

# Partiklar och black carbon – emissioner och åtgärdsalternativ

*Karin Kindbom*

*Svenska Luftvårdsföreningen*

*25 oktober 2011*

- Varför black carbon (sot)?
- Viktiga källor till BC-emissioner i Sverige
- Beräkning av emissioner av partiklar och BC
- Åtgärder för att minska svenska emissioner av BC
- Slutsatser

# Black carbon ...

- Luftförorening med effekter på hälsa
- kortlivat ämne med klimatpåverkan

- **Black carbon (sot) – värmande**

- Betydelse såväl direkt i atmosfären som indirekt efter deposition till snö/is.

- Kortlivade klimatpåverkande ämnen, SLCF, Short Lived Climate Forcers

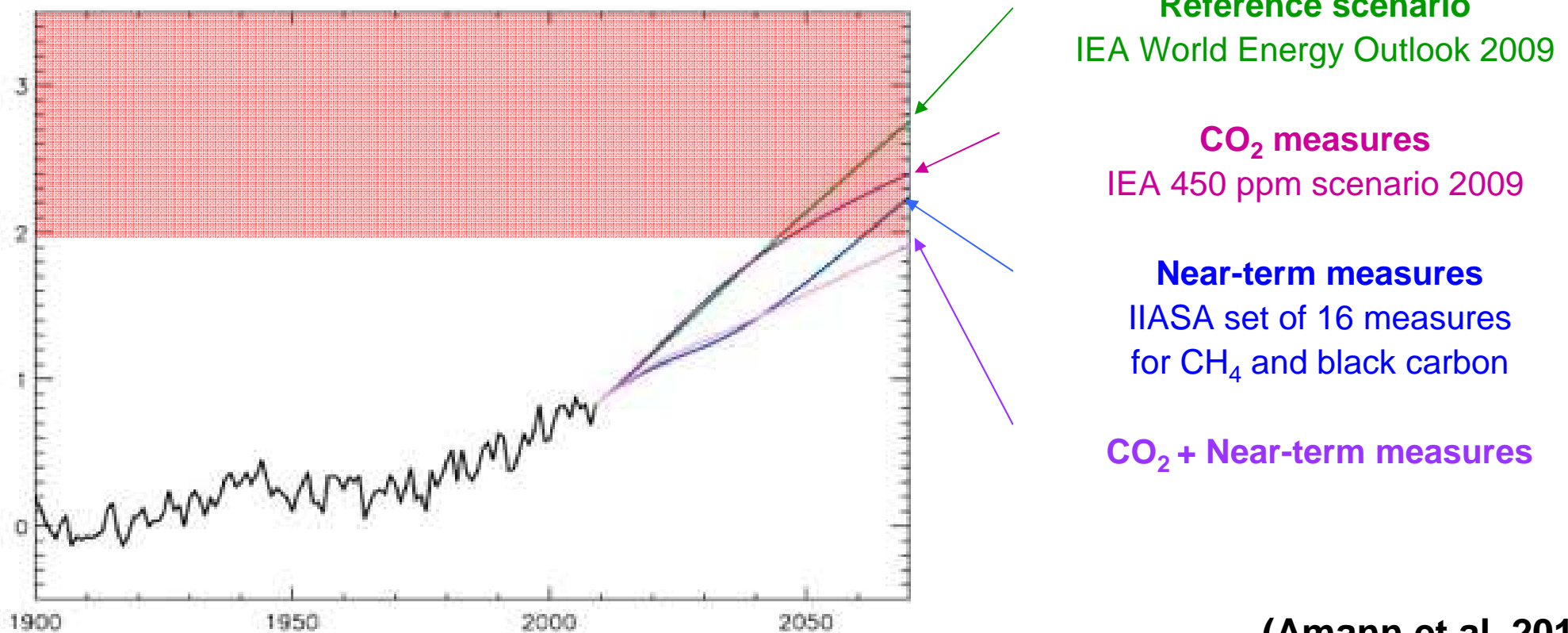
- Partiklar med hög absorption av inkommande strålning (~ 1 vecka)
  - Partikelnedfall på snö/is (några månader - ?)
  - Metan (~ 10 år)
  - Sulfat och andra sekundära aerosoler (kylande-reflektion) (1 vecka)
  - Ozon (~ 1 månad)

