

NILU  
OPPDRAGSRAPPORT NR: 50/81  
REFERANSE: 25280  
DATO: JANUAR 1982

MIL 4  
RELATIVE BIDRAG AV FORURENSNINGER  
TIL MENNESKE OG MILJØ FRA FORSKJELLIGE  
KILDER  
FASE 1  
AV  
BJARNE SIVERTSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN-82-7247-281-3

FORORD

Nordisk embetsmannskomit  for milj vernsp rsm l vedtok i juni 1980   videreføre en del av prosjektene foreslått av en spesialistgruppe etter et Nordisk seminar om miljøeffekter av energiproduksjon på Røros i april 1979. Nordisk ministerråd (NMR) har bevilget 2.6 mill. nkr. for 1981 til alle prosjektene angående: "Miljøeffekter ved energiproduksjon, (MIL)", hvorav MIL 4 har fått 324.000 nkr.

Kontaktgruppen for nordisk miljøvernforskning under nordisk embetsmannskomit  har nedsatt prosjektgrupper for de enkelte prosjektene som støtte for oppdragsinstituttene. Prosjektgruppen for MIL 4 har hatt følgende sammensetning:

- Danmark: Civ.ing.dr.phil. Jes Fenger, Miljøstyrelsens luftlab.
- Finland: Dipl. ing. Alec Estlander, Met.inst.
- Norge : Overing. Gudmund Gaupset, Statens forurensnings-tilsyn (stedfortr. H. Dovland og S.L. Bjørnstad, SFT)
- Sverige: Byråsjef Lars Lindau, Statens Naturvårdsverk.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD .....	3
1 INNLEDNING .....	7
2 MÅLSETNING OG PROSJEKTINDELING .....	7
3 INVENTERING AV PÅGÅENDE FORSKNING .....	10
4 MULIGE METODER FOR BRUK I MIL 4.....	13
4.1 Kildeorienterte modeller .....	14
4.2 Reseptor modeller .....	19
4.3 Multi media enviromental goals .....	20
5 AKTUELLE KOMPONENTER .....	21
6 BEGRENSNINGER .....	25
7 FORSLAG TIL PROSJEKTER .....	26
VEDLEGG A: Oversikt over endel institusjoner i Norden som arbeider på felter med relevans til MIL 4 .....	33
VEDLEGG B: Enkle flytskjemaer for transport av for- urensninger i miljøet .....	53
VEDLEGG C: Oversikt over en del pågående eller avsluttete prosjekter .....	59
VEDLEGG D: Sammendrag av reiserapport RR 7/81 "Studiereise i USA sommeren 1981 i forbindelse med planlegging av NMR- prosjektet MIL 4" .....	67

MIL 4  
RELATIVE BIDRAG AV FORURENSNINGER TIL MENNESKE OG  
MILJØ FRA FORSKJELLIGE KILDER  
FASE 1

1 INNLEDNING

Norsk institutt for luftforskning (NILU) er fra Nordisk Minister-  
råds (NMR) sekretariat tildelt prosjektledelsen for et prosjekt  
som går ut på å beregne det relative bidraget av forurensninger  
til menneske og miljø fra ulike kilder (MIL 4).

Denne rapporten avslutter fase 1 av prosjektet, og inneholder en  
beskrivelse av målsetningen, prosjektets oppbygging, skisse av  
metoder for å nå målet, samt forslag til konkrete prosjekter. Det  
er i løpet av fase 1 tatt kontakt med en rekke institusjoner i  
Norden, som arbeider innenfor felter relevante for problem-  
stillingen i MIL 4. I første omgang var det aktuelt å få oversikt  
over nylig avsluttet (etter 1978), pågående og planlagt aktivitet.  
Det ble også foretatt en studiereise til USA i forbindelse med  
planleggingen av prosjektet. Basert på diskusjoner med de for-  
skjellige forskningsmiljøene i Norden og i USA, har en for å få  
fram nyttbare resultater innenfor tids- og kostnadsrammene for  
MIL 4, funnet det mest hensiktsmessig å forsøke å formulere en  
del konkrete prosjekter for det videre arbeid med MIL 4.

