til græsningsarealer er estimeret til at være seks gange højere end indholdet i mælk fra de græssende køer på arealerne (Vikelsøe et al., 2006). En anden kilde til dioxin i mennesker er fra fede fisk, og høje dioxinindhold i laks og sild fra dele af Østersøen har medført begrænsninger i fangst og salg af disse fisk. Hovmand et al. (2007) estimerede ud fra den målte årlige middeldeposition i kystnære områder i Danmark at den deponerede mængde dioxin på et år er 50 gange højere end den mængde der akkumuleres i den årlige biomasse produktion i den vestlige del af Østersøen. Den atmosfæriske deposition er således potentielt et væsentligt bidrag til det menneskelige optag af dioxin fra føde fra både land og vand.

1.5 Projektets formål

Dette projekt er udført efter aftale med Miljøstyrelsen. Projektets formål var at estimere depositionen af dioxin i Danmark samt at vurdere hvor stor en del af depositionen der stammer fra udenlandske kilder i forhold til hvor stor del der stammer fra danske kilder. Det var aftalt at estimere depositionen for årene 1980, 1990, 2000 og 2004 baseret på den samme meteorologi (2004) ved at benytte den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM og lave et forsimplet estimat, hvor dioxin blev modelleret som ét stof på partikelform. Som input til modellen skulle tilgængelige ekspert-emissionsestimater fra EMEP (Co-operative program for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe) med en rumlig opløsning på 50km X 50km benyttes. Projektet var afgrænset af at der ikke kunne bruges ressourcer på at opstille detaljerede emissionsscenarier for Danmark med høj rumlig opløsning. Dette betyder at de beregnede depositioner fra danske kilder ikke har en høj detaljeringsgrad (50 km frem for 16.7 km), men transportmodellen beregner dog stadig koncentrationer og depositioner med en højere opløsning (16.7km) og bruger meteorologi med samme fine opløsning. Det er kun emissioner, som er grovere end detaljeringsgraden i modellen. Det var angivet at depositionsestimatet vil være behæftet med væ-

sentlige usikkerheder. Først og fremmest er emissionsestimerne usikre på grund af den grove opløsning, jvf. ovenstående. Antagelsen om at dioxin kan beskrives som ét stof på partikelform i stedet for 17 separate stoffer med forskellige fysisk-kemiske egenskaber der kan være på både gasform og partikelform vil også bidrage til usikkerheden af depositionsestimatet.

Vi har suppleret med udregninger af depositionen for årene 1970, 1975, 1985, og 1995 da input dataene var let tilgængelige. Vi har benyttet to emissionsestimer, da et opdateret emissionsestimat blev tilgængeligt i løbet af projektets forløb. Det var ikke muligt at supplere EMEPs emissionsestimer med yderligere data fra Danmark.

Vi har sammenlignet de modellerede koncentrationer og depositioner med målinger fra det danske dioxin måleprogram samt med modelresultater fra EMEPs Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E). Resultaterne fra MSC-E blev publiceret efter projektformuleringen.

1.6 Definitioner

Når der i det følgende omtales emissioner, koncentrationer og depositioner er der tale om årsmiddelværdier for det omtalte år. Omtale depositioner henviser til summen af tørdeposition og våddeposition. Europæiske kilder henviser til kilder fra EMEP området fraregnet de danske kilder.

2 Modelopsætning

2.1 Model

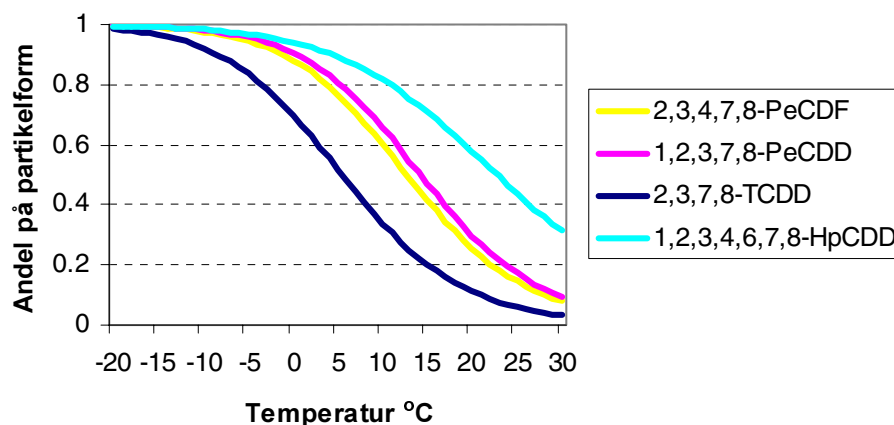
I dette projekt har vi benyttet den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM (den Danske Eulerske Hemisfæriske Model) til at estimere depositionen af dioxin i Danmark. Denne transportmodel bruges i en række projekter, bl.a. i det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA) til at beregne atmosfærisk deposition af kvælstof til Danmark og de danske farvande, og den har været brugt i det internationale AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Program) program.

DEHM dækker den nordlige hemisfære med en horisontal opløsning på 150 km x 150 km. Der er implementeret flere såkaldte 'nest', der gør at man kan lave simuleringer med en højere opløsning for et afgrænset område. I dette projekt er der benyttet to nest, et der dækker Europa og er sammenfaldende med EMEP området med en horisontal opløsning på 50 km x 50 km, og et der dækker Danmark med en horisontal opløsning på 16,7 km x 16,7 km.

2.2 Modelopsætning

2.2.1 Antagelse om tilstandsform af dioxin

For at gøre det muligt at lave et depositionsestimat indenfor rammerne af projektet har vi modelleret dioxin som ét stof på partikelform. Denne antagelse ser bort fra at der er tale om 17 forskellige stoffer, hver med deres specielle egenskaber der gør, at deres fordeling mellem partikel- og gasform er forskellig. Ifølge tidligere målte luftkoncentrationer er de fire største bidragsydere til I-TEQ koncentrationen af dioxiner i luften i Danmark 2,3,4,7,8-PeCDF (som bidrager med 25-30% af den samlede målt I-TEQ koncentration af dioxiner), 1,2,3,7,8-PeCDD (15-20%), 2,3,7,8-TCDD (5-10%) og 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (5-10%) (Vikelsøe et al., 2005). I Figur 2.1 er angivet andelen af disse fire dioxiner på partikelform i temperaturintervallet -20°C til 30°C, udregnet ved brug af K_{oa} metoden (Harner og Bidleman, 1998) med estimater af K_{oa} udregnet fra Harner et al. (2000). Danmark har en månedsmiddeltemperatur på mellem 0°C og 15,7°C grader. Vintermiddeltemperaturen i Danmark er på ca. 0,5°C, hvorved mellem 70% og 90% af disse fire stoffer er på partikelform. Andelen af dioxiner på gas-form vil derfor være af mindre betydning i vintermånederne hvor også hovedparten af emissionerne formentlig kommer. Til gengæld må beregnede koncentrationer og depositioner for højere temperaturer, eksempelvis i sommermånederne i Danmark og i de sydeuropæiske lande, tages med et vist forbehold.



Figur 2.1. Andelen på partikelform som funktion af temperaturen af de fire største bidragsydere til målte I-TEQ koncentrationer af dioxin i luft i Danmark. Andelen er udregnet ved brug af K_{oa} metoden (Harner og Bidleman, 1998) med estimer af K_{oa} udregnet fra Harner et al. (2000).

Det antages at de partikler som dioxin er forbundet med har en størrelse på 1 μm . Dette svarer til størrelsen på sulfatpartikler, som også typisk dannes i forbindelse med de forbrændingsprocesser dioxin udledes ved. Ved målinger af partikulært dioxin ved en baggrundsstation i Tyskland fandt Kaupp et al. (1994) at 90% af den målte dioxin var associeret med partikler $<1.35 \mu\text{m}$, heraf en betydelig del associeret med partikler $<0.45 \mu\text{m}$.