# Hur viktigt?

- Kortlivade ämnen har signifikant direkt och indirekt påverkan på klimatet
- Åtgärder mot kortlivade ämnen (BC och metan) kan ge fördelar på kort och medellång sikt – de närmaste 10-20 åren
- Åtgärder mot SLCF kan inte ersätta åtgärder mot de långlivade ämnena; CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O

**16 measures globally could significantly reduce the rate of temperature increase in the next decades. Together with aggressive CO<sub>2</sub> strategies, they increase chances to stay below the 2° target**

Global temperature 1900-2070



(Amann et al, 2011)

Source: UNEP Black Carbon Assessment, 2011

isioner och åtgärder

er 2011

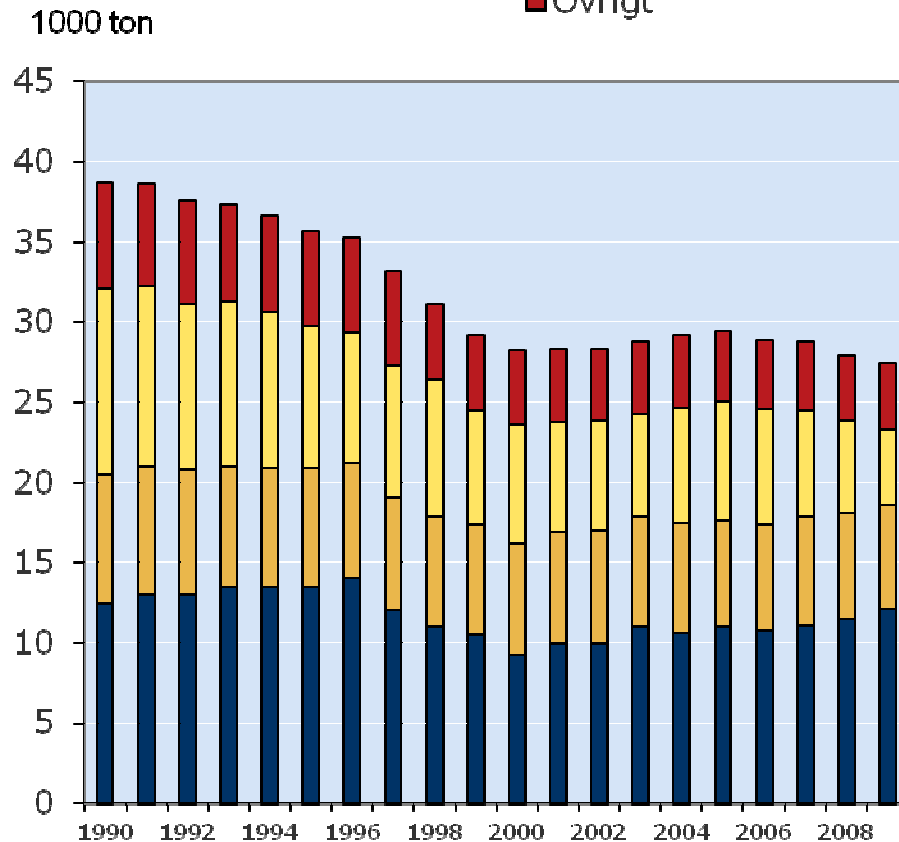
## **Sambanden komplexa men**

- Åtgärder mot black carbon ger inga negativa återkopplingar.
  - Samverkar hälsa och klimat

