

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Hvad er effekten for luftkvaliteten af brug af biobrændstoffer i vejtransportsektoren?

Steen Solvang Jensen, ssj@dmu.dk

Allan Gross, ago@dmu.dk

Matthias Ketzler, mke@dmu.dk

Morten Winther, mwi@dmu.dk

Marlene Plejdrup, msp@dmu.dk

Jørgen Brandt, jbr@dmu.dk

Jesper Christensen, jc@dmu.dk

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet,
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

Abstrakt

Denne artikel beskriver effekterne for luftkvalitet af at introducere biobrændstoffer i vejtransportsektoren i Danmark. De tilknyttede eksterne omkostninger ved luftforureningens sundhedseffekter er også beregnet. Der er gennemregnet en række scenarier fra 2004 til 2030 under forskellige antagelser om iblandingsprocenter af biobrændstoffer og udviklingen i olieprisen, som påvirker udviklingen i transportefterspørgslen. Resultaterne er en del af et større forskningsprojekt omkring biobrændstoffer i vejtransportsektoren "Renewable Energy in the Transport Sector using Biofuels as an Energy Carrier" (REBECA) finansieret af Det Strategiske Forskningsråd (*rebeca.dmu.dk; Frederiksen et al., 2012*).

1. Scenarier

Der er opstillet tre hovedscenarier fra 2004 til 2030 med forskellige oliepriser (\$65 og \$100 pr. tønde):

- Et referencescenarie (business-as-usual) med 0% biobrændstoffer i vejtransportsektoren (benævnt "Bas_100\$" og "Bas_65\$").
- Et scenarie hvor andelen af biobrændstoffer stiger til 10% i 2020 og derefter er konstant til 2030 (benævnt "HS1_100\$" og "HS1_65\$").
- Et scenarie hvor andelen af biobrændstoffer stiger til 25% i 2030 (benævnt "HS2_100\$" og "HS2_65\$").

Udgangsåret er 2004 og scenarieårene er 2010, 2020 og 2030. Pga. kombinationen af årstal, iblandinger af biobrændstoffer, og forskellige oliepriser er der i alt 19 forskellige scenarier.

2. Beregning af emissioner

Transportefterspørgslen og dermed brændstofforbruget er først blevet bestemt i de forskellige scenarieår (Jensen & Winther, 2009).

Ud fra litteraturstudier er forskellen mellem brændstofforbrug og emissionsfaktorer for dieselmotorer i forhold til forskellige iblandinger af biodiesel fastlagt, og ligeledes for benzindrivne motorer i forhold til iblandinger af bioethanol i form af E5 – 5% iblanding og E85 – 85% iblanding (Winther, 2009). De emissioner som beregnes er kvælstofoxider (NO_x), kulilte (CO), flygtige organiske forbindelser (VOC) og partikler ($\text{PM}_{2.5}$ – partikler mindre end 2,5 mikrometer i diameter).

Ud fra disse emissionsforskelle samt oplysninger om det fremskrevne brændstofforbrug og den nationale emissionsmodel for vejtransport (COPERT IV) kan emissionerne i de forskellige scenarier beregnes. Til brug for de efterfølgende luftkvalitetsberegninger er der endvidere udviklet en metode (SPREAD) for geografisk fordeling af emissioner på et $1 \times 1 \text{ km}^2$ gitternet for hele Danmark, som omfatter både emissioner fra vejtransportsektoren og fra øvrige sektorer.

2.1 Biodiesel

Litteraturstudiet af emissioner mellem almindeligt benzin/diesel og biobrændstofferne viste en række forskelle mellem brændstoftyper og køretøjstyper (lette/tunge køretøjer). Lette køretøjer omfatter person- og varebiler og tunge køretøjer lastbiler og busser.