2 MÅLSETTING OG PROSJEKTINDELING

For å kunne bedømme behovet for utslippsbegrensninger fra energi-  
produksjonsanlegg bør man ha informasjon om i hvilken grad andre  
kilder (langtransport, industri, biltrafikk, jordbruk etc) bidrar  
til miljøbelastningen innen ett og samme område. Slike data er  
nødvendig for prioritering av innsatsene på miljøsektoren.

Målsetningen ved MIL 4 prosjektet er å kvantifisere hvor mye forskjellige former for energiproduksjon kan bidra til forurensningsbelastningen via luften på mennesker og miljø, sett i forhold til bidragene fra andre kilder.

Prosjektet er delt inn i fire hovedfaser, der man i fase 2 og 3 må fordele arbeidet på flere delprosjekter. Disse delprosjektene formuleres etter at resultatene fra fase 1 foreligger. Prosjektet består i hovedtrekk av følgende deler:

- Fase 1: Inventering av pågående arbeid i Norden, mulige eksponeringsveier for forurensninger fra energiproduksjon, identifisering av problemområder (manglende kunnskap/metodikk), utforme prosjektplan slik at det skjer en komplettering og koordinering av pågående nasjonale prosjekter.
- Fase 2: Metodeutvikling, etablering av delmodeller, spesialstudier basert på identifiserte problemområder i fase 1, tilrettelegging av data for gjennomføring av konkrete beregninger. Delberegninger.
- Fase 3: Testing og verifisering av de etablerte metodene på gitte komponenter og områder, beregning av relative bidrag (inkludert opptaksmekanismer, reseptormodeller på målte data, akkumulering/tidsfaktorer).
- Fase 4: Sammenfattende vurderinger med utarbeidelse av slutt-rapport, beskrivelse av metoder, oppsummering av de beregnede relative bidrag.

En vesentlig del av arbeidet på prosjektet vil ligge i fase 2, hvor en vil sette ut deloppgaver til forskjellige institusjoner i Norden, basert på informasjon fra fase 1. Denne fasen innbefatter for eksempel:

- tilpasning, eller tilrettelegging av utslippsoversikter, eksempelvis basert på informasjon fra MIL 2, men vesentlig basert på foreliggende data fra nasjonale prosjekter
- beregning av spredning, transformasjon og deposisjon av spesifiserte komponenter som  $SO_x$ ,  $NO_x$ , partikler eller PAH
- eksponeringsberegninger i en befolkningsfordeling som endrer seg i konsentrasjonsfeltet (trafikkmiljø, utendørs/innendørs)
- beregning av eksponering via føde, f.eks. for gitte karsinogene eller mutagene stoffer.

Det er nødvendig å bygge videre på prosjekter som allerede er igang ved forskjellige institutter i de nordiske land. I noen tilfeller kan en fordele delprosjekter innenfor spesielle problemområder til aktuelle institusjoner. I løpet av fase 2 vil det bli aktuelt å arrangere et eller flere seminarer for å angi statusrapporter og utveksle synspunkter og erfaringer.

Fase 2 og 3 går til en viss grad inn i hverandre og vil for flere delprosjekter i praksis utføres parallelt. I fase 3 bør en være klar til å foreta beregninger av relative bidrag basert på allerede utførte arbeider, hvor det finnes emisjonsoversikter, befolkningsdata, meteorologiske data samt konsentrasjonsdata (luft, vann, økosystem).

Fase 4 går ut på å utarbeide en sluttrapport som skal inneholde:

- en oppsummering av beregnede relative bidrag fra energi-produksjonen for de eksempler som er trukket fram i Norden.
- oversikt over eksisterende metoder i og utenfor Norden for å beregne det relative bidraget av forurensninger via luft til mennesker og miljø.
  - framtidig forskningsbehov.