# Beräknade utsläpp av partiklar i Sverige

- El- och värmeproduktion
- Vägtrafik
- Industriprocesser
- Övrigt

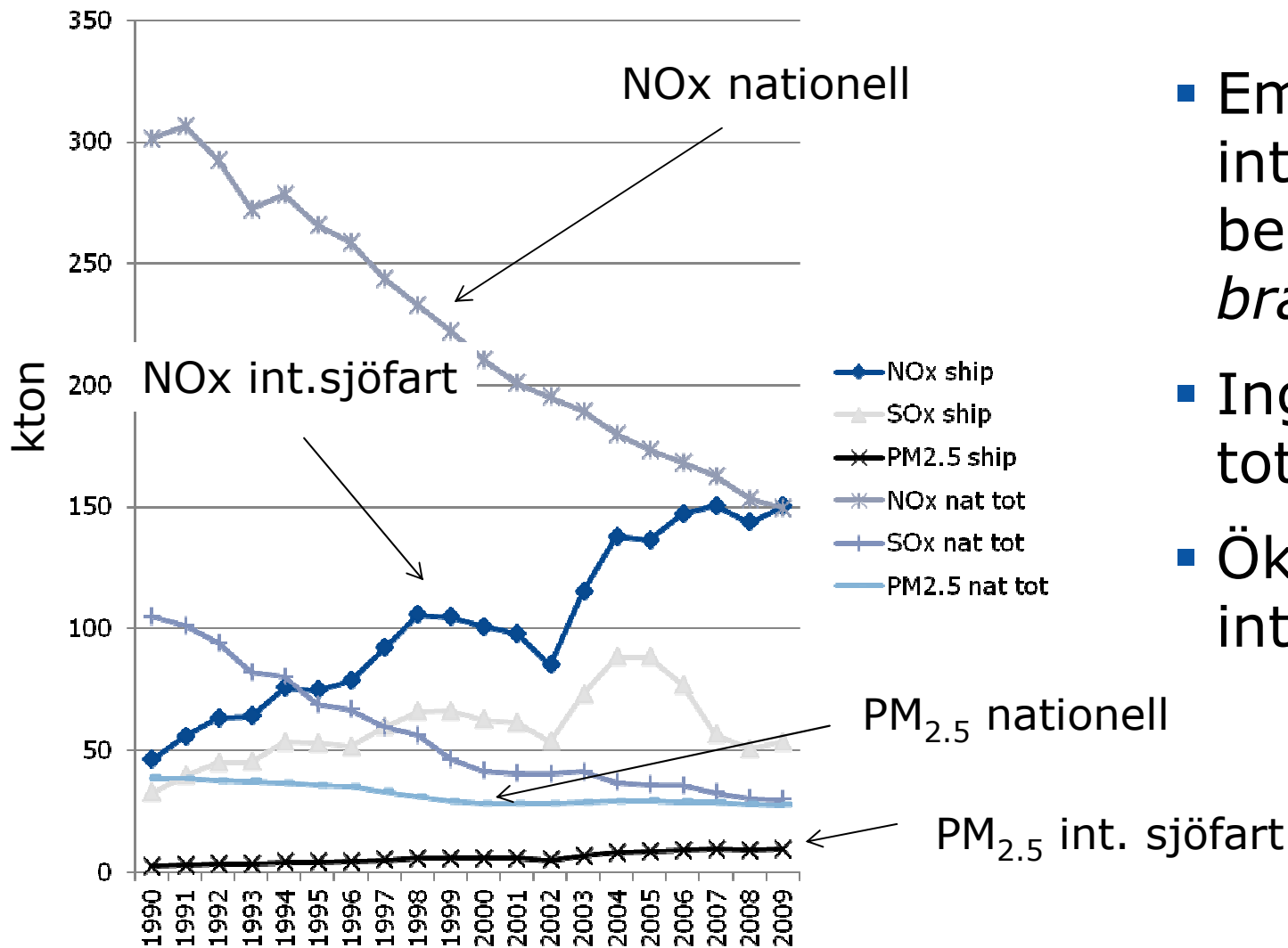
## Utsläpp av PM 2.5 till luft



- PM<sub>2.5</sub> 2005, 29.4 kton
- Black Carbon ca 5.1 kton (17% av PM<sub>2.5</sub>)
- Viktigaste källor BC:
  - Småskalig förbränning, biobränsle: 25%
  - Off-road, diesel: 13%
  - Tung vägtrafik, diesel: 11%
  - Lätta fordon (inkl personbilar), diesel: 9%
  - Skogsindustrin: 7%
  - El och fjärrvärme, biomassa: 4%
  - ....
  - Osäkerheterna är stora, ej utvärderade

33%

# Internationell sjöfart och nationella emissioner



- Emissioner från internationell sjöfart beräknas baserat på *bränsle sålt i Sverige*
- Ingår inte i nationella totala emissioner
- Ökande trend från internationell sjöfart