2.3 Input

Til simuleringer med DEHM modellen benyttes forskellige input data: meteorologiske data og emissionsdata.

2.3.1 Meteorologi

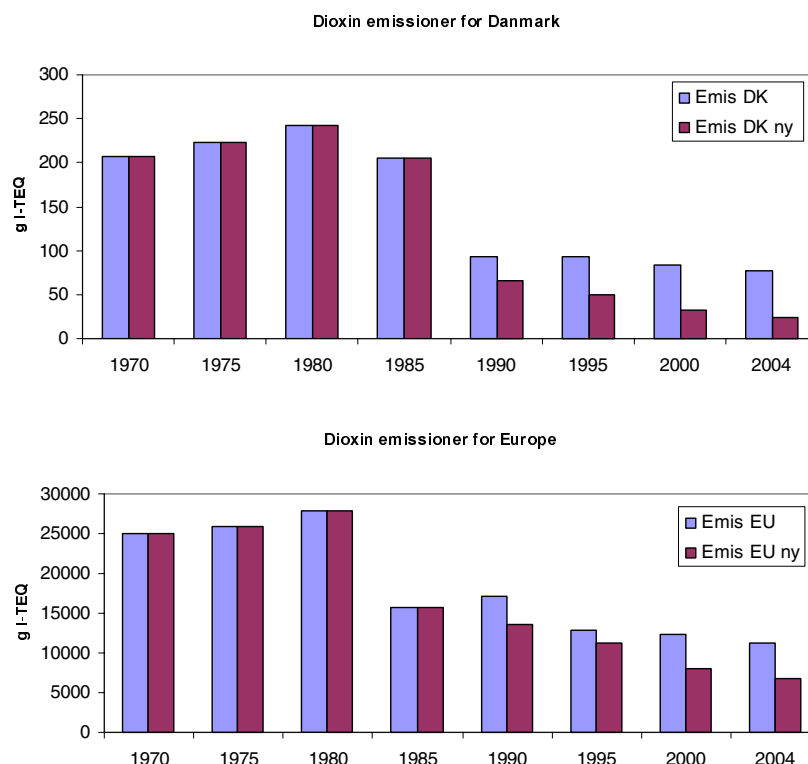
DEHM drives af meteorologiske data fra en vejrprognosemodel baseret på globale analyser fra National Centres for Environmental Prediction (NCEP). I dette projekt er meteorologiske data fra 2004 blevet anvendt til alle modelkørsler. Ved at anvende meteorologiske data fra det samme år til at lave beregninger med emissioner fra forskellige år kan man vurdere, hvordan emissionerne fra de forskellige år påvirker luftkoncentrationen og depositionen til overfladen uden at resultaterne er påvirket af den anvendte meteorologi for forskellige år.

2.3.2 Emissioner

Som input til modellen har vi benyttet de tilgængelige emissionsestimer fra EMEP med en horisontal opløsning på 50km x 50km. Disse emissionsdata er ekspertestimer fra EMEPs Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E), og de dækker perioden 1970-2004 med 1-5 års intervaller. Estimerne består af officielle data rapporteret til EMEP suppleret med ekspertestimer for de lande og for de perioder hvor der ikke er tilgængelige data (Gusev et al., 2006). 33 lande har rapporteret emissionsestimer for mindst et år, men kun 17 lande har rapporteret data med en rumlig fordeling i landet (Gusev et al., 2006). For de reste-

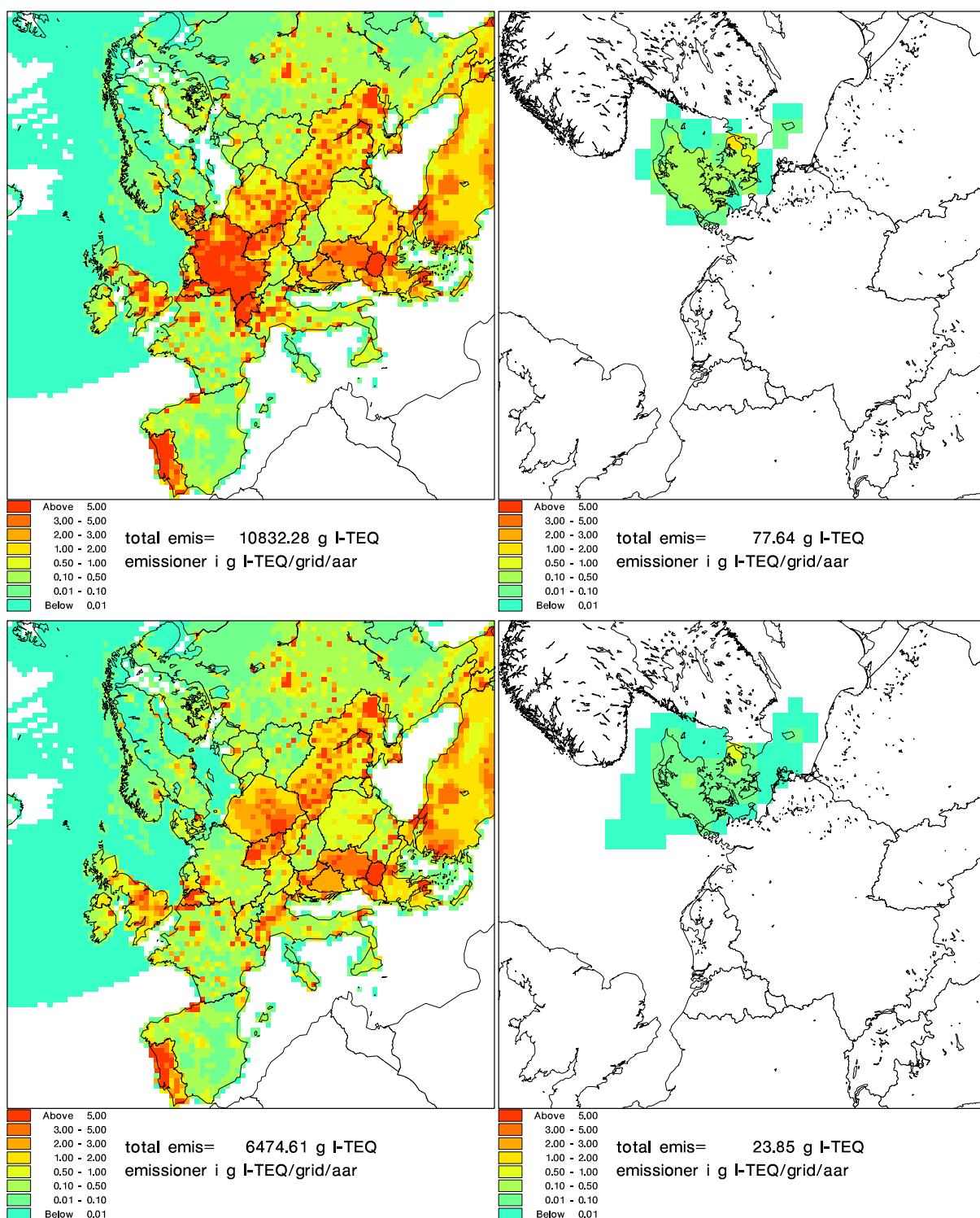
rende lande (heriblandt Danmark) er der foretaget en rumlig fordeling af emissionerne ud fra en ekspertvurdering (Gusev et al., 2006).