### 3 INVENTERING AV PÅGÅENDE FORSKNING

En oversikt over endel institusjoner i Norden som arbeider på felter med relevans for MIL 4 er gitt i Vedlegg A. Institusjonene har vært kontaktet ved besøk, pr brev og pr telefon. Ved disse kontaktene har en forsøkt å klarlegge følgende:

- hva er utført av arbeider med relevans for MIL 4
- hvilke felter har instituttet særlig kompetanse på
- hva pågår av arbeider som kan inngå som deler til MIL 4, angående f.eks.:
  - utslipp
  - spredning/transformasjon
  - deposisjon
  - opptak
  - økologi
  - virkninger
- hva planlegges innenfor ovenfornevnte arbeidsfelter
- hva kan/ er en interessert i å bidra med innenfor MIL 4.

Følgende institusjoner har vært kontaktet:

Danmark: Forsøgsanleggene på Risø

meteorologiseksjonen (E.L. Petersen)

helsefysikavd. (P. Hedemann Jensen)

reaktorteknikavd. (T. Petersen)

Miljøstyrelsens luftforurensningslaboratorium

(J. Fenger, U. Torp, L.P. Prahm)

Danmarks Tekniske Højskole

lab. for tekn. hygiene (J.C.Tjell)

lab. for økologi og miljølære (B. Rasmussen)

Finland: Finlands Meteorologiske institutt (FMI)

(Kulmala, G. Nordlund, L. Leskinen, E. Rantakrantz,  
R. Mattsson)

Tekniske forskningscentralen (VTT)

(S. Vouri, R. Lautkaski)

Universitetet i Oulu (botanisk avd)

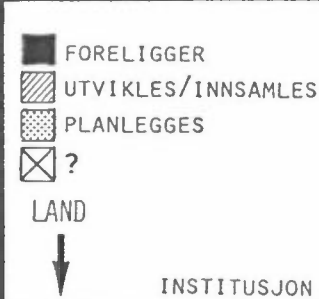
(S. Huttunen)



Norge: NILU (K.E.Grønskei, J. Schjoldager, Ø. Hov, S. Larssen  
A. Semb o.a.)  
Sentralinstitutt for industriell forskning (SI)  
(A. Bjørseth, I. Alfheim)  
SINTEF (avd. teknisk kjemi) (J. Barikmo)  
Institutt for energiteknikk (IFE) (K.Garder, U. Tveten)  
Universitetet i Trondheim (Kjemisk institutt, NLHT)  
(E. Steinnes)

Sverige: Institutt för vatten och luftvårdsforskning (IVL)  
(B. Steen, C. Bengtson, P. Grennfelt)  
Sveriges meteorologiska och hydrologiska  
institut (SMHI)  
(B. Bringfelt, C. Persson, E. Omstedt)  
Studsvik energiteknik AB (C. Gyllander, U. Widemo)  
Universitetet i Lund (inst. plant ecology)  
( G. Tyler)  
Met. inst. Stockholm Universitet (MISU) (H. Rodhe).

Figur 1 viser en oversikt over de forskjellige institusjonenes arbeidsfelter. De institusjonene som er med i figuren, men ikke nevnt i oversikten ovenfor er omtalt av andre eller tatt med på grunnlag av foreliggende rapporter.

			DATA										MODELLER/BEREGNING							
	EMISJON	METEOROLOGI	BEFOLKNING	LUFTKVALITET	KONS. I ØKOSYST.	EFFEKT NATUR	EFFEKT HELSE	PUNKTKILDE	GATEMODEL	BYMODEL	MESOSKALA	REGIONAL	KJEMISKE REAKSJ.	DEPOSISJON	EKSPONERING	OPPTAK/DOSE	COMPARTMENT	DOSE/RESPONS	RESEPTOR MODEL	
DANMARK	RISØ																			
	MSTL																			
	DTH																			
	DMI																			
FINLAND	FMI																			
	VTT																			
	UN. OULU																			
	UN. HELS.																			
NORGE	NILU																			
	NMI																			
	IFE																			
	UIO																			
	UIT																			
	SI																			
	NLH																			
	SINTEF																			
	SIFF																			
SVERIGE	FOA																			
	IVL																			
	MISU																			
	MIUU																			
	SMHI																			
	STUDSVIK																			
	LUND U.																			
	KAROLINSKA SÖD																			