For dieseldrevne tunge køretøjer steg brændstofforbrug og NO_x emissionerne lidt med stigende iblandinger af biodiesel, mens $\text{PM}_{2.5}$, VOC og CO emissionerne faldt lidt. Dieseldrevne lette køretøjer viste et andet billede, hvor VOC og CO emissionerne steg lidt med stigende iblandinger af biodiesel. NO_x emissionerne steg også men svagt og $\text{PM}_{2.5}$ emissionerne faldt. Eksempelvis vil en 10% biodiesel iblanding reducere $\text{PM}_{2.5}$ udstødningen med ca. 5% og 20% iblanding vil reducere $\text{PM}_{2.5}$ udstødningen med omkring 10% for lette køretøjer. På samme måde for tunge køretøjer vil $\text{PM}_{2.5}$ emissionerne blive reduceret med ca. 7-9% for 10% iblanding af biodiesel og 12-16% for en 20% biodiesel blanding. Reduktionen i den totale $\text{PM}_{2.5}$ (udstødning og ikke-udstødning) bliver dog mindre, da ikke-udstødningen udgør omkring en tredjedel af de samlede partikelemissioner. Ikke-udstødning omfatter vejslid, dækslid, bremseslid og ophvirvling heraf.

2.2 Bioethanol

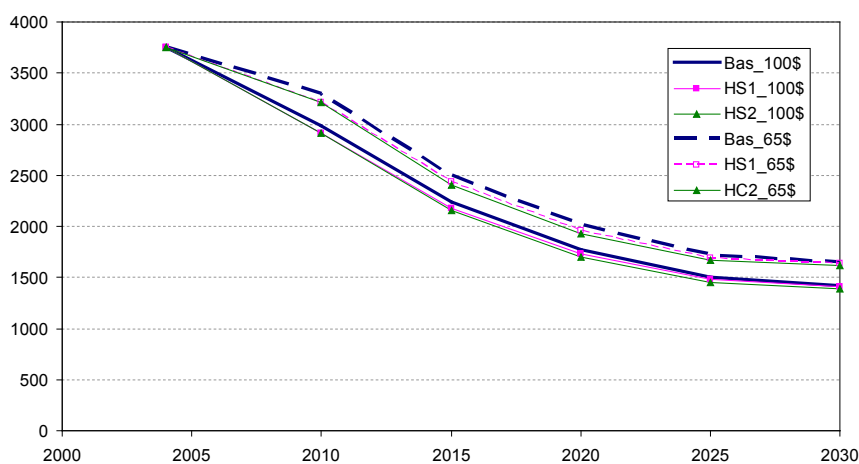
Emissionsforskellene mellem almindeligt benzin og E5 er i gennemsnit tæt på nul, dog med en meget høj variation i resultaterne. E85 i forhold til E5 giver en procentvis reduktion på -6%, -9%, -12% -30% og +35% for hhv. energiforbruget, $\text{PM}_{2.5}$, VOC, NO_x og CO. Efter at REBECA projektet er afsluttet er mange nye E85-E5 målinger blevet tilgængelige, og det har vist sig at emissionsforskellene generelt bliver lavere; nemlig -3%,

11%, -1%, 5% og 18% for hhv. energiforbruget, PM_{2.5}, VOC, NO_x og CO. Reduktionerne i emission er forholdsmæssigt lavere for bioethanol blandinger af 10% og 20%. På grund af den lille forskel mellem almindeligt benzin og E5 er forskellene mellem E5 og E85 brugt til at beregne forskelle mellem almindeligt benzin og bioethanol.

2.3 Udvikling i emissioner

Fremtidens brændstofforbrug og dermed emissionerne er afhængigt af efterspørgslen efter vejtransport. Brændstofforbruget forventes at stige som følge af øget trafikarbejde og antagelser om konstant energieffektivitet. Der forudsiges et gradvist skift fra benzin- til dieselmotorer for personbiler, hvilket resulterer i mere efterspørgsel efter diesel end benzin fra 2017 og frem. Emissionsfaktorerne for de enkelte køretøjer vil falde fremover, som en konsekvens af en gradvis fornyelse af bilparken med indførelse af renere EU emissionsnormer. Den kombinerede effekt af øget trafikarbejde og skærpede EU emissionsnormer er et samlet fald i vejtransportsektorens emissioner i fremtiden.

