

Sammenfatning

Introduktion

Formålet med nærværende projekt har været at udvikle danske modeller til fremskrivning af SO₂-, NO_x-, NMVOC- og NH₃-emissionerne til atmosfæren frem til 2010 og at estimere emissionerne i 2010 for de fire stoffer. Emissionsfremskrivningerne dækker følgende økonomiske sektorer: Energi, industri, transport og landbrug.

I Europa reguleres den regionale luftforurening af en række protokoller under FN's konvention om langtransporteret, grænseoverskridende luftforurening (United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)). Formålet med den nye protokol – Gøteborg-protokollen – er at kontrollere og reducere emissionerne af SO₂, NO_x, NMVOC og NH₃. I modsætning til de tidligere protokoller er parterne i protokollen ikke forpligtede til at reducere emissionerne med en bestemt procent i forhold til emissionerne i et basisår. I stedet er der for hvert land fastlagt emissionslofter, bestemt ud fra den viden der findes om kritiske belastninger og miljømæssige påvirkninger indenfor Europas geografiske område. Tabel 1 viser emissionslofterne for Danmark i 2010. De samme emissionslofter er givet i EU-direktivet: Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants.

Tabel 1. Emissionslofter for Danmark i 2010 (tons).

Stoffer	SO ₂	NO _x	NMVOC	NH ₃ *
Emissionslofter	55.000	127.000	85.000	69.000

* NH₃ emissionsloftet er eksklusiv emissioner fra afgrøder og ammoniakbehandlet halm.

Projektets modeller kan bruges til at beregne de forventede emissioner af de fire stoffer i 2010 ud fra antagelser om udviklingen indenfor hver af de fire sektorer. Modellerne kan også anvendes til at beregne effekten af forskellige emissionsreduktionsscenarioer. Ved at undersøge de mulige reduktionstiltag og de tilhørende budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger kan modellen anvendes som et redskab til at finde den mest omkostningseffektive strategi for at nå emissionslofterne.

Emissionerne er fremskrevet på baggrund af et basisscenarium, som inkluderer alle implementerede og planlagte tiltag. Udover basisscenariet er otte ekstra scenarier blevet analyseret for at estimere potentielle emissionsreduktioner og de budget- og velfærdsøkonomiske konsekvenser af hvert scenarium. De 8 emissionsreduktionsscenarioer indeholder sandsynlige reduktionstiltag indenfor alle 4 sektorer og bruges til at demonstrere modellens anvendelighed. Resultaterne er sammenfattet i tabel 2. Ud fra de givne forudsætninger vil de fremskrevne emissioner for NO_x og NH₃ stadig ligge over emissionslofterne for disse stoffer. Det er ikke muligt kun at vælge de billigste

tiltag da alle tiltag har en maksimal emissionsreduktionskapacitet (fx antallet af anlæg hvor det er muligt at installere de-NO_x-anlæg). Resultaterne i tabel 2 indikerer de muligheder der er for at anvende modellen til at finde en reduktionsstrategi, der samtidig er teknisk mulig og mest omkostningseffektiv.

Tabel 2. Emissionsfremskrivningerne i 2010 på baggrund af basisscenariet sammenlignet med emissionslofterne og konsekvenserne af de undersøgte reduktionsscenarier. Omkostningerne er beregnet som velfærdsøkonomiske omkostninger.

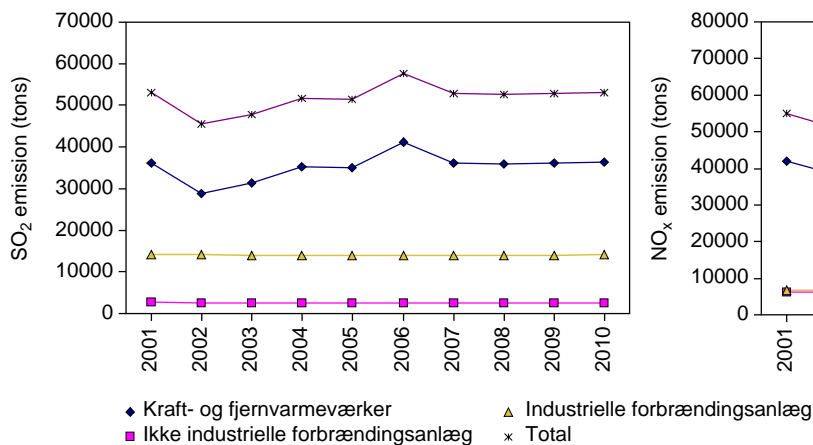
	SO ₂	NO _x	NMVOG	NH ₃	Omkostninger pr. ton
	1000 tons				Mill. DKK pr. ton
Fremskrevne emissioner 2010	56,05	146,37	83,01	82,78	-
Emissionslofter 2010	55,00	127,00	85,00	69,00	-
Manko	1,05	19,37	-	13,77	-
Emissionsreduktionsscenarierne					
1. Autolakerere: vandbaseret maling	0,00	0,00	0,75	0,00	NMVOG: 0,126
2. Havvindmølleparker (erstatte kulfyrede kraftværker)	0,51	0,23	0,01	0,00	SO ₂ : 0,264 NO _x : 0,586 NMVOG: 19,157
3. SCR (de-NO _x)-anlæg på stort kraftværk	0,00	6,46	0,00	0,00	NO _x : 0,013
4. Afsvovlingsanlæg på stort kraftværk	2,29	0,00	0,00	0,00	SO ₂ : 0,005
5. Elektriske biler (70.000 i 2010)	0,02	0,05	0,20	0,00	SO ₂ : 34,428 NO _x : 13,501 NMVOG: 3,460
6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	0,00	2,84	0,61	0,00	NO _x : 0,766 NMVOG: 3,456
7. Forøget antal græsningsdage for malkekøer	0,00	0,00	0,00	3,30	NH ₃ : 0,026
8. Nedfældning af gødning inden for en time efter spredning	0,00	0,00	0,00	1,31	NH ₃ : 0,029
Reduktion total	2,82	9,58	1,57	4,61	-
Emissioner inklusiv reduktionerne	53,23	136,79	81,44	78,17	