Figur 1: Endel institusjoner relevante for MIL 4, og deres arbeidsfelter. Ytterligere informasjon om institusjonenes mulige innsats i MIL 4 er omtalt i Vedlegg A.

#### 4 MULIGE METODER FOR BRUK I MIL 4

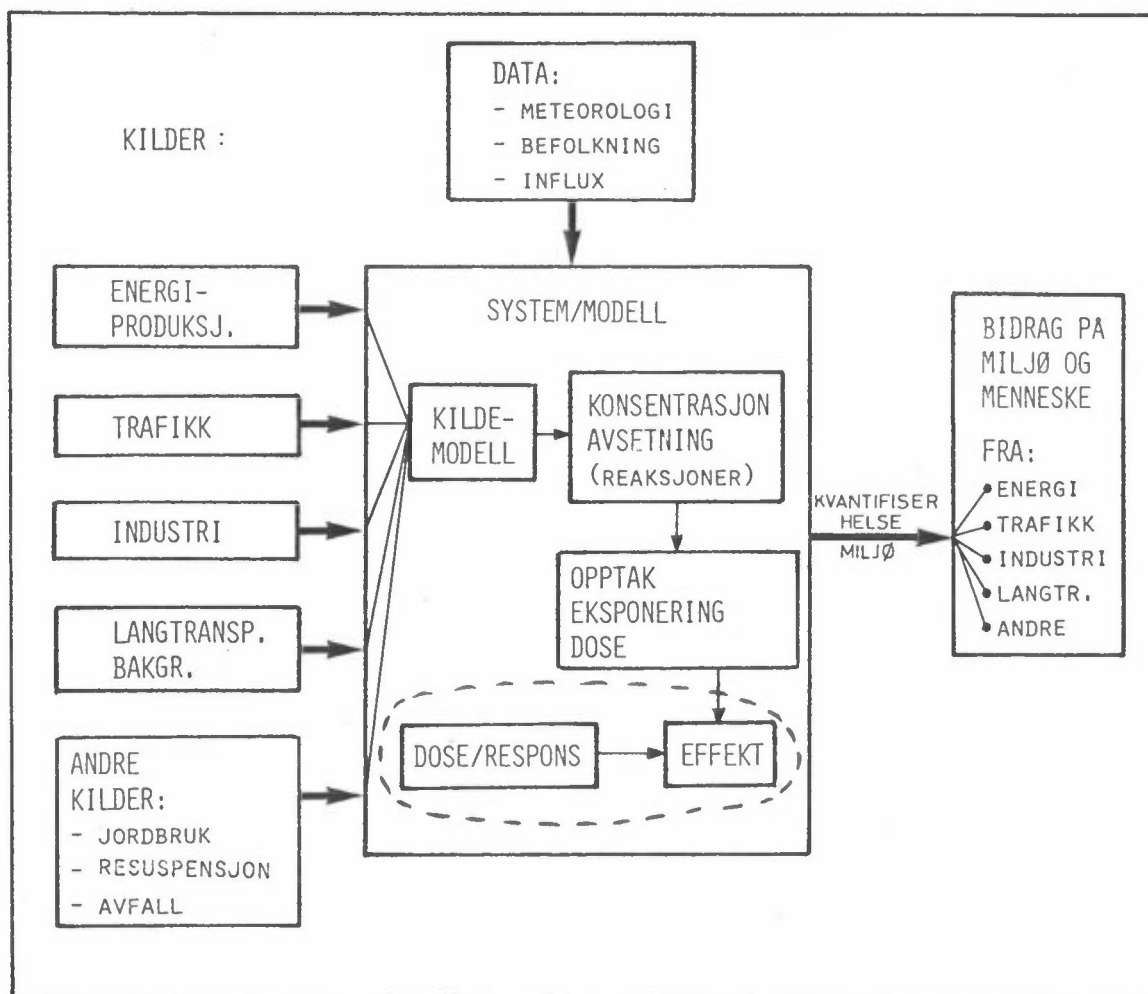
For å kvantifisere de relative bidragene til forurensningsbelastningen via luften kan en tenke seg tre hovedgrupper av løsningsmetoder:

1. Kilde-orienterte modeller (for utslipp, spredning, reaksjoner, deponisjon, opptak, eksponering etc).
2. Reseptormodeller (basert på målte konsentrasjonsfordelinger)
3. Relative belastningsfaktorer (MEG-verdier, "hazard index").

Vi skal i det følgende kortfattet se nærmere på disse metodene.

Målsetningen ved MIL 4 forutsetter at man ved hjelp av et system eller modell skal kunne beregne miljøbelastningen (som konsentrasjon, eksponisjon, dose eller effekt) fra hver enkelt kildekategori (energi, trafikk, industri, langtransport og andre kilder). Figur 2 viser en skisse av prosjektets innhold.

Oppgavene i fase 2 og fase 3 av MIL 4 blir å ta fram metodene som etablerer sammenhengene mellom inngangsdataene og de relative bidragene til miljøbelastningen og utføre beregninger av relative belastninger.



Figur 2: Grov prinsippskisse av prosjektet MIL 4.

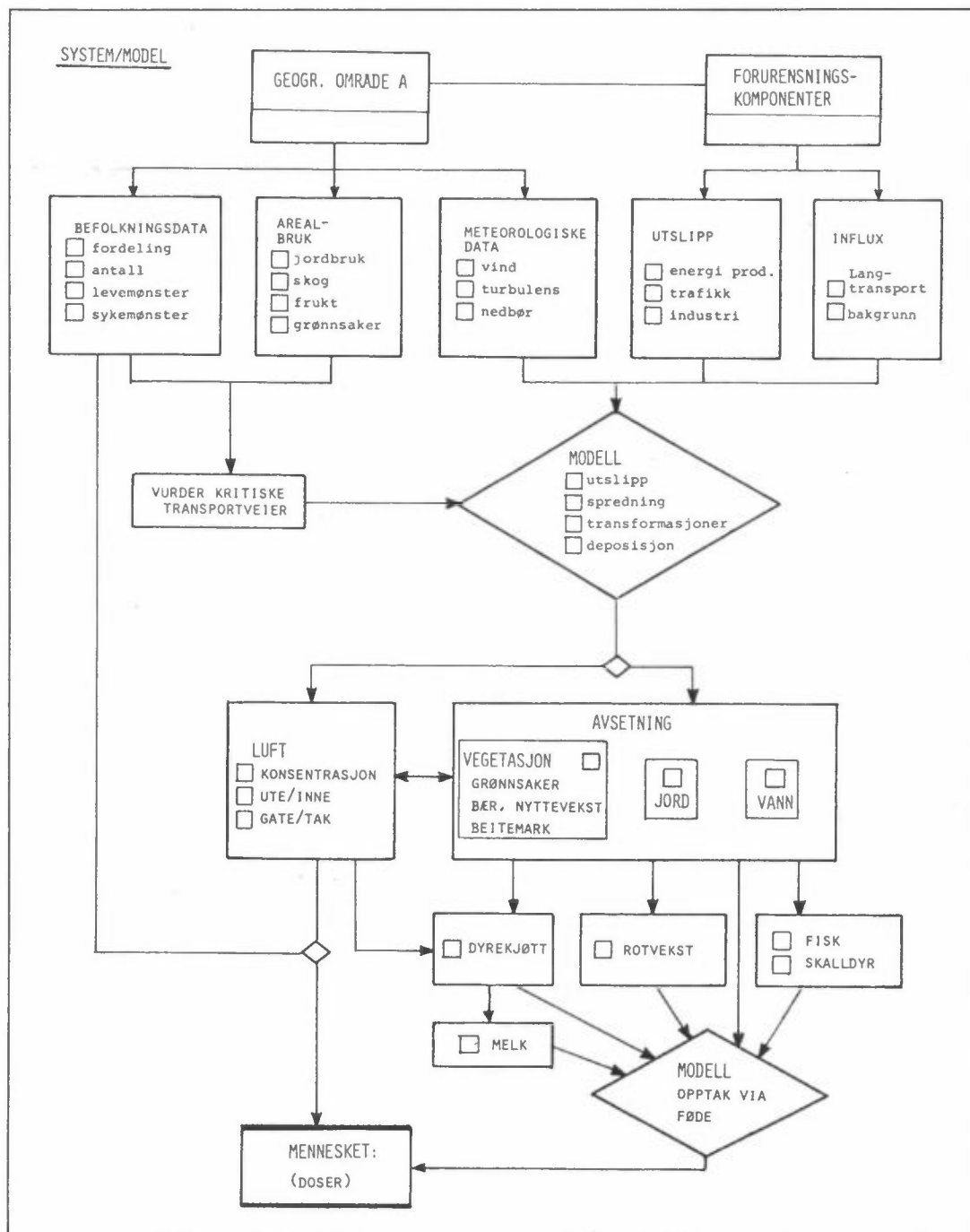
#### 4.1 Kildeorienterte modeller

De kildeorienterte modellene går i alment ut på å etablere sammenhenger mellom utslippene og miljøeffektene gjennom modellering av spredning i atmosfæren, avsetning og opptak. Modellenes innhold og kompleksitet er bl.a. avhengig av:

- kildetype (punkt, areal, stasjonær, mobil)
- forurensningstype (kjemiske, fysiske egenskaper)
- geografisk skala (lokal, meso(10-300 km), storskala)

- reseptor (vegetasjon, mennesket)
- mulige opptaksveier til mennesket
- levetid (biologisk halveringstid)

En generell skisse av et slikt modellsystem er vist i figur 3.



Figur 3: Prinsippskisse for beregning av forurensningsbelastningen via luft og miljø på mennesker.