# Nationell emissionsinventering

- Rapporterade inventeringar är officiella nationella data
- Används för att följa upp åtaganden enligt internationella konventioner och direktiv
- Är grunden för att följa upp förändringar
- Granskas i oberoende nationella och internationella granskningsprocesser
- Uppdateras och rapporteras årligen, baserade på nationella aktivitetsdata och emissionsfaktorer/emissioner
- Beräkningar och rapportering sker enligt utvecklade regler och riktlinjer

# Förutsättningar och ramar för inventeringsprocessen

- Klimatgaser: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub> (UNFCCC, EU Monitoring Mechanism)
- Luftföroreningar: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC, CO, partiklar (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), metaller, dioxin (CLRTAP, EU-NEC)
- För närvarande, ingen rapportering av BC
- SMED-konsortiet: IVL, SCB, SMHI, SLU bildades 2000
- Rapporteringsriktlinjer
  - UNFCCC: IPCC Guidelines
  - CLRTAP: EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook
- Kvalitetssystem:
  - transparent, konsistent, jämförbart, komplett, riktigt

# Beräkning av emissioner till luft

$$\text{Emissions (unit)} = \sum [ \text{Fuel consumption (unit)} * \text{calorific value} * \text{emission factor} ]$$

- Nödvändig information (*exempel energisektorn*):
  - Bränsleförbrukning och typ av bränsle
  - Emissionsfaktorer för olika bränslen, teknologier och övriga faktorer
- Emissioner av black carbon kan beräknas baserat på emissionsinventering av partiklar, där black carbon utgör en fraktion av emitterad PM.
- BC-fraktionerna är olika för olika typer av utsläppskällor och bränslen.

## **Exempel:**

Variation  
i emissionsfaktorer  
för småskalig  
förbränning av  
biobränslen.

Olika förbrännings-  
teknologier, bränslen  
och handhavanden.

*(Paulrud et al, 2006)*

Fuel/appliance	PM mg/MJ	Reference
Wood boiler	26-450	Johansson, 2005
Wood boiler	23-2200	Johansson, 2003
Wood boiler	30-700	SNV, 1983
Wood stove	22-181	Paulrud, 2006
Wood stove	7-173 (PM2.5)	Heberg, 2002
Wood stove	37-350	Boman, 2005
Wood stove	120-320 (PM2.5)	MacDonald, 2000
Wood Stove	30-55 (PM2.5)	Johansson, 2004
Wood Stove	10-1000	SNV, 1983
Wood stove	200-5500	Gladius, 2005
Wood stove	100, 90 (PM1)	Ohlström, 2005
Pellets burner	12-65	Johansson, 2003
Pellets burner	10-60 (PM2.5)	Johansson, 2004
Pellets burner	35, 25 (PM1)	Ohlström, 2005
Pellets boiler	30-40	SNV, 1983
Pellets boiler	15, 10 (PM1)	Ohlström, 2005
Pellets stove	30-60 (PM2.5)	Johansson, 2004
Pellets stove	11-81	Boman, 2005
Pellets stove	17-46	Boman, 2005
Open fire place	170-780 (dilution tunnel)	Purvis, 2000
Open fire place	100-150	SNV, 1983
Open fire place	130-1200	Dasch, 1982
Open fire place	150-420 (PM2.5)	McDonald, 2000
Open fire place	330-630 <PM10	Schauer et al 2001.
Open fire place	180-760 (PM2.5)	Fine, 2001
Wood chips boiler	30-1600	SNV, 1983
Wood chips boiler	20, 10 (PM1)	Ohlström, 2005
Wood chips boiler	50, 30 (PM1)	Ohlström, 2005

# Emissionsfaktorer PM, småskalig biobränsle

Appliance type	Fuel	TSP=PM10=PM2.5 mg/MJ (average)
Boilers	Wood logs	150
	Wood chips	100
	Pellets	30
Stoves	Wood logs	100
	Wood chips	100
	Pellets	30
Open fire places	Wood logs	150
	Wood chips	not relevant
	Pellets	not relevant
All technologies	All biomass	previous value TSP 650 PM10 585, PM2.5 520