Fremskrivningsmodeller

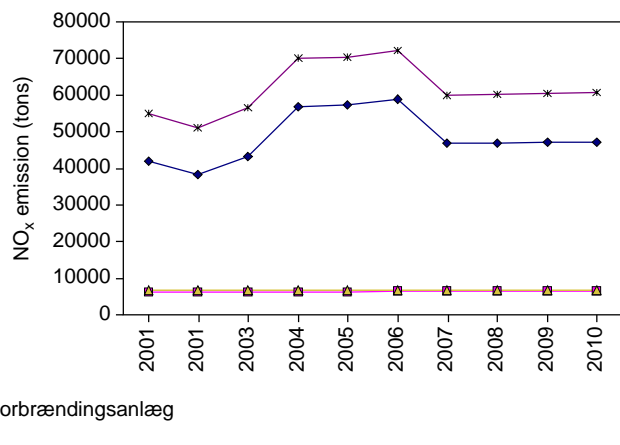
Energi

Fremskrivningen af emissionerne fra stationære forbrændingsanlæg er estimeret ved hjælp af en ny model udviklet i nærværende projekt. Energiforbruget i modellen er baseret på Energistyrelsens fremskrivning af energiforbruget i henhold til opfølgningen på den danske energiplan 'Energi 21'. Emissionsfremskrivningen er baseret på den mængde brændsel som forventes at blive forbrændt på danske værker og er altså ikke korrigeret for international handel med elektricitet. Fra 2004 er der antaget at den danske eksport af elektricitet stiger med ca. 90 PJ således at det totale brændselsforbrug på stationære forbrændingsanlæg stiger til 410 PJ.

For værker større end 25 MWe er brændselsforbruget specificeret tillige med oplysninger om emissionsbegrænsende foranstaltninger, svovlindhold i brændsler, afsvovlingsgrader og emissionsfaktorer. Disse oplysninger er baseret på elværkernes antagelser om de fremtidige forhold for hvert enkelt blok. For anlæg mindre end 25 MWe er emissionsfaktorerne beregnet ud fra emissionsgrænseværdier i bekendtgørelser og vejledninger, oplysninger fra elværkerne og andre danske virksomheder. Målinger har vist at NO_x-emissionsfaktorerne



Figur 1. Fremskrivning af SO₂-emissionen for energisektoren.



Figur 2. Fremskrivning af NO_x-emissionen for energisektoren.

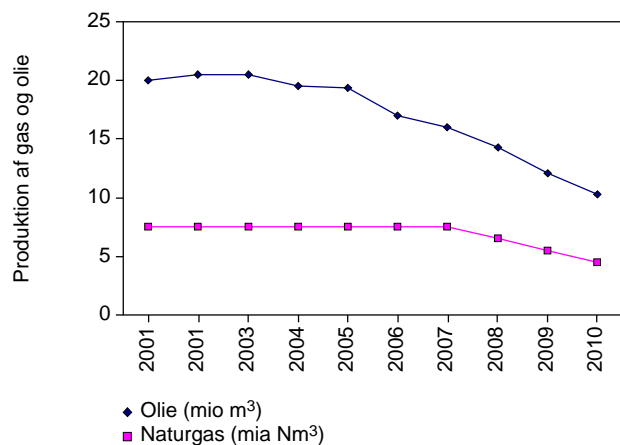
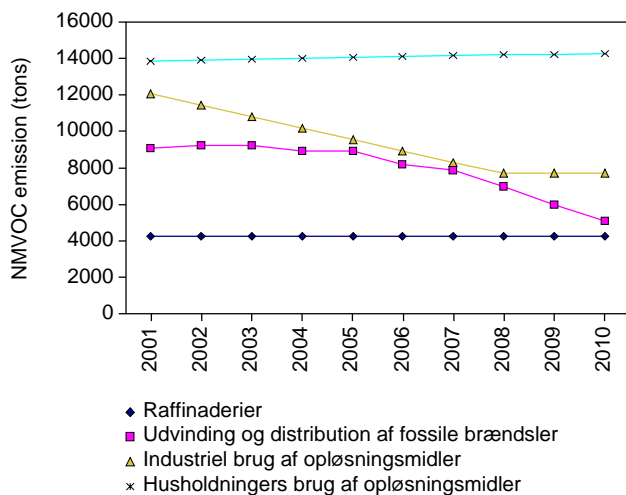
er højere for gasturbiner og stationære gasmotorer end for kedler. Modellen er opbygget så det er muligt at ændre alle vigtige parametre for såvel små som store forbrændingsanlæg.

De vigtigste kilder til SO₂-emissionen er kraft- og fjernvarmeværker efterfulgt af industrielle- og ikke-industrielle forbrændingsanlæg. SO₂-emissionen fra de to sidstnævnte kilder er næsten konstante i hele perioden fra 2001 til 2010. Emissionerne fra kraft- og fjernvarmeproduktionen følger brændselsforbruget for denne sektor, og den øgede eksport fra 2004 resulterer i en stigning i emissionen fra dette år. For NO_x-emissionen er den vigtigste kilde – ligesom for SO₂-emissionen – kraft- og fjernvarmeværker. Fra 2006 ses et brat fald i emissionen, da de-NO_x-anlæg forventes at blive installeret på nogle af de store kraftværksblokke. I modsætning til SO₂- og NO_x-emissionerne er den største kilde til NMVOC-emissionen ikke-industrielle forbrændingsanlæg. Specielt forbrænding af træ i husholdningssektoren bidrager til NMVOC-emissionen. SO₂- og NO_x-emissionerne fra kraftværker større end 25 MWe bidrager med henholdsvis 80% og 60% af de totale emissioner fra kraft- og fjernvarmeværker.

Industri

De fremskrevne emissioner fra industrisektoren omfatter hovedsageligt emissioner fra olie- og gasudvinding og brug af opløsningsmidler. NMVOC er det stof der emitteres i størst mængde og de vigtigste kilder er brug af opløsningsmidler, udvinding af olie og gas samt produktionsprocesser på raffinaderier. Beregning af emissionerne fra olie- og gasindustrien er baseret på Energistyrelsens fremskrivning af olie- og gasproduktionen samt emissionsfaktorer fra den europæiske vejledning til beregning af emissioner (the Joint EMEP/EEA Atmospheric Emission Guidebook). Specielt emissioner fra produktionsprocesserne, emissioner fra lastning af olie til skibe og emissioner fra naturgasnettet bidrager til NMVOC-emissionerne.