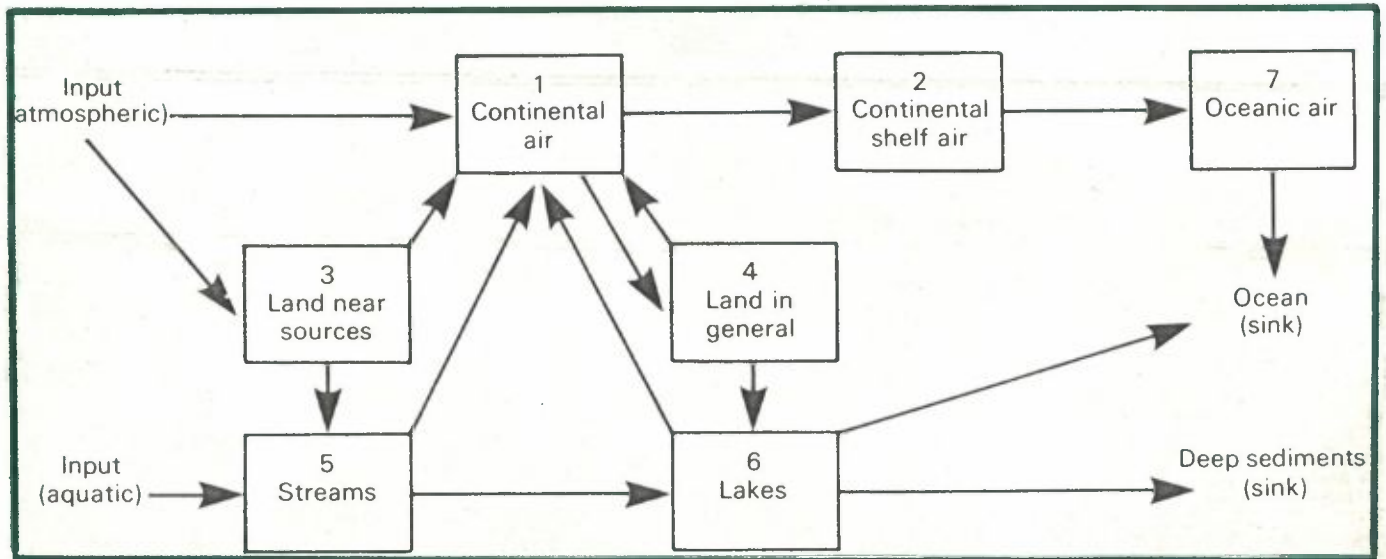
For å utføre beregningen av relative bidrag ved hjelp av kildeorienterte modeller er det nødvendig å definere et geografisk område (by, kommune, landsdel, land, kontinent) hvor en må framskaffe data for befolkning, arealbruk og meteorologi. Da modellenes oppbygging og kompleksitet er avhengig av hvilke forurensninger en skal modellere, er det også viktig å spesifisere hvilken forurensningskomponent eller grupper av stoffer en vil se på, før en samler inn data om emisjon og bakgrunnsforurensning. Det er vanligvis forbundet med store arbeidsinnsatser bare å skaffe til veie datagrunnlaget for å gjennomføre slike modellberegninger. Det er derfor viktig at en i det videre MIL 4-arbeidet anvender og "henger seg på" allerede pågående eller gjennomførte nasjonale prosjekter.

Eksempler på flytskjemaer for endel forurensningskomponenter er vist i Vedlegg B. Disse figurene viser at det i tillegg til store forskjeller i modellenes oppbygging for forskjellige grupper av forurensninger, også er forskjeller i de forskningsmessige utfordringene fra en forurensningskomponent til en annen. For nitrogenoksydene og deres avledningsprodukter består en vesentlig del av problemene i modellering av reaksjonsmekanismene. Før disse er rimelig godt beskrevet er det vanskelig å estimere de relative bidragene av f.eks. NO<sub>2</sub>-belastningene fra de forskjellige kildene.

For toksiske metaller derimot, som f.eks. bly (Pb) betyr modelleringen av reaksjonene mindre. For beregning av blybelastningen i befolkningen betyr opptaksveien luftkonsentrasjon/inhalasjon bare ca 10% av det totale opptaket. For bly er det deponisjon på overflaten av frukt og grønnsaker som må modelleres, idet en antar at diettopptak representerer opp mot 80% av blyopptak i mennesket.

Dette gjelder de fleste tungmetaller og toksiske mikroforurensninger. For kadmium er det uttrykt bekymring for en stadig økning av innholdet i jordbruksprodukter delvis pga. avsetning via utslipp til luft, delvis pga. bruk av kunstgjødsel. En vesentlig del av kadmium-opptaket i mennesker synes å stamme fra diettopptaket. (Se figur B3 og B4 i Vedlegg B).

For å beregne opptak av forurensninger via næringskjeder av f.eks. toksiske metaller, er det mulig å anvende boksmodeller "compartment models" basert på massebalansestudier, og empiriske overføringsfaktorer fra et medium (compartment) til et annet. Figur 4 viser meget enkelt oppbygningen av slike bokser. Eksemplet er gitt for transport av kvikksølv i miljøet beregnet ved hjelp av overføringer gjennom 7 forskjellige "compartments".



Figur 4: En "compartment"-modell for transport av kvikksølv (Hg).  
(Kilde: Marc-report No. 14, 1979).