Udviklingen i emissionerne er illustreret for PM_{2.5} i Figur 1, som er en vigtig luftforurening i beregning af sundhedseffekterne af luftforurening.



Figur 1. PM_{2.5} emissioner for vejtransportsektoren (udstødning og ikke-udstødning) for referencescenariet, scenarie HS1 (op til 10% biobrændstof og for en oliepris på \$65 og \$100) og scenarie HS2 (op til 25% biobrændstof og en oliepris på \$65 og \$100). Enhed: Mg/år.

Den generelle tendens til reduktion i PM_{2.5} emissioner fra vejtransportsektoren skyldes helt overvejende indførelse af strengere EU emissionsnormer for køretøjerne. Et lignende mønster ses for andre regulerede emissioner (NO_x, CO og VOC). Scenariet med den lave oliepris (\$65) har lidt højere emissioner end det høje oliepris (\$100) grundet øget transportefterspørgsel. Scenariet med iblanding af biobrændstoffer reducerer kun emissionerne marginalt sammenlignet med udviklingen i referencescenariet. Scenariet med høj iblanding af biobrændstoffer (HS2) giver lidt lavere emission end scenariet med lavere iblanding (HS1).

For udviklingen i de totale emissioner er det således scenarieåret, der er den vigtigste faktor grundet den løbende udskiftning af bilparken. Dernæst betyder olieprisen også noget, mens de forskellige scenarier for iblanding af biobrændstoffer kun har en marginal positiv effekt på et par procent.

Emissioner fra vejtransportsektoren udgør kun en mindre del af de samlede emissioner fra alle sektorer. For PM_{2.5} udgør vejtransportsektoren omkring 17% i 2004 faldende til omkring 11% i 2030. Dette betyder, at de marginale positive virkninger af iblandinger af biobrændstoffer bliver endnu mindre, når man sammenligner med de samlede emissioner fra alle sektorer.

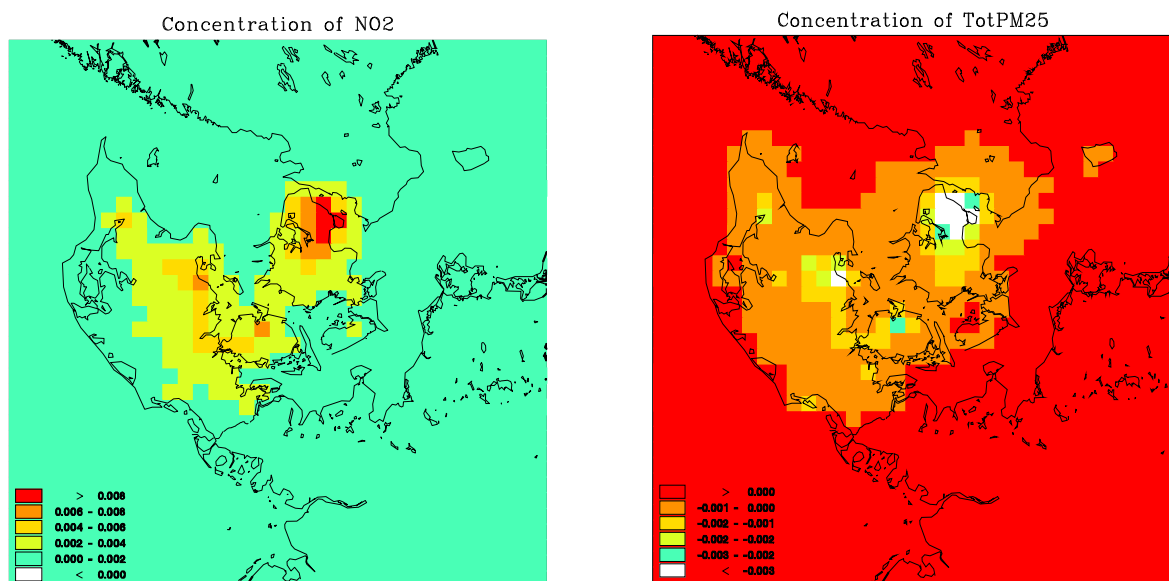
3. Eksterne omkostninger ved luftforureningens sundhedseffekter