Anvendelse af opløsningsmidler i industrien finder i stor udstrækning sted i forbindelse med autoreparationer og vedligeholdelse, i den kemiske industri, ved anvendelse af maling i jern- og



Figur 3. Fremskrivning af NMVOC-emissionen for de vigtigste kilder.

Figur 4. Fremskrivning af olie- og gasproduktionen.

metalindustrien, ved fremstilling af maling, i plastindustrien, i nærings- og nydelsesmiddelindustrien, ved anvendelse af træbeskyttelse og i den grafiske branche. For disse områder aftalte regeringen og de relevante brancher at reducere emission af NMVOC med 40% fra 1988 til 2000. Som en del af aftalen har industribrancherne indsamlet emissionsdata for de forskellige industrier. Modellen til beregning af de industrielle emissioner er baseret på disse data. Der findes ingen fremskrivninger af danske aktivitets- og emissionsdata for industriel brug af opløsningsmidler, og det er derfor antaget at emissionerne vil falde med 57% fra 1990 til 2010 hvilket er den samme reduktion som antaget i et europæisk projekt.

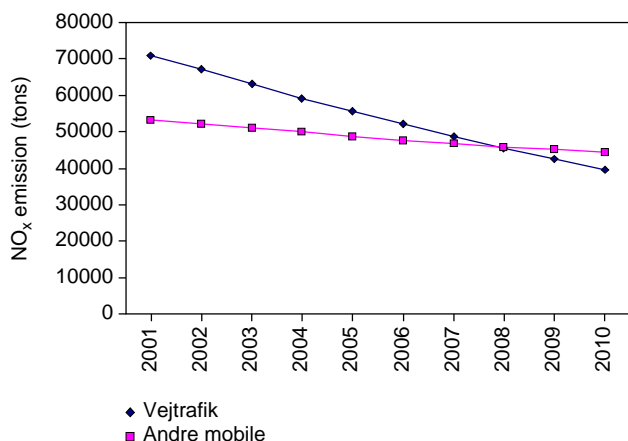
Der findes ingen detaljeret opgørelse over husholdningers brug af opløsningsmidler. Den anbefalede emissionsfaktor fra den europæiske vejledning til beregning af emissioner er derfor anvendt ved emissionsfremskrivningen. Emissionerne er estimerede ved at gange emissionsfaktoren med de fremskrevne befolkningstal.

Transport

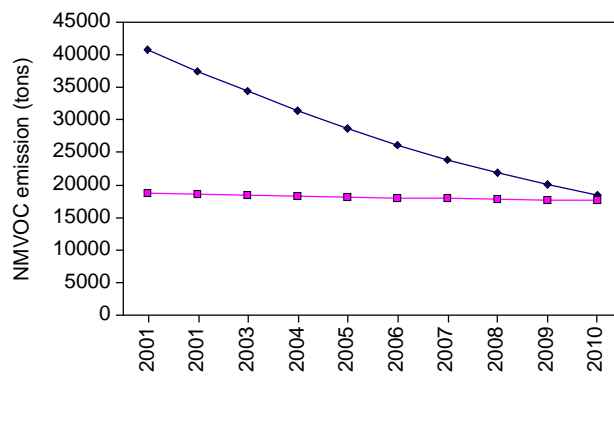
Vejtrafikkens emissioner fra biler hvor motorerne er blevet varme, koldstart og fordampning af brændstof er beregnet med en ny model udviklet i dette projekt. Modellen inkluderer også emissionseffekten af katalysatorslid. Trafik- og bestandsdata er oplyst af Vejdirektoratet og er efterfølgende samlet i grupper med samme gennemsnitlige emissioner og energiforbrug. For hver køretøjsgruppe beregnes emissionerne ved at kombinere antallet af køretøjer og årskørslen med emissionsfaktorer for varme motorer, forholdet mellem emissioner fra kolde og varme motorer og faktorer for fordampning. Konsistensen mellem emissionsprognosen og de historiske emissionsopgørelser opnås ved at bruge baggrundsdata fra den europæiske COPERT III emissionsmodel, der bruges til at opgøre de årlige danske emissioner. På denne måde anvendes COPERT III prognosemodellens emissionsdata såsom basisemissionsfaktorer for varme motorer, reduktionsfaktorer for fremtidige køretøjsteknologier, forværrelsesfaktorer for katalysatorbiler og kold:varm forhold.

En ny model er også udviklet til beregning af emissionerne fra fritidsfartøjer, landbrugsmaskiner, skovbrugsmaskiner, industrikøretøjer samt have- og husholdsredskaber. Ved beregningerne kombineres oplysninger om bestanden af forskellige maskiner og deres respektive motorstørrelser, belastningsfaktorer, årlige driftstimer og emissionsfaktorer. Fremtidige emissionsreduktioner tages i betragtning i modellen ved at inkludere effekten af to EU emissionsdirektiver. For de resterende transportkategorier forventes ingen reelle emissionsreduktioner. Emissionsprognosen for disse beregnes ved at bruge de seneste historiske emissionsfaktorer sammen med Energistyrelsens energifremskrivning.

Personbilernes NO_x- og NMVOC-emissioner er faldet konstant siden 1990, hvor katalysatorkravet blev indført for benzinerbiler. De totale emissionsreduktioner er siden blevet forstærket med nye gradvist skrappe emissionskrav for alle køretøjskategorier. Denne udvikling forventes at fortsætte i fremtiden. Den relative emissionsændring fra 2001 til 2010 forventes for NO_x og NMVOC at være større for vejtrafikken end for de øvrige transportsektorer. I perioden falder vejtrafikens NO_x og NMVOC andele fra hhv. 57 og 68% til hhv. 47 og 51%.



Figur 5. Fremskrivning af NO_x-emissionen for vejtrafik og andre mobile kilder.