# Beräkning av emissioner av black carbon (BC)

## BC som fraktion av PM (IIASA)

Activity	Sector	PM_BC
FWD	DOM_FPLACE	11.5%
FWD	DOM_MB_A	15.0%
FWD	DOM_MB_M	35.0%
FWD	DOM_SHB_A	35.0%
FWD	DOM_SHB_M	30.0%
FWD	DOM_STOVE	20.0%
MD	DOM	32.4%

Biomassa  
11-35% BC

Activity	Sector	PM_BC
HF	TRA_OT_S_L	39.0%
MD	TRA_OT_S_L	37.0%
MD	TRA_OT_S_M	37.0%
MD	TRA_OT_AGR	37.0%
MD	TRA_OT_INW	37.0%
MD	TRA_OT_LB	37.0%
MD	TRA_RD_HDB	48.0%
MD	TRA_RD_HDT	48.0%
MD	TRA_RD_LD4C	60.0%
MD	TRA_RD_LD4T	60.0%
GSL	TRA_OT_AGR	15.0%
GSL	TRA_OT_INW	15.0%
GSL	TRA_OT_LB	15.0%
GSL	TRA_OT_LD2	5.0%
GSL	TRA_RD_HDB	15.0%
GSL	TRA_RD_HDT	15.0%
GSL	TRA_RD_LD2	5.0%
GSL	TRA_RD_LD4C	15.0%
GSL	TRA_RD_LD4T	15.0%