MSC-E har produceret to forskellige versioner af disse ekspertestimater. Det ene er benyttet i de årlige evalueringsrapporter af POP-forureningen i Europa til og med år 2006 (Gusev et al., 2006), hvorimod der i rapporten fra 2007 (Gusev et al., 2007) er benyttet et andet sæt emissionsestimater. Emissionsestimaterne i de to datasæt er ens frem til 1985, mens der fra 1990 og frem er lavere emissioner for en række lande i det nye estimat, særligt for Danmark, Tyskland og Schweiz, men også for Sverige, Storbritannien og Italien (Figur 2.2). Emissionen er desuden fordelt anderledes i de enkelte lande (Figur 2.3).



Figur 2.2. Den totale dioxinemission for Danmark (øverst) og for hele Europa (nederst) for to ekspertestimater fra EMEP MSC-E. Data fra Gusev et al. (2006;2007)

I det nye estimat er emissionen fra Danmark i 2004 en tredjedel af emissionen i det gamle estimat (Figur 2.2). For Danmark stemmer det nye estimat for år 2004 (23,9 g I-TEQ) godt overens med det officielle emissionsestimat på 22,0 g I-TEQ fra Henriksen et al., (2006). Den lille forskel mellem det nye estimat og de officielle danske estimat skyldes formentlig at EMEP dataene også inkluderer emissioner fra vandområder (Figur 2.3). Det er bemærkelsesværdigt at emissionerne fra Tyskland i 2004 er 'faldet' fra 3277,1 g I-TEQ i det gamle datasæt til 74,0 g I-TEQ i det nye. Det antages at de nye MSC-E emissionsestimater er mere korrekte end de gamle (Alexei Gusev, personlig kommunikation), men det har ikke været muligt at få en uvildig vurdering af dette indenfor rammerne af projektet. Vi har derfor valgt at benytte begge emissionsestimater i dette projekt, da det ikke har været muligt at vurdere hvilket estimat der er det mest korrekte.



Figur 2.3. Den rumlige fordeling af emissioner for 2004 for det gamle emissionsestimater (øverst) og det nye emissions-estimat (nederst) for hele Europa (venstre) og for Danmark (højre). Bemærk at den rumlige opløsning på figurerne til venstre er 50 km x 50 km, mens den på figurerne til højre er 16,7 km x 16,7 km. Da figurerne viser emissionen pr. gittercelle pr. år har gittercellerne over Danmark forskellige farver. Emissioner fra Gusev (personlig kommunikation).

Emissionerne er leveret i et 50 km x 50 km gitter, der dækker EMEP området med ét tal for den samlede emission for hvert år i hver gittercelle. Afhængig af kilden slippes dioxin ud i forskellige højder i atmosfæren. Udslippet fra forbrændingsanlæg sker typisk fra høje skorstene, mens udslip fra brande bliver frigivet ved overfladen. Officielle emissions-estimer er opgivet på såkaldte snap-kategorier, der så kan slippes ud i forskellige højder i modellen. I dette projekt har vi fordelt ekspertestima-

terne fra MSC-E på snap kategorier ud fra hvordan de officielle estimer fra 1995 var fordelt i middel i Europa.

Emissionsestimerne er opgivet som totale årlige emissioner uden angivelser af sæsonvariationer, og det har ikke været muligt indenfor rammerne af projektet at udvikle årstidsvariationer der afspejler den reelle årstidsvariation for de enkelte sektorer. Derfor er emissionerne i modelkørslerne fordelt ligeligt over hele året.

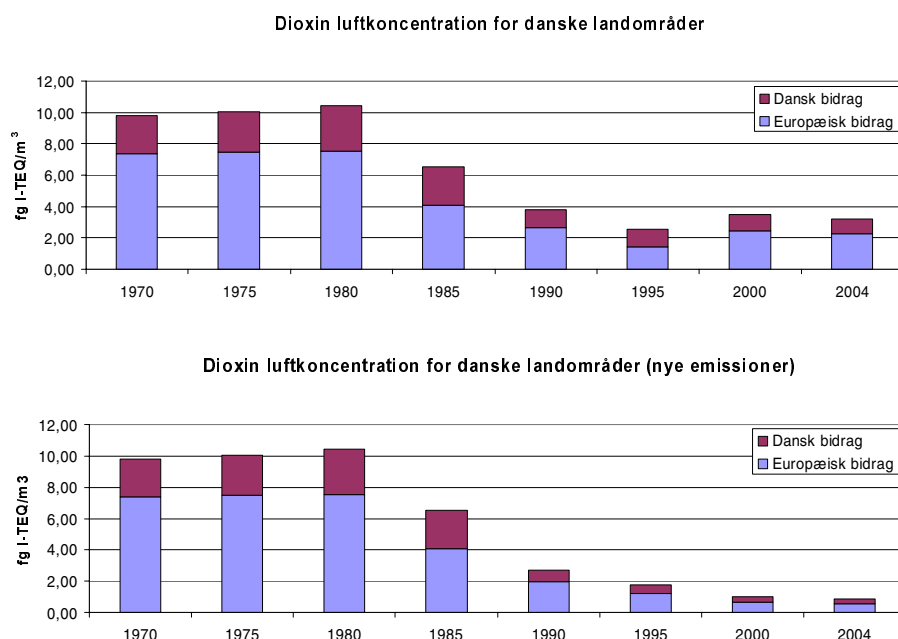
3 Resultater

3.1 Resultater

Der er lavet modelsimuleringer med modelsystemet for årene 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 og 2004 med de to EMEP emissionsestimater. Fra disse simuleringer er udtrukket årlige midler af luftkoncentrationer og depositioner over danske landområder og farvande.

3.2 Luftkoncentrationer

I modellen er middelkoncentrationen over henholdsvis de danske landområder og de danske farvande udregnet. Luftkoncentrationen i Danmark var let stigende frem til 1980, hvorefter den faldt frem til 2004 (Figur 3.1). Der er lidt forskel på de to emissionsdatasæt. Med det nye emissionsestimat faldt koncentrationen gennem hele perioden 1990-2004, hvorimod den laveste koncentration findes i 1995 med det gamle emissionsestimat (Figur 3.1). Det skyldes et meget lavt bidrag fra europæiske kilder i dette år. I 2004 var den modellerede luftkoncentration udregnet med det gamle emissionsestimat ca. fire gange højere end luftkoncentration udregnet med det nye (Tabel 3.1). Koncentrationen er opdelt på et bidrag fra danske kilder og et bidrag fra kilder fra andre europæiske lande. Bidraget til de danske luftkoncentrationer fra resten af Europa er ca. dobbelt så stort som bidraget fra de danske kilder (Tabel 3.1).



Figur 3.1. Luftkoncentrationen af dioxin over landområder i Danmark fra danske kilder (rød) og fra kilder i resten af Europa (blå) for det gamle emissionsestimat (øverst) og for det nye (nederst).

Tabel 3.1 Modellerede dioxin-middelluftkoncentrationer (fg I-TEQ/m³) over danske landområder totalt samt procentvis bidrag fra henholdsvis danske og europæiske kilder for de to emissionsdatasæt.