De eksterne omkostninger ved luftforureningens sundhedseffekter er beregnet med modelsystemet EVA (Economic Valuation of Air pollution) (Gross et al., 2010). EVA-systemet beregner med udgangspunkt i danske værdisætninger af helbredseffekterne de eksterne omkostninger for de enkelte emissioner og afhængigt af de geografiske placeringer af udledningen. Systemet er baseret på langtransport modellen Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM), som beregner luftkvalitet og deposition med en geografisk opløsning på 17x17 km² for Danmark og for resten af Europa med en mindre geografisk opløsning. Dette svarer til de regionale koncentrationer, som er kendetegnet ved at repræsentere et større geografisk område, og den langtransporterede luftforurening hertil. Det regionale koncentrationsniveau afspejler fx uden for byerne. Hovedstadsområdet er casestudieområde i projektet og for dette område anvendes lokalskalamodellen Urban Background Model (UBM) til at beregne bybaggrundskoncentrationer på en geografisk opløsning på 1x1 km². Bybaggrundskoncentrationer afspejler fx i tagniveau eller i en park, hvor koncentrationerne ikke er direkte påvirket af lokale kilder tæt på.

Koncentrationer af ozon (O₃), NO₂ and PM_{2.5} falder fra 2004 til 2030 i referencescenariet pga. faldende emissioner. Dette er en meget kraftig tendens, som helt overskygger de marginale reduktioner i koncentrationerne mellem referencescenariet og biobrændstofs scenarierne. På den regionale skala bliver ozon reduceret, da ozondannende stoffer som NO_x og VOC bliver reduceret.

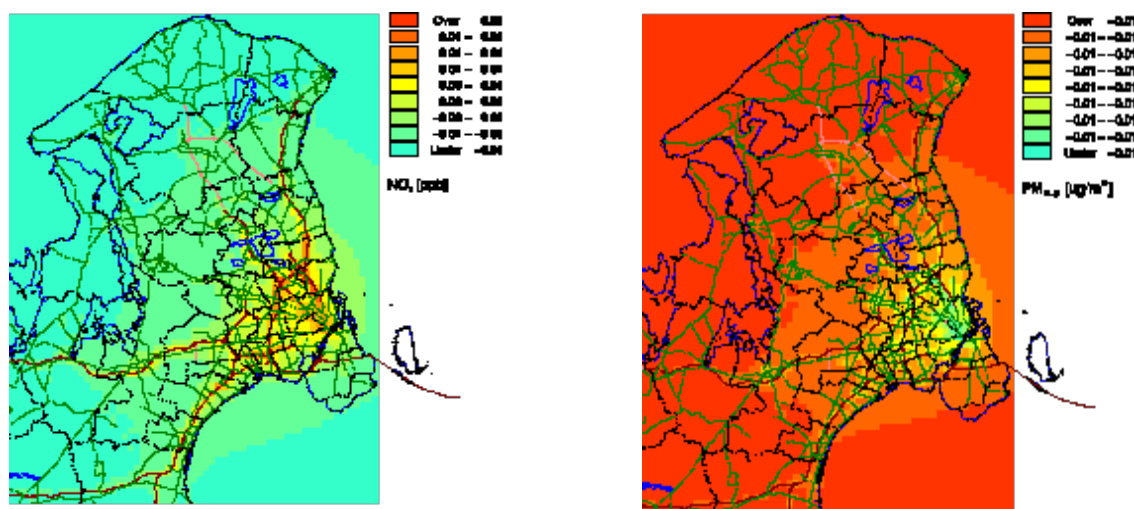
For et specifikt scenarieår er de regionale koncentrationer af NO₂ marginalt højere i biobrændstofs scenarierne sammenlignet med referencescenariet pga. højere NO_x emissioner, mens ozonkoncentrationerne er lidt lavere, da der er mere NO_x til rådighed for nedbrydning af ozon. PM_{2.5} koncentrationerne er lavere i biobrændstofs scenarierne i forhold til referencescenariet, som en konsekvens af lavere PM_{2.5} emissioner, som ikke overskygges af dannelse af partikler i atmosfæren ud fra de højere NO_x emissioner.