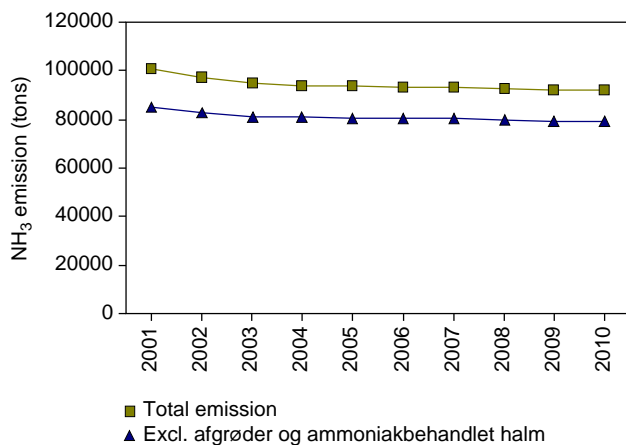


Figur 6. Fremskrivning af NMVOC-emissionen for vejtrafik og andre mobile kilder.

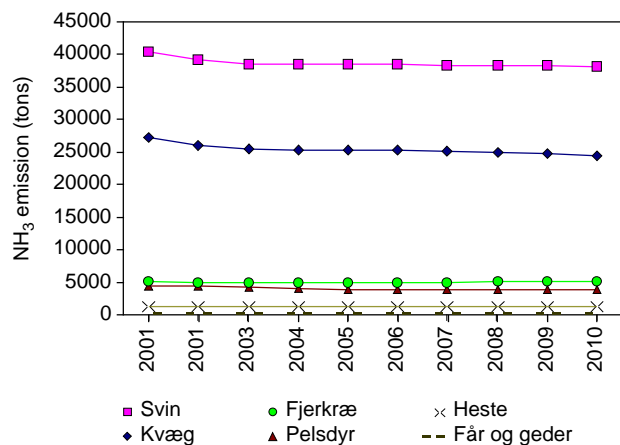
Brugen af katalysatorbiler gør, at NH₃-emissionen stiger markant. Stigningstakten bliver mindre i slutningen af prognoseperioden, hvor næsten alle konventionelle benzinerbiler er erstattet med katalysatorbiler. Den allerede lave svovlprocent på 50 ppm for benzin og diesel forventes yderligere nedsat til 10 ppm i 2005. Som en følge heraf vil SO₂-emissionen fra skibe der bruger svær olie udgøre en stigende andel af transportsektorens totale emission.

Landbrug

Ammoniakemissionen fra landbruget stammer hovedsaglig fra fem forskellige kilder: Husdyrgødning, handelsgødning, afgrøder, ammoniakbehandlet halm til foder og spildevandsslam udledt på landbrugsjord. For hver af kilderne er der en række aktiviteter, der har betydning for omfanget af fordampningen så som antal dyr, staldtype, afgrødeareal og mængde spildevandsslam. Den samlede am-



Figur 7. Fremskrivning af ammoniakemissionen for landbruget.



Figur 8. Fremskrivning af ammoniakemissionen for husdyrgødning.

ammoniakemission opgøres som summen af aktiviteterne multipliceret med emissionsfaktoren for hver aktivitet.

Aktiviteter og emissionsfaktorer er hovedsageligt baseret på oplysninger fra Landbrugets Rådgivningscenter og Dansk Jordbrugsforskning. Derudover er anvendt informationer fra Landbohøjskolen, Plantedirektoratet, Forskningscenteret for Skov- og Landskab og Miljøstyrelsen. Fremskrivningen er fortrinsvis estimeret ud fra udviklingstendenserne de seneste ti år. Lovmæssige tiltag som forventes at medvirke til ændringer i den fremtidige landbrugsdrift, er ligeledes inddraget.

I Danmark er der gennemført en række tiltag for at reducere ammoniakemissionen, hvilket er udmøntet i Ammoniakhandlingsplanen og Vandmiljøplan I og II. Det forventes at Ammoniakhandlingsplanen vil blive implementeret i forbindelse med revideringen af husdyrbekendtgørelsen. I fremskrivningen er der således taget højde for 1) forbud mod bredspredning af husdyrgødning 2) reduktion af henliggetiden fra 12 til 6 timer, 3) forbud mod ammoniakbehandling af halm. Den stigende fokusering på miljøhensyn og særlig i forbindelse med udvidelse af husdyrproduktionen betyder, at fremtidige tekniske foranstaltninger vil medvirke til en reduktion af ammoniakfordampningen. Det er dog vanskeligt at vurdere, hvor stor effekten vil være for den samlede emission. Fremskrivningen er derfor baseret på den nuværende teknologi der anvendes i landbruget og inddrager således ikke effekten af mulige fremtidige ammoniakreducerende tekniske foranstaltninger.

På baggrund af fremskrivningen af husdyrproduktionen og de øvrige aktiviteter i landbrugssektoren forventes ammoniakemissionen i år 2010 at udgøre 91.800 tons NH₃. Emissionen eksklusiv emissionen fra afgrøder og ammoniakbehandlet halm udgør 79.100 tons NH₃. Det betyder en forventet reduktion på 10% sammenlignet med år 2000. Den største andel af ammoniak kommer fra håndtering af husdyrgødning – svarende til ca. 80% og omfatter hovedsageligt gødning fra kvæg og svin. Det forventes at emissionen fra husdyrgødning vil falde med 8% på trods af en stigning i produktionen af slagtesvin og slagtefjerkræ. En af de væsentligste årsager til reduktionen skyldes

forventningen om, at der vil ske en ændring i udbringningspraksis. En større del af gyllen vil blive nedfældet og henliggetiden vil blive reduceret betydeligt. Emissionen fra de øvrige kilder forventes ligeledes at blive reduceret i år 2010, hvilket skyldes et fald i det dyrkede areal.

Emissionsfremskrivninger

SO₂

Det danske SO₂ emissionsloft på 55 ktøns er næsten nået. Emissionen er på baggrund af basisscenariet estimeret til 56,1 ktøns eller kun 1,1 ktøns over målet (tabel 3). Den største kilde til SO₂-emissioner er kraft- og fjernvarmeværker og de faktorer der har størst indflydelse på de fremskrevne emissioner er: svovlindholdet i brændslerne, afsvovlingsgraden og mængden af elektricitet der eksporteres. I nærværende fremskrivning er der regnet med forholdsvis høje svovlprocenter og en stor eksport af elektricitet fra 2004.

NO_x

Den fremskrevne NO_x-emission på 146,4 ktøns i 2010 er noget højere end emissionsloftet på 127 ktøns. De tre største og næste lige store kilder er kraft- og fjernvarmeværker, vejtrafik og andre mobile kilder. En af hovedårsagerne til at det kan blive vanskeligt at nå målet er den store eksport af elektricitet, der er regnet med i Energistyrelsens energifremskrivning.