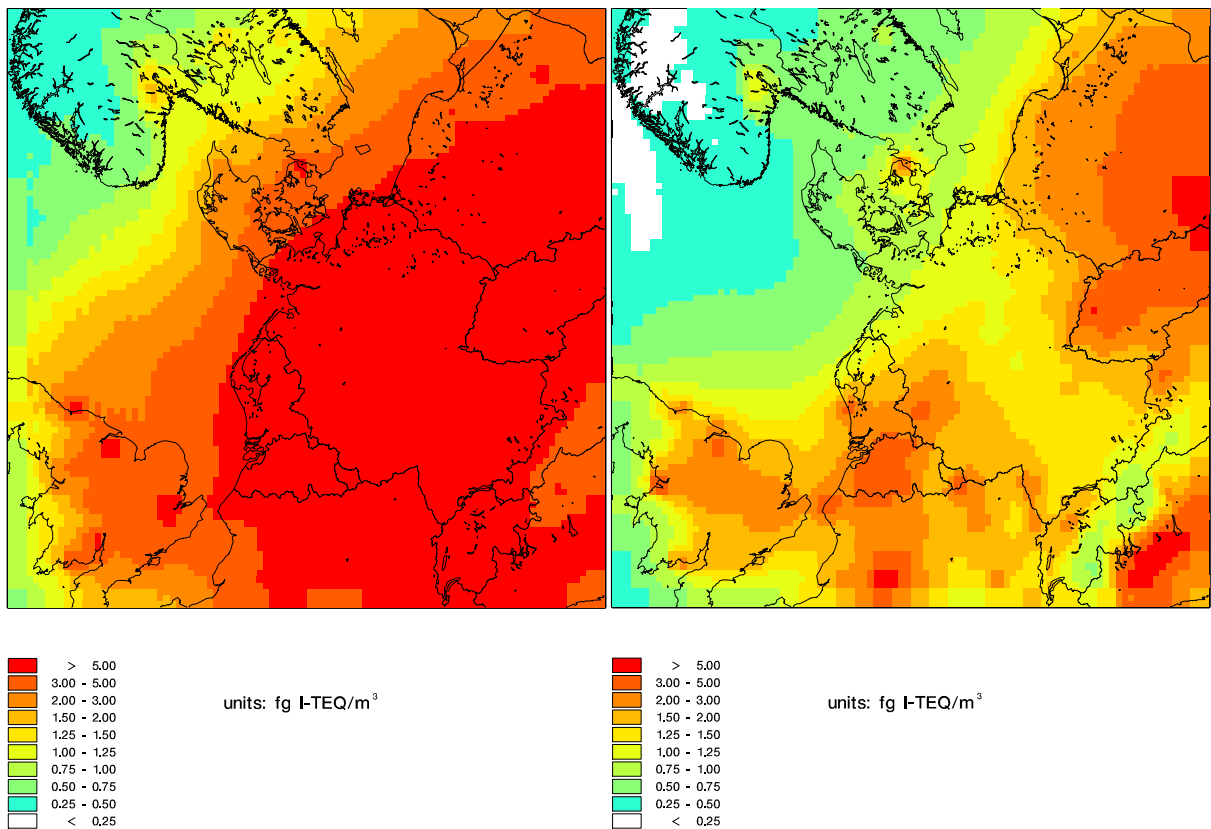
	Koncentration i luft over DK (gammel)	Procentvis bidrag fra danske kilder (gammel)	Procentvis bidrag fra andre europæiske kilder (gammel)	Koncentration i luft over DK (ny)	Procentvis bidrag fra danske kilder (ny)	Procentvis bidrag fra andre europæiske kilder (ny)
1970	9,8	24	76	9,8	24	76
1975	10,0	25	75	10,0	25	75
1980	10,4	28	72	10,4	28	72
1985	6,5	38	62	6,5	38	62
1990	3,8	30	70	2,7	27	73
1995	2,6	45	55	1,8	31	69
2000	3,5	30	70	1,0	36	64
2004	3,2	30	70	0,8	33	67

Det absolutte bidrag fra danske kilder til koncentrationerne over landområder i Danmark er ca. dobbelt så højt som det absolutte bidrag til koncentrationerne over de danske farvande (ikke vist). Det absolutte koncentrationsbidrag fra europæiske kilder til danske landområder og farvande er næsten ens.

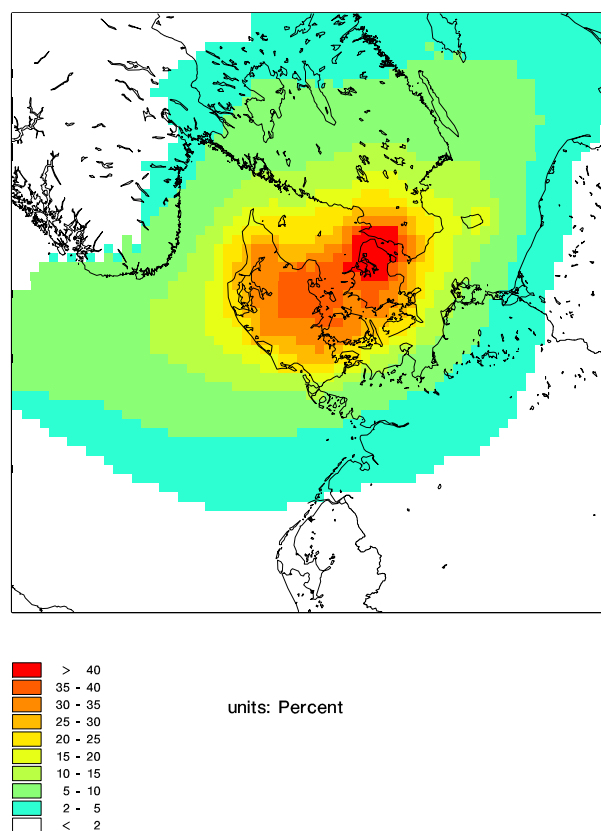
Kigger man på fordelingen af modellerede middelluftkoncentrationer i Europa kan man se, at de er højest over de største kildeområder, eksempelvis Tyskland, Belgien og Østeuropa (Figur 3.2). Kigger man på forskellen mellem de modellerede luftkoncentrationer fra de to emissionsestimater kan man se at der er en betydelig effekt af den reducerede emission fra tyske kilder på de modellerede koncentrationer i Danmark (Figur 3.2).

De danske kilder bidrager med 24-45% af de modellerede dioxinmiddelluftkoncentrationer over landområder i Danmark for det gamle emissionsestimat og med 24-38% for det nye (Figur 9). Ser man bort fra 1995 er det relative bidrag fra de danske kilder højere for det nye emissionsestimat end for det gamle, hvilket skyldes at emissionen fra Tyskland er meget mindre i det nye estimat end i det gamle.

Det danske bidrag til middelluftkoncentrationerne er generelt ligeligt fordelt over Danmark undtagen for udkantsområder (Figur 3.3). For 2004 er middelbidraget over danske landområder 33%.



Figur 3.2. Den rumlige fordeling af luftkoncentrationen af dioxin i Nordeuropa for 2004 for det gamle emissionsestimat (venstre) og det nye emissionsestimat (højre).



Figur 3.3. Andelen af middelluftkoncentrationen af dioxin fra danske kilder i 2004

3.3 Deposition

Deposition inkluderer både tør- og våddeposition, og den er beregnet til henholdsvis landområder og farvande. Våddepositionen udgør ca. 90% af den samlede deposition. Den årlige middeldeposition til både landområder og farvande i Danmark følger samme mønster som de årlige middelluftkoncentrationer. Middeldepositionen til de danske farvande er generelt lavere end depositionen til landområder (Tabel 3.2).

Bidraget fra danske kilder til depositionerne til landområder i Danmark er ca. dobbelt så højt som bidraget til depositionerne til de danske farvande, mens bidraget til danske landområder og til de danske farvande fra kilder fra resten af Europa er næsten ens. De europæiske kilder bidrager med en faktor 5 til 6 mere til depositioner over danske landområder end de danske kilder gør, mens det europæiske bidrag til de danske farvande er ca. 10 gange højere end det danske (Tabel 3.2, 3.3).