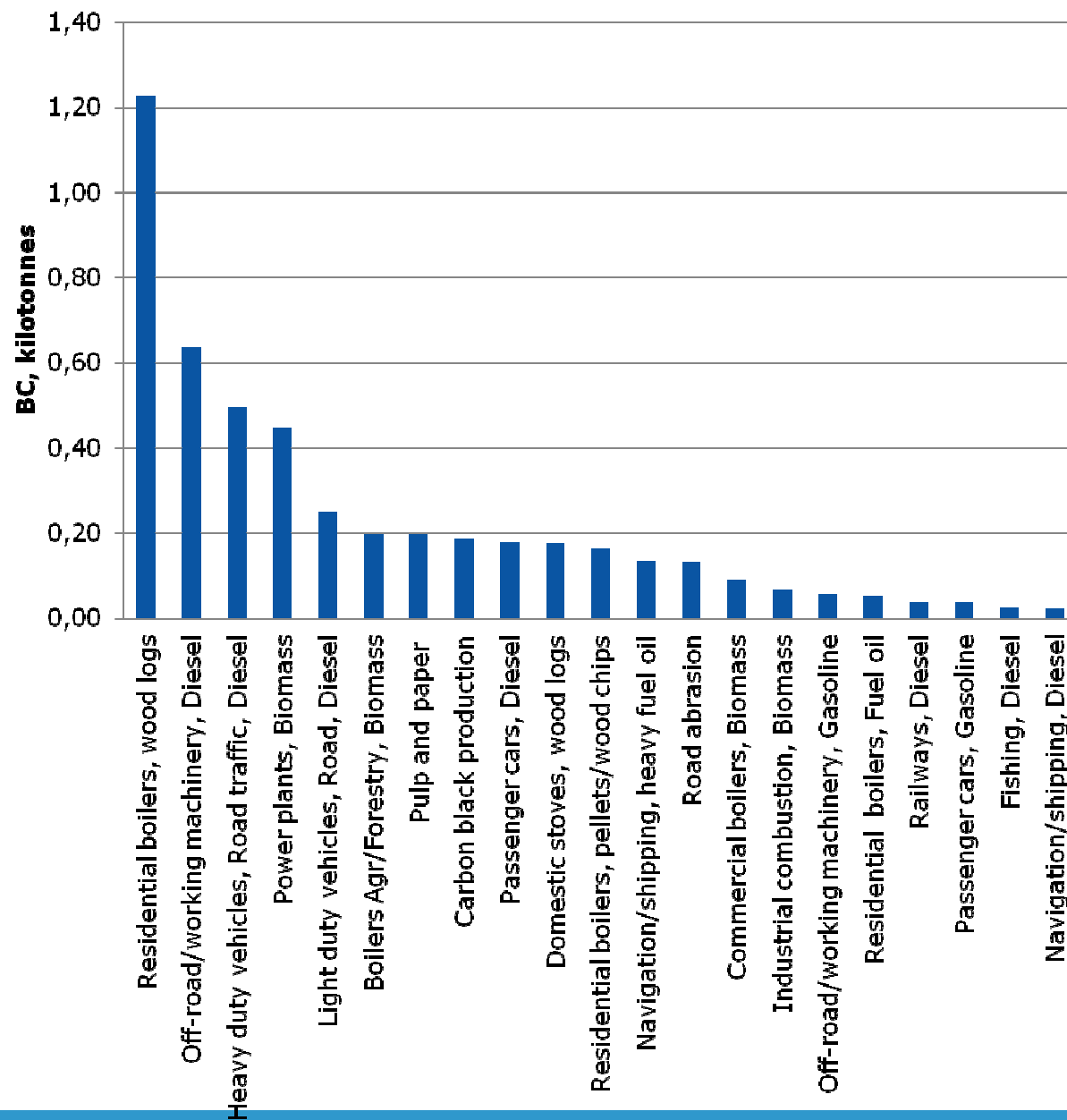
Diesel  
37-60% BC

Bensin  
5-15% BC

Emissioner av Black Carbon  
i Sverige 2005, 5.1 kton.  
Key sources =95% av totalt

	BC (kton)
<b>Total Sweden 2005</b>	<b>5,07</b>
Residential boilers, wood logs	1,23
Off-road /working machinery, Diesel	0,64
Heavy duty vehicles, Road, Diesel	0,50
Power plants, Biomass	0,45
Light duty vehicles, Road, Diesel	0,25
Boilers Agr/Forestry, Biomass	0,20
Pulp and paper	0,20
Carbon black production	0,19
Passenger cars, Diesel	0,18
Domestic stoves, wood logs	0,18
Residential boilers, pellets/wood chips	0,16
Navigation/shipping, heavy fuel oil	0,13
Road abrasion	0,13
Commercial boilers, Biomass	0,09
Industrial combustion, Biomass	0,07
Off-road/working machinery, Gasoline	0,06
Residential boilers, Fuel oil	0,05
Railways, Diesel	0,04
Passenger cars, Gasoline	0,04
Fishing, Diesel	0,02
Navigation/shipping, Diesel	0,02

## Key sources, BC, 2005



# Åtgärder, beräkningar med GAINS

- RAINS är en integrerad bedömningsmodell (Integrated Assessment Model, IAM) där information om luftföroreningar (emissioner, åtgärdsalternativ, kostnader, spridning och effekter) integreras.
- Modellen används för beräkning och optimering av europeiska åtgärdsstrategier för luftföroreningar inom "UN ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)" och EUs "Clean Air for Europe (CAFE) program".
- GAINS-modellen är en utvidgning av RAINS till att innefatta även klimatgaser.  
(<http://gains.iiasa.ac.at/index.php/home-page>)
- RAINS/GAINS har utvecklats av IIASA (The International Institute for Applied Systems Analysis)  
([www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at))