NMVOC

NMVOC-emissionsfremskrivningen ligger lige under emissionsloftet på 85 ktøns. De største kilder til emissionen er vejtrafik, andre mobile kilder, opløsningsmidler, brændeovne og offshore-aktiviteter. De estimerede emissioner er meget usikre. Det gælder specielt for emissionsberegningerne for brug af opløsningsmidler og offshore-aktiviteter og emissionsfremskrivningerne vil kunne ændre en del, hvis der opnås mere viden inden for disse områder.

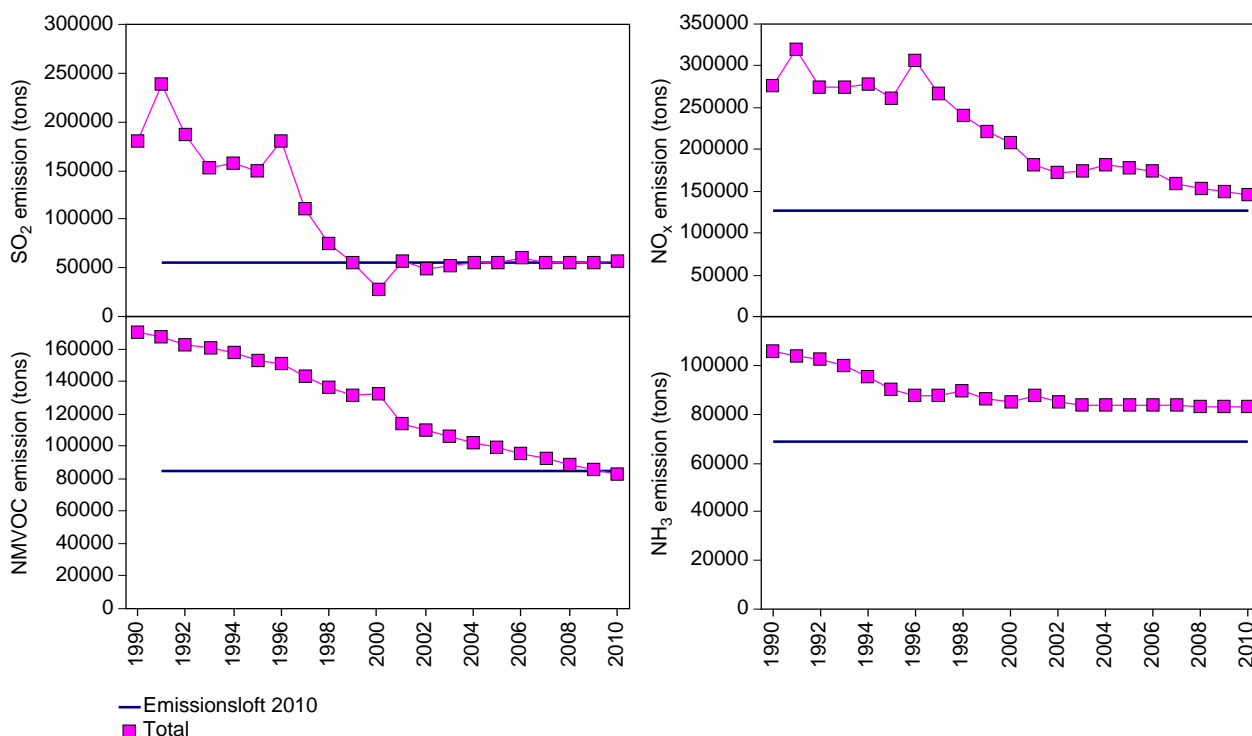
NH₃

De fremskrevne emissioner i 2010 er estimeret til 83 ktøns (eksklusiv emission fra afgrøder) og sammenlignet med emissionsloftet på 69 ktøns er dette 14 ktøns over målet. Næsten hele emissionen stammer fra landbruget og hovedkilden er husdyrgødning. I NH₃-fremskrivningen er der ikke taget højde for fremtidige tekniske tiltag, da det på nuværende tidspunkt ikke har været muligt at beregne de emissionsmæssige konsekvenser af disse.

Tabel 3. Emissionsfremskrivninger på baggrund af basisscenariet.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Emissionslofter
SO₂ (tons)	56697	48981	51349	55163	54528	60747	55774	55620	55841	56054	55000
NO_x (tons)	181723	172992	173192	181627	177249	174561	158030	153865	150214	146369	127000
NMVOOC (tons)	113356	109920	106367	102640	99211	95204	91995	88483	85644	83012	85000
NH₃ (tons)	103108	99650	97763	96956	96732	96622	96361	96091	95776	95427	
*NH₃ (tons)	87812	85060	83877	83776	83640	83618	83446	83264	83037	82777	69000

*Landbrug eksklusiv emissioner fra afgrøder og ammoniakbehandlet halm.



Figur 9. Historiske og fremskrevne emissioner sammenlignet med emissionslofterne for 2010.

Figur 9 viser emissionsudviklingen fra 1990 til 2000 samt de fremskrevne emissioner fra 2001 til 2010. For alle fire stoffer ses en signifikant reduktion af emissioner fra 1990 til 2000.

Emissionsreduktionsscenerier

Emissionsfremskrivningerne af SO₂, NO_x, NMVOC og NH₃ viser at emissionslofterne i visse tilfælde overskrides. Det er derfor interessant at undersøge de mulige emissionsreduktion der kan opnås for udvalgte reduktionsscenerier for de forskellige sektorer i tilgift til de allerede implementerede og planlagte begrænsningstiltag. Kun tekniske tiltag er undersøgt, da det har været uden for dette projekts rammer at opstille scenarier for adfærdsmæssige ændringer som resultat af økonomisk eller politisk regulering eller pga. en stigende miljøbevidsthed i befolkningen. Generelt er reduktionstiltagene udvalgt ud fra hvilke sektorer og aktiviteter der har de største emissionsandele. Otte tiltag er undersøgt for at finde emissionsbesparelsen og de tilknyttede budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger.

Tabel 4. Reduktionsscenarier yderligere undersøgt i projektet.