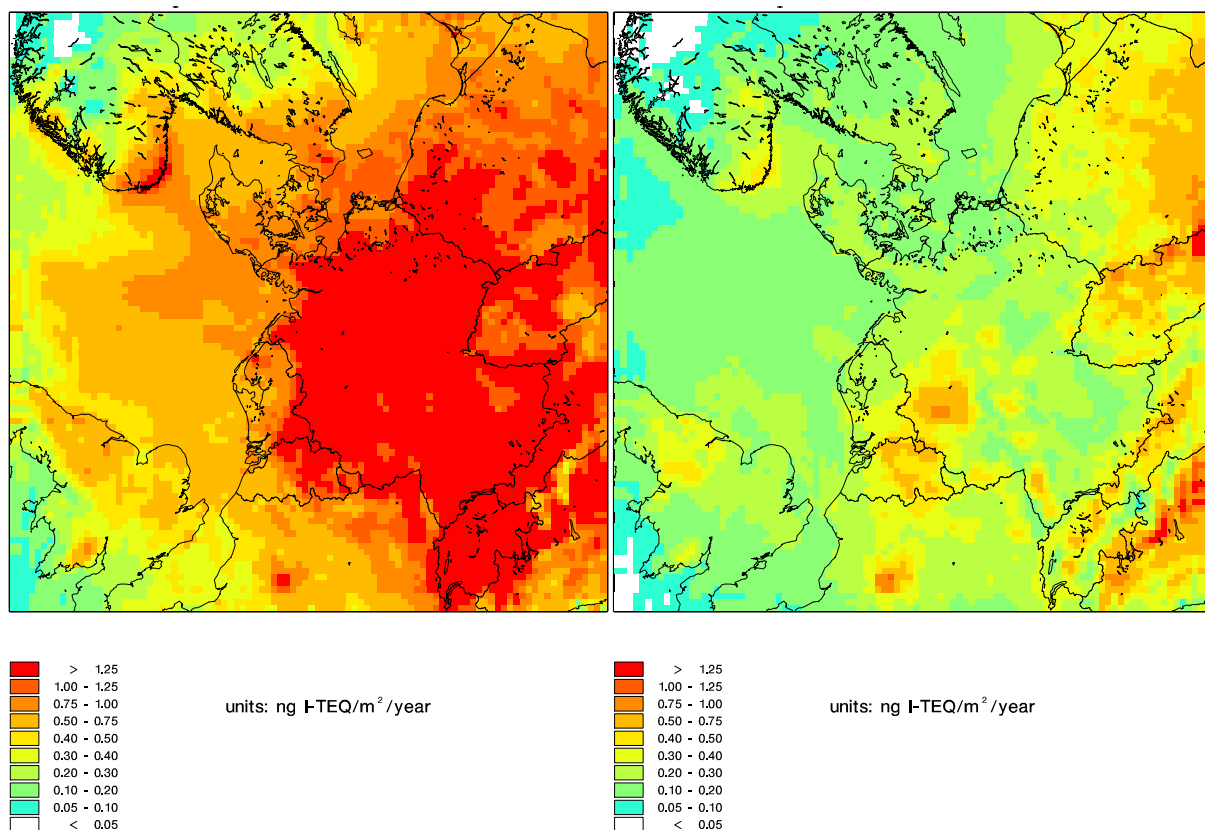
Middeldepositionen i Europa fordeler sig i nogen grad ligesom middelluftkoncentrationerne med største depositioner over store kildeområder. Depositionerne til Danmark er mere jævnt fordelt end luftkoncentrationerne og der er stor forskel på de modellerede værdier for de to emissionsestimater (Figur 3.4).

Tabel 3.2 Modellerede årlige dioxin-depositioner pr. kvadratmeter (ng I-TEQ/m²) samt totale deposition (g I-TEQ) til landområder i Danmark samt procentvise bidrag fra henholdsvis danske og europæiske kilder for de to emissionsdatasæt.

	Deposition land DK (gammel) ng I-TEQ m ⁻²	Deposition land DK (gammel) g I-TEQ	Procentvis bidrag fra danske kilder (gammel)	Procentvis bidrag fra europæiske kilder (gammel)	Deposition land DK (ny) ng I-TEQ m ⁻²	Deposition land DK (ny) g I-TEQ	Procentvis bidrag fra danske kilder (ny)	Procentvis bidrag fra europæiske kilder (ny)
1970	2.6	113	11	89	2.6	113	11	89
1975	2.6	113	11	89	2.6	113	11	89
1980	2.8	119	12	88	2.8	119	12	88
1985	1.5	65	19	81	1.5	65	19	81
1990	1.2	51	11	89	0.9	37	10	90
1995	0.7	32	18	82	0.6	24	11	89
2000	0.9	40	13	87	0.3	12	14	86
2004	0.8	36	14	86	0.2	9	15	85

Tabel 3.3 Modellerede årlige dioxin-depositioner pr. kvadratmeter (ng I-TEQ/m²) samt totale deposition (g I-TEQ) til danske farvande samt procentvise bidrag fra henholdsvis danske og europæiske kilder for de to emissionsdatasæt.

	Deposition vand DK (gammel) ng I-TEQ m ⁻²	Deposition vand DK (gammel) g I-TEQ	Procentvis bidrag fra danske kilder (gammel)	Procentvis bidrag fra europæiske kilder (gammel)	Deposition vand DK (ny) ng I-TEQ m ⁻²	Deposition vand DK (ny) g I-TEQ	Procentvis bidrag fra danske kilder (ny)	Procentvis bidrag fra europæiske kilder (ny)
1970	2.4	267	5	95	2.4	267	5	95
1975	2.4	264	6	94	2.4	264	6	94
1980	2.5	275	6	94	2.5	275	6	94
1985	1.3	143	10	90	1.3	143	10	90
1990	1.1	121	5	95	0.8	86	5	95
1995	0.6	71	9	91	0.5	55	6	94
2000	0.9	94	6	94	0.2	27	8	92
2004	0.8	84	6	94	0.2	21	8	92

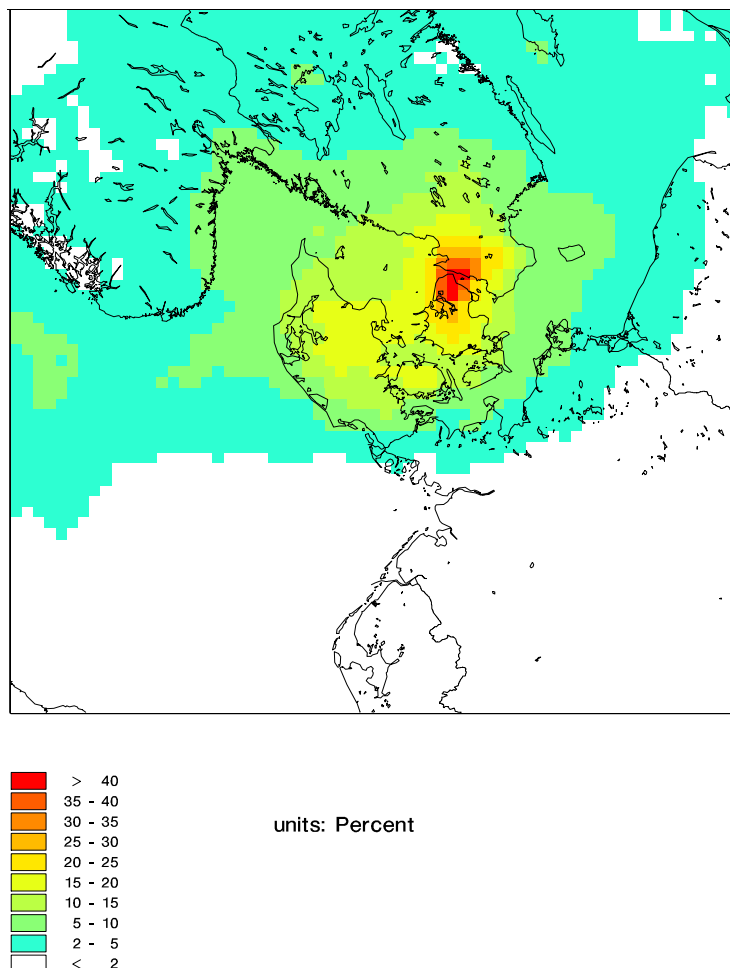


Figur 3.4. Middeldepositionen af dioxin i 2004 over Nordeuropa for det gamle emissionsestimat (venstre) og for det nye emissionsestimat (højre).