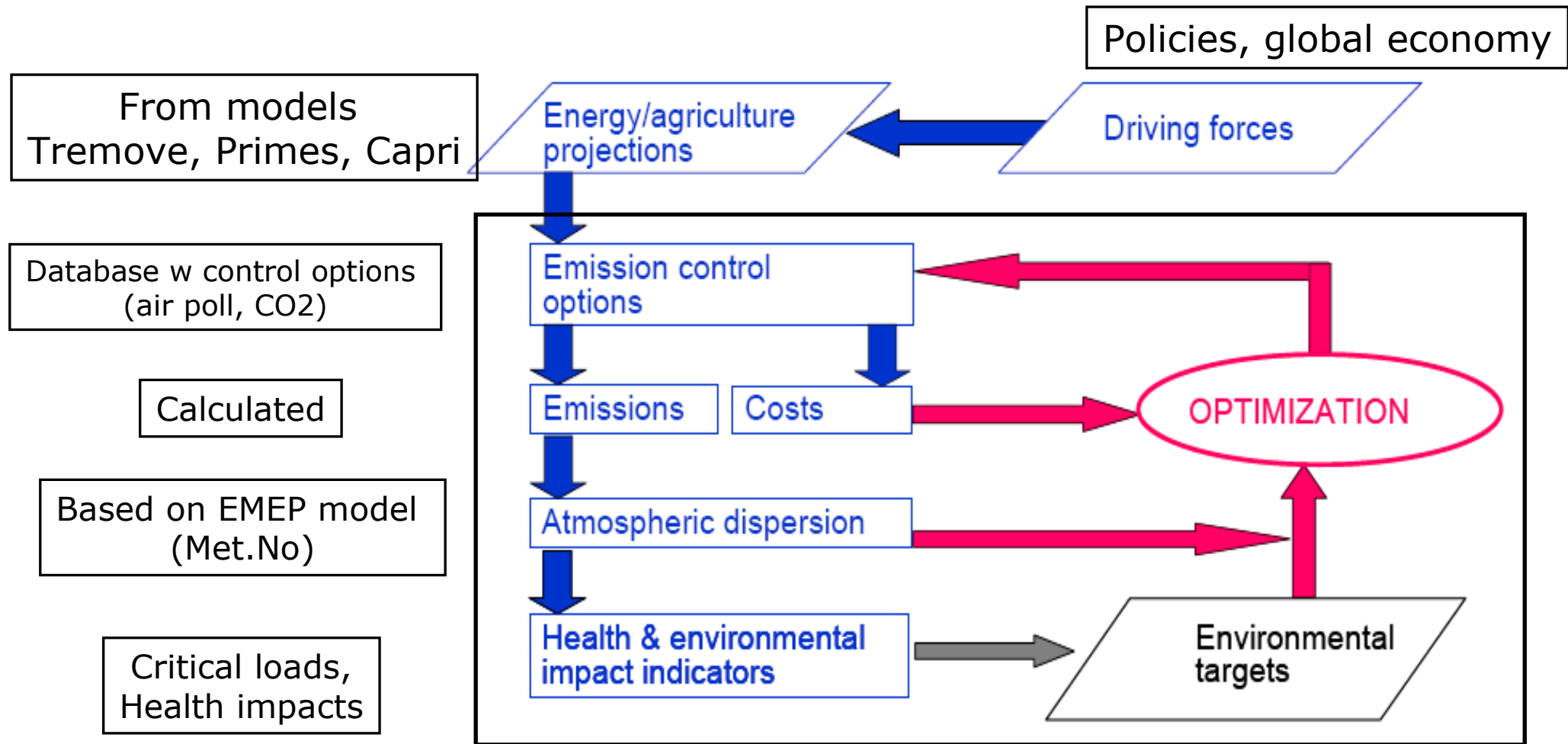
# GAINS Modellen

Fyra huvuddelar:

- Utsläpp
- Spridning
- Miljöeffekt
- Åtgärder / kostnader

Dessutom:

OPTIMERING av kostnader



# Co-control: emissions control measures with impact on multiple pollutants

- Structural measures:
  - Energy savings, efficiency improvements, bans: all pollutants ↓
  - Increased use of natural gas: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, NO<sub>x</sub>, PM ↓ CH<sub>4</sub> ↑
  - Biomass: CO<sub>2</sub> ↓ VOC, PM, CH<sub>4</sub> ↑
- Stationary sources:
  - Advanced residential combustion: VOC, PM, CO, CH<sub>4</sub> ↓
  - SCR, SNCR: NO<sub>x</sub>, CO ↓, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O ↑
  - Fluidized bed combustion: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ↓, N<sub>2</sub>O ↑
  - FGD: SO<sub>2</sub>, PM ↓, CO<sub>2</sub> ↑
- Mobile sources:
  - Low sulfur fuels: SO<sub>2</sub>, PM ↓
  - Euro-standards: NO<sub>x</sub>, VOC, PM, CO ↓ NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O ↑
  - More diesel: CO<sub>2</sub>, VOC ↓, PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ↑