I Figur 2 er vist et eksempel fra EVA-systemet over de regionale koncentrationer. Der er vist koncentrationsforskellen mellem scenariet med høj iblanding af biobrændstoffer i 2030 (HS2_ \$100) og referencescenariet i 2030 (Bas_ \$100). Figur 3 viser de tilsvarende resultater for Hovedstadsområdet.



Figur1.Regionale koncentrationsforskelle mellem scenarie med høj iblanding af biobrændstoffer i 2030 med oliepris på \$100

(HS2_ \$100) minus referencescenariet (Bas_ \$100). Venstre: NO₂koncentrationsforskelle i ppb (1 µg/m³=1.88*ppb). Højre: PM_{2,5} koncentrationsforskelle i µg/m³.



Figur 3 Koncentrationsforskelle i Hovedstadsområdet. Scenarie med høj iblanding af biobrændstoffer i 2030 med oliepris på \$100 (HS2_ \$100) minus referencescenariet (Bas_ \$100). Venstre: NO₂koncentrationsforskelle i ppb (1 µg/m³=1.88*ppb). Højre: PM_{2,5} koncentrationsforskelle i µg/m³.

De eksterne omkostninger er opsummeret i Tabel 1 for udvalgte parrede scenarier og vist for Hovedstadsområdet, Danmark og Europa. Eksempelvis er det parret scenarie ”Base, 2004, \$65 ↔ Base, 2030, \$65” forskellen mellem referencescenariet i 2004 og 2030 for en oliepris på \$65 dvs. ”Base, 2004, \$65” minus ”Base, 2030, \$65”. Negative værdier indikerer en reduktion, hvor sundhedseffekterne og dermed eksternalitetsomkostningerne er reduceret.

Tabel 1. Eksterne omkostninger af luftforureningens sundhedseffekter for forskellige parrede scenarier. Totale omkostninger er givet for hele Europa og underopdelt for Danmark og Hovedstadsområdet.

Topic	Parredescenarier	Europa (mio. euro)	Danmark (mio. euro)	Hovedstadsområdet (mio. euro)
Betydning af scenarieår (referencescenarie)	Base, 2004, \$65 ↔ Base, 2010, \$65	-535	-99	-13
	Base, 2004, \$65 ↔ Base, 2030, \$65	-237500	-1501	-550
	Base, 2004, \$65 ↔ Base, 2010, \$100	-588	-111	-19
	Base, 2004, \$65 ↔ Base, 2030, \$100	-238500	-1511	-555
Betydning af oliepris	Base, 2010, \$65 ↔ Base, 2010, \$100	-51	-11	-5,6
	Base, 2030, \$65 ↔ Base, 2030, \$100	-36	-9,6	-4,4
	HS2, 2010, \$65 ↔ HS2, 2010, \$100	-51	-11	-5,5
	HS2, 2030, \$65 ↔ HS2, 2030, \$100	-31	-6,7	-4,9
Betydning af biobrændstof (HS2)	Base, 2010, \$65 ↔ HS2, 2010, \$65	5,3	-1,5	-1,1
	Base, 2030, \$65 ↔ HS2, 2030, \$65	1,4	-2,2	-1,5
	Base, 2010, \$100 ↔ HS2, 2010, \$100	4,9	-1,3	-,94
	Base, 2030, \$100 ↔ HS2, 2030, \$100	1,7	-0,79	-1,0

De eksterne omkostninger bliver reduceret kraftigt fra 2004 til 2030 i referencescenariet, som viser en reduktion på op til 1500 mio. euro for Danmark. Dette er en langt højere reduktion end hvad forskelle i oliepris eller forskelle i iblandinger af biobrændstoffer giver anledning til. I disse beregninger indgår både effekten af reduktion i transportsektorens emissioner og bidrag fra øvrige sektorer.