De danske kilder bidrager med 10-19% af de modellerede dioxindepositioner til landområder i Danmark for både det gamle og det nye emissionsestimat (Tabel 3.2). Det relative bidrag fra de danske kilder er højere for det nye end for det gamle estimat af samme årsag som for luftkoncentrationen.

Modsat middelluftkoncentrationen er det danske bidrag til middeldepositionen mere ujævnt fordelt i Danmark. De danske kilder bidrager i 2004 i middel med 15% af den modellerede dioxindeposition til landområder i Danmark for det nye emissionsestimat, hvorimod bidraget i enkelte områder er højere end 40% (Figur 3.5).

På trods af store forskelle i emissioner og i modellerede luftkoncentrationer og depositioner mellem de to benyttede emissionsestimater er der ikke så store forskelle på de estimerede relative bidrag fra danske kilder. Det skønnes at danske kilder bidrager med 10% til 20% til depositioner, dog med store regionale variationer.



Figur 3.5. Andelen af middeldepositionen af dioxin hidrørende fra danske kilder i 2004.

3.4 Sammenligning med målinger

Mellem 2001 og 2005 blev der foretaget en række målinger af luftkoncentrationen og bulk-depositionen (våddeposition med åben tragt) af dioxin i København, Frederiksborg, Ulborg og på Bornholm (Vikelsøe et al., 2006, Hovmand et al., 2007).

3.4.1 Luftkoncentrationer

Dioxinkoncentrationen blev målt i luft i Frederiksborg og i København mellem februar 2002 og april 2005 (Vikelsøe et al., 2006). Selvom 2005 ikke er modelleret, er de målte koncentrationer medtaget her, da de ikke er væsentligt forskellige fra de målte værdier fra 2002-2004. Den målte middelluftkoncentration for disse stationer var 20 fg I-TEQ/m³. Højeste koncentrationer er målt om vinteren (34 fg I-TEQ/m³ i middel for de to stationer), hvilket stemmer overens med at den største kilde er forbrænding af træ i husholdninger, som må antages at være størst om vinteren.

De målte middelkoncentrationer af dioxin i luft er ca. en størrelsesorden højere end begge modelestimaterne for 2004 (hhv. 3,2 fg I-TEQ/m³ og 0,8 fg I-TEQ/m³). Dette kunne indikere, at modelforudsætningerne ikke holder, at der er kilder der ikke er taget med i emissionsestimaterne, eller at de eksisterende kilder er for lave.

3.4.2 Deposition

Bulk-depositionen af dioxin blev målt ved Frederiksborg, København, Ulborg og på Bornholm mellem november 2001 og maj 2005 (Vikelsø et al., 2006, Hovmand et al., 2007). Den målte middeldeposition fra Frederiksborg, Ulborg og Bornholm for 2002-2004 er 1 ng I-TEQ/m² (Hovmand et al., 2007). Dette er tæt på den estimerede middeldeposition over land for det gamle emissionsdatasæt (0,8 ng I-TEQ/m²), mens det er en faktor 5 højere end det nye estimat (0,2 ng I-TEQ/m²). Der er kun en lille forskel mellem den målte dioxinmiddeldeposition for de tre stationer, hvilket tolkes som et tegn på, at depositionen primært stammer fra langtransport og dermed kommer fra ikke-danske kilder (Hovmand et al., 2007). Dette bekræfter de modellerede resultater, hvor det danske bidrag er af størrelsesordenen 10% til 20%. Dette bidrag er af samme størrelsesorden som det danske bidrag til depositionen af SO_x på 8% (Ellermann et al., 2007), med hvilken dioxindepositionen korrelerer (Hovmand et al., 2007).

Ud fra gennemsnittet af de målte bulk-depositioner fra Frederiksborg, Ulborg og Bornholm som er 1 ng I-TEQ/m² (Hovmand et al., 2007), kan man estimere den samlede deposition til danske landområder til 42 g I-TEQ pr. år. Dette estimat er tæt på den modellerede deposition for 2004 med det gamle emissionsdatasæt (36 g I-TEQ), mens det er en faktor 4 – 5 højere end det nye estimat (9 g I-TEQ).

3.5 Sammenligning med andre modelstudier

MSC-E har modelleret dioxin-middelluftkoncentrationer og -depositioner for 2005 (Gusev et al., 2007). MSC-E har benyttet en atmosfærisk kemi-transportmodel af samme type som DEHM og det nye emissionsdata, opdateret med år 2005. Fremgangsmåden har dog været forskellig da de har beregnet dioxin som et stof, men både på gasform og partikelform, og de har kørt modellen kontinuert fra 1970 og frem (Gusev et al., 2007).

3.5.1 Luftkoncentrationer

MSC-Es modellerede middelluftkoncentrationer på 1-3 fg I-TEQ/m³ er sammenlignelige med de her modellerede koncentrationer. Det er ikke overraskende da de både har benyttet model af samme type som DEHM og sammenlignelige emissionsdata.

3.5.2 Deposition

Den modellerede deposition for 2005 fra MSC-E modellen ligger på 0,1 – 1,0 ng I-TEQ/m² (Gusev et al., 2007), hvilket er sammenfaldende med de modellerede depositioner i dette studie.

MSC-E modellerer en samlet deposition til Danmark på 23 g I-TEQ for 2005 baseret på det nye emissionsestimat (Gusev et al., 2007). I det estimat er medtaget bidrag fra re-emission fra tidligere deponeret dioxin, hvilket ikke er medtaget i dette projekt. Deposition fra re-emiteret dioxin er udregnet til at bidrage med 47% af det deponeret dioxin til Danmark (Gusev et al., 2007). Af den resterende deposition angives næsten halvde-

len (6.3 g I-TEQ) at stamme fra danske kilder, hvilket er væsentligt højere end det estimerede bidrag fra danske kilder i dette projekt.

Brugen af både gas- og partikelform i MSC-Es transportmodel introducerer en række ikke-lineære processer. Bestemmelsen af bidraget fra et lands kilder kan derfor ikke beregnes som forskellen mellem to modelkørsler, en med og en uden det pågældende lands kilder, da koncentrationer og depositioner fra et lands kilder vil afhænge af tilstedeværelsen af andre kilder i atmosfæren. Det er ikke angivet om MSC-E har taget højde for dette i beregningen af bidraget fra de danske kilder (Gusev et al., 2007), og deres resultater må derfor tages med et vist forbehold.

4 Usikkerheder

Depositionsestimerne er behæftet med væsentlige usikkerheder. Dels er der usikkerheder som følge af de emissionsestimer, der er benyttet i projektet og dels er der usikkerheder som følge af den anvendte modelopsætning.

4.1 Emissioner

Generelt er dioxinemissionsestimer ikke særligt nøjagtige. I en undersøgelse af tre forskellige estimater fandt Breivik et al. (2006), at der for europæiske lande kunne være op til 100% forskel mellem de forskellige estimater. Det skyldes, at der er kilder hvorfra det er svært at estimere aktiviteten og hvor emissionsfaktorer er usikre (Henriksen et al., 2006). For emissionsopgørelser, der indeholder et usikkerhedsinterval, kan der være en forskel på minimums og maksimumsemissionen på en størrelsesorden (Henriksen et al., 2006). Selv for emissionsopgørelser hvor de mest usikre kilder er ekskluderet, kan der være en forskel på minimums- og maksimumsestimatet på en faktor 5 (Henriksen et al., 2006).