# GAINS-modellens åtgärdskostnader

- Representerar investerings och driftskostnader samt eventuella bränslekostnader
- De kostnader som visas representerar en viss teknik
- På grund av att många tekniker påverkar flera utsläpp, så sammanställs inga kostnadskurvor för enskilda utsläpp
- Kostnader är 'annualiserade' givet varje tekniks livslängd och valda investeringsräntor

# Teoretiska beräkningar för 2005 års emissioner av BC, tre exempel på hypotetiska åtgärdsscenarioer

1. Industrier och energiproduktion:
  - högeffektiv partikelrening (high efficiency deduster)
2. Biomassa i småskaliga pannor:
  - pellets (istället för ved) och partikelfilter
3. Arbetsmaskiner/off-road, tung och lätt vägtrafik (inkl personbilar):
  - 10% av bränsleförbrukningen flyttas från äldsta till yngsta Eurostandard 2005

Kiloton emissions of BC		Swedish BC emission inventory	Alternative BC emission calculation	Costs per tonne BC emission avoided
<b>Stationary</b>				
Fuel	Sector and measure	Emissions	Emissions	k€/ton
Biomass	1. Industrial boilers and energy production: high efficiency particle control	0.45	0.01	14
Biomass	2. Biomass in small scale installations: pellets (instead of wood) and particle filters	1.38	0.12	39
<b>Mobile – Measure 3. 10% of fuel consumption moved from oldest to most recent Eurostandards in 2005</b>				
Diesel	3. Heavy non-road mobile machinery	0.63	0.57	92
Diesel	3. Heavy duty trucks and buses	0.50	0.44	282
Diesel	3. Light duty passenger vehicles	0.18	0.13	16
Gasoline	3. Light duty passenger vehicles	0.04	0.03	4 368

# Åtgärder i Sverige (PM<sub>2.5</sub>) för att nå MID-scenariot 2020 enligt IIASAs GAINS-beräkningar

Åtgärder inom transportsektorn ingår inte i scenarierna.  
Förväntad förändring via införande av Eurostandarder.

Bränsle	Sektor	Kontrollstrategi	PRIMES BL	MID
<b>Industrial Process: Aluminium production - primary</b>				
<b>NOF</b>	PR_ALPRIM	Electrostatic precipitator: 1 field - industrial processes (PR_ESP1)	42	0
<b>NOF</b>	PR_ALPRIM	High efficiency deduster - industrial processes (PR_HED)	55	97
<b>Industrial Process: Production of glass fibre, gypsum, PVC, other (PR_OTHER)</b>				
<b>NOF</b>	PR_OTHER	Cyclone - - industrial process (PR_CYC)	18	0
<b>NOF</b>	PR_OTHER	Electrostatic precipitator: 1 field - industrial processes (PR_ESP1)	0	18

# Åtgärder i Sverige, SO<sub>2</sub>

Bränsle	Sektor	Kontrollstrategi	PRIMES BL	MID
<b>Fuel production other than in power plants: Combustion</b>				
HF	CON_COMB	Low sulphur fuel oil (0.6% S) (LSHF)	5	0
HF	CON_COMB	Industry – wet flue gases desulphurisation (IWFGD)	29	34
<b>Industry: Combustion in boilers</b>				
HC1	IN_BO	Low sulphur coal (0.6 S) (LSCO)	27	0
HC1	IN_BO	In-furnace control – limestone injection (LINJ)	48	59

# Slutkommentarer - åtgärder

- I vissa sektorer förväntas framtida utsläppsminskning av partiklar (transporter, via EURO-standarder)
- I andra krävs det insatser för att fasa in åtgärder/tekniker (industrin, energiproduktion, hushåll)
- Bränsleskiften och energibesparingar ytterligare möjligheter för utsläppsminskning. Ej analyserade här.
- Val av åtgärdsstrategi beror på målsättning, krävs integrerad bedömning av konsekvenser, iterativ process
- GAINS användbart verktyg men resultat beroende av indata och valda antaganden

# Slutkommentarer nationella emissioner

- Stationär förbränning av biomassa samt olika typer av dieselfordon är de viktigaste källorna till BC
- Osäkerheter
  - Emissionsfaktorer PM: varierar med teknologi, bränsletyp etc
  - Fraktion BC: baseras för närvarande på schabloner