Forskellen mellem de eksterne omkostninger ved en lav og høj oliepris er lille i sammenligning med den generelle tendens. Den lave oliepris har højere eksterne omkostninger (11 mio. euro) end den høje oliepris (7-10 mio. euro) i 2030 for Danmark.

Scenariet med høj iblanding af biobrændstoffer reducerer kun de eksterne omkostninger marginalt i forhold til referencescenariet med 1,3-1,5 mio. euro i 2010 og 1-2 mio. euro i 2030 for Danmark for de forskellige oliepriser. Bemærk at biobrændstofs-scenerierne faktisk forøger de totale eksterne omkostninger i Europa mens de reduceres i Danmark. Det skyldes lidt højere NO_x emissioner fra biobrændstof i sammenligning med almindelig brændstoffer, som giver anledning til lavere ozon i Danmark, men som øger ozondannelsen i Europa samt dannelsen af partikler i atmosfæren.

4. Koncentrationer i København

I Tabel 2 er illustreret udviklingen i beregnede bybaggrundskoncentrationer ved H.C. Ørsted Instituttet i København.

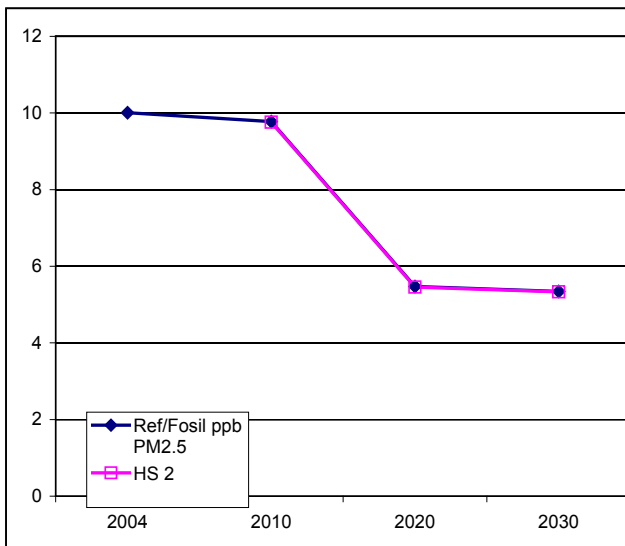
Tabel.1. Beregnede bybaggrundskoncentrationer ved H.C. Ørsted Instituttet i København i referencescenariet (\$100).

Reference \$100	NO _x µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	O ₃ µg/m ³	CO µg/m ³	PM ₁₀ * µg/m ³	PM _{2.5} * µg/m ³
2004	21	18	60	207	11	10
2010	16	14	63	168	11	10
2020	9	8	68	134	7	5
2030	6	5	70	130	7	5