Der er benyttet to forskellige emissionsestimer i dette projekt, begge er ekspertestimer fra EMEPs MSC-E. Der er dog stor forskel på disse to estimater. For de danske emissioner er der en forskel på en faktor 3 og for de tyske en forskel på ca. en faktor 40. Dette understreger, hvilken usikkerhed der kan være på bestemmelsen af dioxinemissioner.

Relativt til modellens horisontale opløsning (16.7 km x 16.7 km) har emissionsestimerne en grov opløsning (50 km x 50 km). Dette giver usikkerhed i den beregnede atmosfæriske transport og de deraf afledte depositionsestimer.

Emissionsestimerne er angivet som totale årlige emissioner uden angivelser af sæsonvariationer. I modelkørslerne er emissionerne derfor fordelt ligeligt over året. Denne fordeling er formentlig korrekt for nogle kilder, eksempelvis for emissioner fra affaldsforbrænding. Men for andre kilder, som for eksempel forbrænding af træ i husholdninger der må antages at være størst i vintermånederne, er den brugte fordeling mindre korrekt. Den anvendte re-fordeling på snap-kategorier og dermed på udslipshøjder har også påført usikkerheder på emissionsestimatet.

Indenfor projektets rammer har det ikke været muligt at opstille detaljerede emissionsscenarier for Danmark med høj rumlig og tidslig opløsning, da dette kræver en større arbejdsindsats. Det har ligeledes heller ikke været muligt at afgøre kvaliteten af de benyttede emissionsestimer, da det ikke har været muligt at tilknytte ekspertise indenfor emissionsområdet.

4.2 Modelantagelser

Antagelsen om, at dioxin kan beskrives som ét stof på partikelform i stedet for 17 separate stoffer med forskellige fysisisk-kemiske egenskaber der kan være på både gasform og partikelform, vil også bidrage til usikkerheden af de estimerede koncentrationer og depositioner. Da dioxin på partikelform forventes at deponere hurtigere til overfladen end dioxin på gasform, vil det betyde at depositionen fra danske kilder reelt kan være mindre end den estimerede. Dermed udgør den estimeret deposition fra danske kilder til Danmark et maksimumestimat. Dette kan også gælde for andre kilder tæt på Danmark, f.eks. Tyskland, Polen og Sverige. Til gengæld vil depositionen fra fjernere kilder, som f.eks. fra de største kilder i Europa Frankrig og Tjekkiet sandsynligvis være underestimeret, da dioxin på gasform kan være transporteret til Danmark og afsat her. Da der er tale om ikke-lineære processer er det ikke til at vurdere om depositionen fra udenlandske kilder samlet set vil være over- eller underestimeret som følge af antagelsen af, at dioxin er behandlet som et stof på partikelform.

Med antagelsen af at dioxin i modellen kan beskrives som et stof på partikelform er der også set bort fra eventuelle re-emissioner af dioxin på gasform fra tidligere deponeret dioxin. Da dioxin er svært nedbrydeligt i miljøet og dermed har lange levetider kan der ophobes dioxin i f.eks. jord og vand. I perioder med faldende emissioner og deraf afledte faldende luftkoncentrationer kan disse blive frigivet til atmosfæren igen, blive transporteret videre og afsat et nyt sted. I MSC-Es modelstudie er bidraget fra re-emissioner til depositionen i Danmark i 2005 udregnet til at udgøre næsten halvdelen af den deponerede mængde (Gusev et al., 2007).

Kilder udenfor EMEP området er ikke medtaget i beregningerne. Dioxin har potentialet til at blive transporteret langt væk fra kilderne og det er sandsynligt at kilder i Nordamerika eller Asien kan bidrage til luftkoncentrationer og depositioner i Europa. Men kilder udenfor Europa kan næppe forklare den manglende størrelsesorden i de model-estimerede luftkoncentrationer i forhold til de foretagne målinger.

5 Opsummering og konklusion

5.1 Opsummering og konklusion

I dette projekt har vi estimeret depositionen af dioxin til Danmark for årene 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 og 2004 samt bidraget til den deponerede mængde fra danske kilder i forhold til andre europæiske kilder. Estimatet er udregnet ud fra modelkørsler med den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM, hvor dioxin er modelleret som et stof på partikelform. Som input til modellen er benyttet to forskellige emissionsestimer fra EMEPs MSC-E, der er baseret på ekspertvurderinger. Fra 1990 og frem er der stor forskel på emissionerne i de to estimater for nogle lande, hvilket også påvirker de modellerede depositioner. Det har ikke været muligt at afgøre, hvilket estimat der er det mest realistiske og begge er benyttet i dette projekt.

Frem til 1980 er både luftkoncentrationer og depositioner svagt stigende, hvorefter de falder frem til 2004. De modellerede luftkoncentrationer er i 2004 hhv. 3,2 fg I-TEQ/m³ og 0,8 fg I-TEQ/m³ for de to emissionsestimer. Den deponerede mængde dioxin til danske landområder er estimeret til hhv. 36 g I-TEQ og 9 g I-TEQ for de to emissionsestimer for 2004.

Det relative bidrag fra de danske kilder til dioxindepositionen til danske landområder udgør hhv. 14% og 15% for de to emissionsestimer for 2004. På trods af store forskelle i emissioner og i modellerede luftkoncentrationer og depositioner mellem de to benyttede emissionsestimer er der ikke så store forskelle på de estimerede relative bidrag fra danske kilder til depositionen i Danmark. Det skønnes at danske kilder bidrager med 10% til 20% til depositionen til danske landområder, dog med store regionale variationer, fra under 5% til over 40%. Der skal dog tages forbehold for at der er kilder der ikke er medtaget i dette studie, eksempelvis kilder udenfor Europa samt re-emission fra tidligere deponeret dioxin, der potentielt kan give store bidrag til depositionen.

Det er vanskeligt at vurdere resultaternes troværdighed. Dels er der benyttet en forsimplet modelopsætning, dels er der væsentlige usikkerheder på de benyttede emissionsestimer. Endelig stemmer de modellerede værdier, ikke overens med danske målinger. De modellerede luftkoncentrationer er en størrelsesorden mindre end de målte luftkoncentrationer, mens de modellerede depositioner også er mindre, men af samme størrelsesorden, end den estimerede deposition ud fra målinger. Forskellen mellem modellerede og målte koncentrationer og depositioner kunne indikere 1. at modelforudsætningerne ikke holder, 2. at der er kilder der ikke er taget med i emissionsestimerne, eller 3. at de eksisterende kilder er for lave. Det er interessant at bemærke at der er mindre forskel på målte og modellerede depositioner end der er på målte og modellerede koncentrationer.

5.2 anbefalinger

Det anbefales på basis af ovenstående at vurderingerne kvalificeres med forbedret viden om emissionsestimer og fordeling af emissioner samt nye målinger af dioxin-lufkoncentrationer og -depositioner i Danmark. Dette bør omfatte:

- Der kan foretages forbedringer i modelopsætningen som vil mindske usikkerheden på depositionsestimerne ved at modellere hver af de 17 dioxiner, der bidrager til I-TEQ, på både gasform og partikelform.
- Ved at køre modellen kontinuert fra 1970 og frem vil det tillige være muligt at inddrage re-emissioner fra tidligere deponeret dioxin.
- Der er behov for at inddrage ekspertviden angående emissionsestimer og fordeling af emissioner, da det indenfor projektets rammer ikke har været muligt at afgøre kvaliteten af de benyttede emissionsestimer samt opstille detaljerede emissionsscenarier for Danmark med høj rumlig og tidslig opløsning. Med en sådan ekspertise kan man endvidere estimere bidraget fra forskellige kilder i Danmark til den deponerede dioxinmængde i Danmark.
- Endelig er det af stor betydning, at der i fremtiden vil blive foretaget målinger af dioxin-lufkoncentrationer og -depositioner i Danmark samt at disse separeres på både partikel- og gasform, for at kunne klarlægge årsagen til den forskel, der her er fundet mellem målte og modellerede koncentrationer i Danmark, eventuelt suppleret med udenlandske målinger.