Reduktionsscenarier	Scen.	Akkum.	Scen.	Akkum.	Scen.	Akkum.	Scen.	Akkum.
	SO ₂ (kt/år)		NO _x (kt/år)		NMVOG (kt/år)		NH ₃ (kt/år)	
1. Autolakerere: vandbaseret maling	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,00	0,00
2. Havvindmølleparker (erstatte kulfyrede kraftværker)	0,51	0,51	0,23	0,23	0,01	0,76	0,00	0,00
3. SCR (de-NO _x)-anlæg på stort kraftværk	0,00	0,51	6,46	6,69	0,00	0,76	0,00	0,00
4. Afsvovlingsanlæg på stort kraftværk	2,29	2,80	0,00	6,69	0,00	0,76	0,00	0,00
5. Elektriske biler (70.000 in 2010)	0,02	2,82	0,05	6,74	0,20	0,96	0,00	0,00
6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	0,00	2,82	2,84	9,58	0,61	1,57	0,00	0,00
7. Forøget antal græsningsdage for malkekøer	0,00	2,82	0,00	9,58	0,00	1,57	3,30	3,30
8. Nedfældning af gødning inden for en time efter spredning	0,00	2,82	0,00	9,58	0,00	1,57	1,31	4,61
2010 emission:								
Basisfremskrivning		56,05		146,37		83,01		82,78
Medregnet yderligere emissionsreduktioner		53,23		136,79		81,44		78,17
ECE mål (emissionslofter)		55,00		127,00		85,00		69,00

For industrisektoren er der set på effekter af at erstatte oliebaseret maling med vandbaseret maling ved autolakering (1). I et scenarie for energisektoren overvejes det at opføre en havvindmøllepark hvis elproduktion kan erstatte elproduktionen på et naturgas- og et kulfyret kraftværk (2). Installation af de-NO_x- og afsvovlingsanlæg på store kraftværker er også undersøgt (3 og 4). For transportsektoren er tre EGR (Exhaust Gas Recirculation) scenarier opstillet: De første to tiltag inkluderer eftermontering af EGR på ældre køretøjer (hhv. mindre end 10 og 5 år gamle) mens det tredje tiltag udelukkende beregner effekten af EGR på nye køretøjer (5). Et andet transporttiltag undersøger effekten af at lade elbiler erstatte a) et årligt nysalg på 10.000 små benzinpersonbiler og b) alle små benzinpersonbiler fra 2004 til 2010 (6). For landbrugssektoren indeholder scenarierne (7) en øgning af antallet af dage på græs for malkekøer og (8) en ændret gødningsspraksis hos landmændene.

Det skal understreges at de udvalgte tiltag ikke giver et komplet billede af mulighederne for emissionsbesparelser i de forskellige sektorer. Scenarierne skal kun ses som mulige tiltag og er altså ikke en komplet liste over tiltag, der er nødvendige for at nå emissionslofterne. I tabel 4 er de otte tiltag og deres mulige emissionsreduktioner vist sammen med emissionslofterne.

SO₂ loftet kan opnås ved at implementere tiltaget med afsvovlingsanlæg på store kraftværker (reduktion: 2,29 ktons). Brug af brændsler med et lavere svovlindhold end forudsat i basisfremskrivningen vil også give lavere emissioner. Med de givne forudsætninger bliver det vanskeligt at overholde emissionsloftet for NO_x. Omkring halvdelen af den overskydende NO_x-emission (19,4 ktons) kan fjernes ved at implementere de otte reduktionstiltag (9,6 ktons). Specielt installation af de-NO_x-anlæg (SCR) på store kraftværker og EGR på tunge køretøjer, der er mindre end 10 år gamle, vil bidrage til at reducere NO_x-emissionen.

Den potentielle NMVOC-emissionsbesparelse for autolakering er omtrent 0,75 ktøns. Emissionsbesparelsen for EGR-tiltaget er 0,81, hvilket bringer den totale NMVOC-emission ned på 81,44.

Indførelsen af de to landbrugstiltag kan reducere NH₃-emissioner med 4,6 ktøns NH₃ (jvf. tabel 4), men NH₃-emissionen skal reduceres yderligere, hvis emissionsloftet skal overholdes. Det gælder dog, at NH₃-fremskrivningen ikke inkluderer fremtidige teknologiske løsninger i forbindelse med produktionsudvidelse og disse er måske tilstrækkelige til at NH₃-emissionsmålet kan nås. Eksempler på fremtidige teknologiske tiltag er mere effektive fodermetoder og -teknologier, metoder til gylleseparering samt forbedrede stalddtypesystemer. På nuværende tidspunkt findes der ingen detaljeret viden om potentialet for emissionsreduktion og omkostningerne forbundet med at indføre disse teknologiske muligheder.

Visse af antagelserne i basisfremskrivningen skal analyseres nærmere før det kan konkluderes om nye miljøreguleringer er nødvendige i de enkelte sektorer. Specielt konsekvenserne af EU-direktivet for store forbrændingsanlæg skal vurderes sammen med de fremtidige teknologiske reduktionsmuligheder for landbruget.

Budget- og velfærdsøkonomisk analyse

De ekstra reduktionstiltag medfører yderligere omkostninger - både for de forskellige sektorer (såsom selskaber, den private forbruger, energiproducerende foretagender osv.) og for samfundet i det hele taget. I dette projekt er disse ekstra omkostninger belyst via en budget- og velfærdsøkonomisk analyse.

Den budgetøkonomiske analyse omfatter de finansielle omkostninger og gevinster set ud fra de enkelte aktørers eller befolkningsgruppers synsvinkler; dvs. staten, den private investor eller forbrugeren. De priser, der bruges er markedspriser, som enten betales på inputmarkedet i form af produktions- eller forbrugsvarer eller som opnås på markedet for produktsalg, inklusiv alle ikke-refunderbare skatter og subsidier.

I den velfærdsøkonomiske vurdering forsøger man at bestemme velfærdsudviklingen for et lands befolkning ved at beregne omkostninger og gevinster for landet som helhed. Vurderingen er baseret på velfærdsøkonomisk teori og i denne undersøgelse er "beregningsprismetoden" anvendt. Denne metode bygger på at samfundets resurser er begrænsede og det forhold, at resurser anvendt i én situation medfører alternativomkostninger ved at samfundet mister mulige gevinster ved en anden anvendelse.