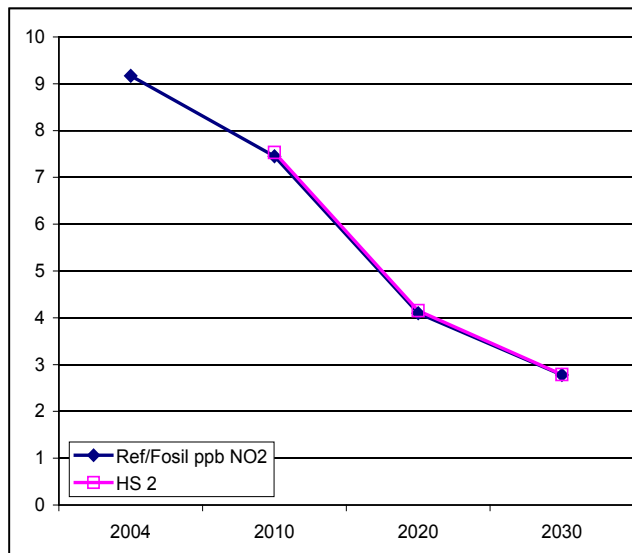
*Modellen beregner kun omkring halvdelen af den total masse, hvilket er et velkendt problem (massclosure problem)

Alle koncentrationer reduceres undtagen O₃. Bybaggrundskoncentrationen af O₃ øges som en konsekvens af en smule lavere regionale O₃ koncentrationer, som dog overskygges af store reduktioner i den lokale NO_x emission, som gør at NO ikke er tilstede for nedbrydningen af O₃, og dermed stiger O₃.

Forskelle mellem referencescenariet og scenarierne med høj iblanding af biobrændstoffer (HS2_\$ 100) er vist i figur 3 for PM_{2.5} og i figur 4 for NO₂. Det ses, at de to kurver næsten overlapper hinanden, da der er marginal effekt af scenarierne med biobrændstoffer på byernes bybaggrundskoncentrationer. PM_{2.5} koncentrationerne er marginalt lavere i scenariet med biobrændstoffer og NO₂ koncentrationerne er marginalt højere end i referencescenariet. Reduktionen af PM_{2.5} koncentrationerne aftager mellem 2020 og 2030 pga. indflydelsen fra ikke-udstødningspartikler, som stiger grundet stigende trafikarbejde. På samme tid mindskes reduktionen i partikeludstødning, da de fleste køretøjer i 2020 overholder emissionsnormer med meget lav partikeludstødning.



Figur 2. Udvikling af PM_{2.5} bybaggrundskoncentrationer ved H.C. Ørsted Institut i København for referencescenariet og scenarie med høj iblanding af biobrændstof (HS2_100). Enhed: µg/m³.



Figur 3. Udvikling af NO₂ bybaggrundskoncentrationer ved H.C. Ørsted Institut i København for referencescenariet og scenarie med høj iblanding af biobrændstof (HS2_100). Enhed i ppb, (1 µg/m³=1.88*ppb).

Referencer

- Frederiksen, P. et al. (2012): Synthesis Report for the REBECa project - Renewable Energy in the transport sector using Biofuel as Energy Carrier. DCE Report No. xx-2012 (under udgivelse).
- Gross, A., Jensen, S.S., Brandt, J., Christensen, J.H., Ketzler, M., Frohn, L.M., Geels, C., Hansen, A.B., Hansen, K.M., Hedegaard, G.B., Silver, J.D., Skjøth, C.A. (2010): Regional Air Quality Assessment of Biofuel Scenarios in the Road Transport Sector. International Conference on Energy, Environment and Health, – Optimisation of Future Energy Systems, May 31-June 2, 2010, Carlsberg Academy, Copenhagen, Denmark. Extended abstract 2 p.
- Jensen, T.C., Winther, M. (2009): Fremskrivning af vejtransportens energiforbrug til REBECa-projektet. 21. juli 2009. REBECa projekt notat.
- Winther, M. (2009): Emission Differences between Petroleum based Diesel and different Biodiesel Blend Ratios for Road Transport Vehicles. *Transport and Air Pollution Symposium*, Toulouse June 2009, Actes INRETS; 122.

Yderligere information

Yderligere information om REBECa-projektet herunder publikationer kan ses på hjemmesiden: rebeca.dmu.dk

Taksigelse

Projektet "Renewable Energy in the Transport Sector using Biofuels as an Energy Carrier" (REBECa) var finansieret af Det Strategiske Forskningsråd (2007-2011), kontrakt 09-061420/DSF.