6 Referencer

Breivik K., Alcock, R., Li, Y.-F., Bailey, R. E., Fiedler, H. Pacyna, J. M. (2004) Primary sources of selected POPs: regional and global scale. *Environmental Pollution*, 128, 3–16.

Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Frohn, L.M., Geels, C., Kemp, K., Løfstrøm, P., Mogensen, B.B. & Monies, C. (2007) Atmosfærisk deposition 2006. NOVANA. Aarhus Universitet. Danmarks Miljøundersøgelser. 62 s. Faglig rapport fra DMU, nr. 645. <http://www.dmu.dk/Pub/FR645.pdf>

Gusev, A., Mantseva, E., Rozovskys, O., Shatalov, V., Strukov, B., Vulykh, N., Aas, W., Breivik, K. (2006) Persistent organic pollutants in the environment. EMEP status report 3/2006.

Gusev, A., Mantseva, E., Rozovskys, O., Shatalov, V., Vulykh, N., Aas, W., Breivik, K. (2007) Persistent organic pollutants in the environment. EMEP status report 3/2007.

Harner, T., Bidleman, T. F. (1998) Octanol-air partition coefficient for describing particle/gas partitioning of aromatic compounds in urban air. *Environmental Science & Technology*, 32, 1494-1502.

Harner, T., Green, N. J. L., Jones, K. C. (2000) Measurements of octanol-air partition coefficients for PCDD/Fs: A tool in assessing air-soil equilibrium status. *Environmental Science & Technology*, 34, 3109-3114.

Henriksen, T.C., Illerup, J.B. & Nielsen, O.-K. (2006) Dioxin Air Emission Inventory 1990-2004. National Environmental Research Institute, Denmark. 90 pp. – NERI Technical report no 602. <http://www.dmu.dk/Pub/FR602.pdf>

Hovmand, M. F., Vikelsøe, J., Andersen, H. V. (2007) Atmospheric bulk deposition of dioxin and furans to Danish background areas. *Atmospheric Environment*, 41, 2400–2411

Kaupp, H., Towara, J., McLachlan, M. S. (1994). Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in atmospheric particulate matter with respect to particle size. *Atmospheric Environment*, 28, 585-593.

Vikelsøe, J., Hovmand, M.F., Andersen, H.V., Bossi, R., Johansen, E. & Chrillesen, M.-A. (2005) Dioxin in the Atmosphere of Denmark. A Field Study at Selected Locations. National Environmental Research Institute, Denmark. 83p – NERI Technical Report no. 565. <http://Technical-reports.dmu.dk>.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Direktion Personale- og Økonomisekretariat Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Systemanalyse Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Arktisk Miljø
Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsovej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Terrestrisk Økologi Afdeling for Ferskvandsøkologi
Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2008

- 666 Agerhønsens biologi og bestandsregulering. En gennemgang af den nuværende viden. Af Kahlert, T., Asferg, T. & Odderskær, P. 61 s.
- 665 Individual traffic-related air pollution and new onset adult asthma. A GIS-based pilot study. By Hansen, C.L. et al. 23 pp.
- 664 Aluminiumsmelter og vandkraft i det centrale Grønland. Datagrundlag for natur og ressourceudnyttelse i forbindelse med udarbejdelse af en Strategisk Miljøvurdering (SMV). Af Johansen, P. et al. 110 s.
- 663 Tools to assess conservation status on open water reefs in Nature-2000 areas. By Dahl, K. & Carstensen, J. 25 pp.
- 662 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2007. By Glahder, C.M., Asmund, G. & Riget, F. 31 pp.
- 661 Tilstandsvurdering af levesteder for arter. Af Søgaard, B. et al. 72 s.
- 660 Opdatering af vurdering af anvendelse af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO₂ forureningen i de største danske byer. Af Ketzel, M. & Palmgren, F. 37 s.
- 659 Optimering af behandlingseffekten i akvakultur. Minimering af forbrug og udledning af hjælpestoffer. Af Sortkjær, O. et al. 124 s. (also available in print edition).
- 658 Danske kystklitter – vegetation og jordbundskemi. Analyse af NOVANA-data 2004-2006. Af Damgaard, C., Nygaard, B. & Nielsen, K.E. 66 s.
- 657 High density areas for harbour porpoises in Danish waters. By Teilmann, J. et al. 40 pp.
- 656 Manglende indberetninger til vildtudbyttestatistikken i jagtsæsonen 2006/07. Af Asferg, T. 21 s.
- 654 Rapportering af Luftemissioner på Grid. Metoder og principper. Af Jensen, M.T. et al. 56 s.
- 653 Control of Pesticides 2006. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krøgaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 25 pp.
- 652 A preliminary strategic environmental impact assessment of mineral and hydrocarbon activities on the Nuussuaq peninsula, West Greenland. By Boertmann, D. et al. 66 pp.
- 651 Undersøgelser af jordhandler i forbindelse med naturgenopretning. Af Jensen, P.L., Schou, J.S. & Ørby, P.V. 44 s.
- 650 Fuel consumption and emissions from navigation in Denmark from 1990-2005 – and projections from 2006-2030. By Winther, M. 108 pp.

2007

- 649 Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2005. By Illerup, J.B. et al. 182 pp.
- 648 Optælling af agerhøns på Kalø Gods 2004-2007 – metodeafprøvning og bestandsudvikling. Af Odderskær, P. & Berthelsen, J.P. 38 s.
- 647 Criteria for favourable conservation status in Denmark. Natural habitat types and species covered by the EEC Habitats Directive and birds covered by the EEC Birds Directive. By Søgaard, B. et al. 92 pp.
- 646 Vandmiljø og Natur 2006. NOVANA. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. 125 s.
- 645 Atmosfærisk deposition 2006. NOVANA. Af Ellermann, T. et al. 62 s.
- 644 Arter 2006. NOVANA. Af Søgaard, B., Pihl, S. & Wind, P. 88 s.
- 643 Terrestriske Naturtyper 2006. NOVANA. Af Bruus, M. et al. 70 s.
- 642 Vandløb 2006. NOVANA. Af Bøgestrand, J. (red.). 93 s.
- 641 Søer 2006. NOVANA. Af Jørgensen, T.B. et al. 63 s.
- 640 Landovevågningsoplande 2006. NOVANA. Af Grant, R. et al. 121 s.
- 639 Marine områder 2005-2006. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Af Ærtebjerg, G. (red.). 95 s.
- 637 Forvaltningsmetoder i N-belastede habitatnaturtyper. Af Damgaard, C. et al. 46 s.

I dette projekt har vi estimeret depositionen af dioxin til Danmark for årene 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 og 2004 samt bidraget til luftkoncentrationer og den deponerede mængde fra danske kilder i forhold til andre europæiske kilder. Estimatet er udregnet ud fra modelkørsler med den detaljerede atmosfæriske kemi-transportmodel DEHM, hvor dioxin er modelleret som et stof på partikelform. Som input til modellen er benyttet to forskellige emissionsestimater fra EMEPs MSC-E, baseret på ekspertvurderinger. Frem til 1980 er både modellerede luftkoncentrationer og depositioner svagt stigende, hvorefter de falder frem til 2004. Depositioner og koncentrationer er lavere end tilsvarende målinger foretaget tidligere i Danmark. Det skønnes at danske kilder bidrager med 10% til 20% til depositionen til danske landområder, dog med store regionale variationer, fra under 5% til over 40%. Det er vanskeligt at vurdere resultaternes troværdighed. Dels stemmer de modellerede værdier, særligt for luftkoncentrationerne, ikke overens med målinger og dels er der væsentlige usikkerheder på de benyttede emissionsestimater.