Gevinster ved reducerede påvirkninger af miljøet er taget i betragtning i den velfærdsøkonomiske analyse.

Tabel 5. Budgetøkonomiske omkostninger for de ekstra reduktionsscenarier.

Reduktionsoptioner som ikke er inkluderet i reference scenarium	Sektor der primært påvirkes	Investeringsudgifter	Årlige udgifter	SO ₂	NO _x	NMVOG	NH ₃ -N
		MDKK	MDKK/år	1000 DKK/ton			
1. Autolakerere: vandbaseret maling	Industri	123,5	78,5			104,7	
2. Havvindmølleparker (erstattes af kul-drevne kraftværker)	Energi	1599,0	96,0	189,0	420,0	13700,0	
3. SCR (de-NO _x)-anlæg på stort kraftværk	Energi	350,0	62,7		9,7		
4. Afsvovlingsanlæg på stort kraftværk	Energi	60,0	9,2	4,0			
5. Elektriske biler (70.000 i 2010)	Husstand	3511,1	-266,3	-13300,0	-5200,0	-1300,0	
6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	Transport	8350,0	1619,9		3110,0	14420,0	
7. Forøget antal græsningsdage for malkekøer	Landbrug	176,7	98,1				22,9
8. Nedefældning af gødning indenfor en time efter spredning	Landbrug	0,0	33,1				30,7

Budgetøkonomiske analyse

Den budgetøkonomiske analyse omfatter investeringsomkostninger/udgifter samt de årlige udgifter for de sektorer, der primært berøres af hvert reduktionstiltag. Det har ikke været muligt at beregne de fordelingsmæssige påvirkninger på resten af samfundet, som kunne opstå fx hvis energisektoren påførte forbrugeren ekstra udgifter.

Resultaterne af de budgetøkonomiske beregninger (tabel 5) viser, at skift fra benzindrevne biler til elektriske biler er det billigste alternativ, både med hensyn til reduktion af SO₂-, NO_x- og NMVOC-emissioner, idet den årlige ekstraudgift er lavere end den sparede udgift til benzin. Det er dog kun for forbrugeren, at dette alternativ er billigst - for samfundet som helhed er det det dyreste alternativ (se tabel 6). Afsvovlings- og de-NO_x-alternativerne har relativt lave omkostninger, men da næsten alle store kraftværker allerede enten har, eller har planer om, at installere SO₂- og NO_x-reducerende teknologi, vil indvirkningen fra disse alternativer være begrænset. Hvad angår den relativt billige mulighed for at reducere NMVOC i de bilværksteder, hvor maling af biler foregår, kunne der også være stort potentiale i andre industrielle foretagender der bruger opløsningsmidler og maling. Ifølge beregningerne ville det være meget dyrt at installere EGR på tunge køretøjer. Forøgelse af græsningsdage for malkekøer er en smule billigere end hurtigere nedefældning af gødning.

Velfærdsøkonomisk analyse

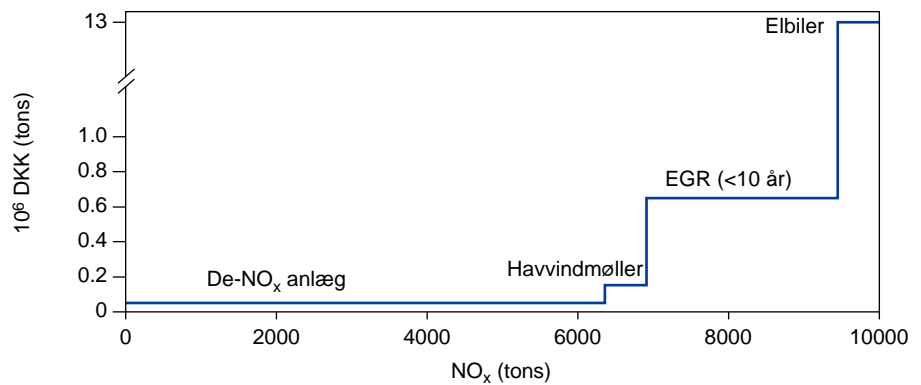
Under ideelle omstændigheder ville en velfærdsøkonomisk analyse omfatte en monetær vurdering af forskellige (positive eller negative) virkninger på miljø og sundhed, samt andre ikke-markedsrelaterede virkninger som ville kunne opstå ved at gennemføre et givent tiltag. Da en monetær værdisætning for disse ikke-markedsrelaterede virkninger er behæftet med stor usikkerhed bliver vurderingen af dem som regel begrænset til fysiske enheder som fx tons af emissioner reduceret. I den centrale del af alle analyserne i denne rapport er der derfor for hvert projekt samt hver type af reduktionstiltag udregnet den velfærdsøkonomiske omkostningseffektivitet udtrykt i omkostning per ton. Tabel 6 viser en rangordning af scenarierne, baseret på deres omkostningseffektivitet i forhold til de forskellige udslip.

Tabel 6. Forskellige reduktionsscenariers bidrag til emissionsreduktioner i 2010 listet på grundlag af omkostning per ton reduktion (velfærdsøkonomiske priser).

Rangering	SO ₂ -udslip		
		MDKK/ton	Antal 2010 (ton)
1.	4. Afsvovlingsanlæg på stort kraftværk	0,005	2292
2.	2. Havvindmølleparker (erstatte kulfyrede kraftværker)	0,264	508
3.	5. Elektriske biler (70.000 i 2010)	34,428	20
	NO _x -udslip		
		MDKK/ton	Antal 2010 (ton)
1.	3. SCR(de-NO _x)-anlæg på stort kraftværk	0,013	6460
2.a	2. Havvindmøllepark (erstatte naturgasfyret kraftværk)	0,259	236
2.b	2. Havvindmøllepark (erstatte kulfyret kraftværk)	0,586	229
3.a	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	0,766	2838
3.b	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 5 år)	0,785	1850
3.c	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer; kun nye)	0,870	692
4.	5. Elektriske biler (70.000 i 2010)	13,501	51
	NMVOC udslip		
		MDKK/ton	Antal 2010 (ton)
1.	1. Autolakerere: vandbaseret maling	0,126	750
2.a	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer; kun nye)	2,646	227
2.b	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 5 år.)	3,205	453
3.	5. Elektriske biler (70.000 i 2010)	3,460	199
	6. EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	3,546	613
4.a	2. Havvindmøllepark (erstatte naturgasfyret kraftværk)	6,103	10
4.b	2. Havvindmøllepark (erstatte kulfyret kraftværk)	19,157	7
	NH ₃ udslip		
		MDKK/ton	Antal 2010 (ton)
1.	7. Forøget antal græsningsdage for malkekøer	0,026	3299
2.	8. Nedfældning af gødning indenfor 1 time efter udbringning	0,029	1309

De to havvindmølleparkscenarier samt de tre scenarier, beregnet for EGR-filter installationer udelukker gensidigt hinanden.

På grundlag af vurderingen af omkostningseffektivitet (opsummeret i tabel 6) kan der konstrueres marginale omkostningskurver for emissionsreduktioner for henholdsvis SO₂, NO_x, NMVOC og NH₃. Som eksempel vises den marginale omkostningsfunktion for reduktion af NO_x udslip i figur 10. De samlede udgifter ved at implementere de nuværende muligheder kan beregnes som området under den marginale udgiftsfunktion. Den marginale udgiftsfunktion kan dermed fungere som inspirationskilde til opnåelse af bestemte emissionsreduktioner på den mest omkostningseffektive måde.



Figur 10. Den marginale omkostningsfunktion for fremtidige reduktioner af NO_x-emissioner.

Omkostningsreduktionen pr. ton for reduceret udslip svinger fra 1,9% til 32% og er højest for de alternativer, som kræver ekstremt dyre kapitalinvesteringer (fx oprettelsen af havvindmølleparker) eller investeringer over en længere tidsperiode, fx overgangen fra benzindrevne til elektriske biler i perioden 2004-2010. Besparelsen pr. ton reduceret udslip er kun moderat for de alternativer der kræver forholdsvis små investeringer (fx udstyr til indhegning til forøget græsgang) eller hvor beskedne investeringsomkostninger resulterer i store emissionsbesparelser, fx installeringen af de-NO_x- og afsvovlingsanlæg på store kraftværker. De velfærdsøkonomiske beregninger er baseret på en kalkulationsrente på 3%, som anvendes ved beregning af nutidsværdi og investeringskalkuler. Ændres diskonteringsfaktoren til 6%, ville den årlige omkostning reduceres for de forskellige scenarier, men det har ikke betydning for de enkelte tiltags indbyrdes rangordning.

De reduktionsscenarioer der er nævnt i denne rapport bidrager også til begrænsningen af andre udslipskomponenter såsom partikler, CO₂ og CH₄. Disse afledte miljøgevinster er inkluderet i en separat velfærdsøkonomisk omkostningseffektivitetsanalyse, der benytter sig af hhv. basis, minimum og maksimum værdier pr. ton udslip. Denne analyse blev publiceret i en dansk inter-ministeriel rapport. Beregningerne anses som meget usikre, især de potentielle skadeomkostninger for CO₂. Analysen skal derfor udelukkende betragtes som et illustrativt eksempel. I henhold til rangordningen af de forskellige alternativer påvirker den monetære prissættelse særligt de-NO_x- og NMVOC-reducerende initiativer. Etableringen af en havvindmøllepark vil erstatte installering af de-NO_x-enhederne som det billigste alternativ til at reducere det danske NO_x-udslip. Bygning af en havvindmøllepark er også det mest prisbesparende alternativ i forhold til reduktionen af NMVOC udslippet, på trods af, at den samlede emissionsreduktion er ret begrænset: 10 eller 7 tons pr. år, afhængig af hvilken type konventionel elproduktion der erstattes.

Mange af tiltagene reducerer mere end ét stof og som tidligere nævnt bidrager tiltagene også til reduktion af partikler, CO og CO₂. For en konsistent sammenligning af omkostningseffektiviteten for de forskellige tiltag, vil det være væsentligt at indregne disse miljøgevinster i den velfærdsøkonomiske analyse. Vurderingen er dog meget usik-

ker og en følsomhedsanalyse er blevet gennemført for at illustrere dette. At medtage monetære værdier for miljø- og helbredsmæssige påvirkninger kan have en effekt både på det endelige resultat af analysen og på prioriteringen af forskellige emissionsreduktions-scenarier. Vurderingen af ikke-markedsbaserede goder og service kan ydermere fungere som indikator for hvilke andre side-effekter der skal tages hensyn til, når man træffer en politisk beslutning for implementeringen af de forskellige alternativer. Det er imidlertid meget vigtigt at holde sig for øje at enhver prissætning, grundet dens indbyggede usikkerhed og mangel på evne til at dække alle ikke-markedsbaserede effekter, ikke giver et fuldt dækkende billede af alle de positive og negative påvirkninger, der er forbundet med et givent tiltag. Men det bidrager til at strukturere beskrivelsen af de enkelte tiltags effekter, hvilket i sig selv er et væsentlig formål.

Tabel 7 viser en opgørelse over de forskellige tiltags benefit-cost-forhold. Som det fremgår er det mest omkostningseffektive alternativ installationen af afsvovlingsanlæg på større kraftværker. For hver DKK som bliver investeret i installationen af disse anlæg er den velfærdsøkonomiske gevinst ca. DKK 3. Denne gevinst kan ses i modsætning til udskiftningen af konventionelle biler med elektriske biler, hvor gevinsten kun er DKK 0.16 for hver investeret DKK.

Tabel 7. Rangering af alternativer i forhold til deres respektive omkostningseffektivitet.

	Omkostning MDKK/år	Gevinst	Gevinst/omkostning forhold
Afsvovlingsanlæg på stort kraftværk	12,2	38,1	3,12
SCR (de-NO _x)-anlæg på stort kraftværk	82,1	139,7	1,70
Havvindmølleparker (erstatter naturgasfyrede kraftværker)	61,0	106,6	1,75
Havvindmølleparker (erstatter kulfyrede kraftværker)	134,1	139,72	1,04
Autolakerere: vandbaseret maling	94,2	38,1	0,40
EGR-filter installation (tunge køretøjer < 10 år gamle)	2173,4	15,8	0,01
EGR-filter installation (kun nye køretøjer)	601,7	405,1	0,67
EGR-filter installation (< 5 år)	1451,4	257,9	0,18
Elektriske biler (70.000 i 2010)	688,6	108,2	0,16