Slike modeller kan deles i to hovedtyper:

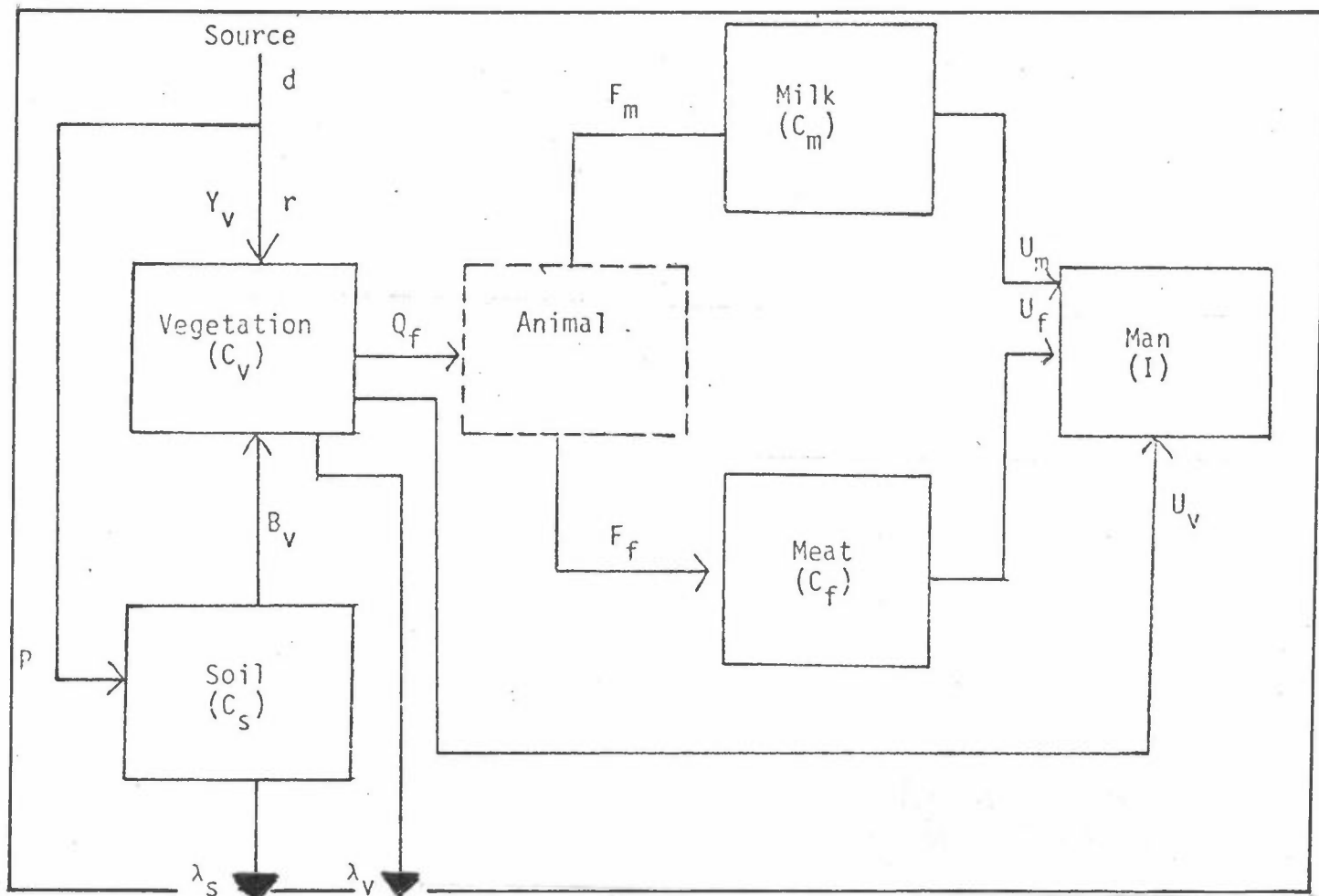
Overslags- eller vurderingsmodeller ("Assessment models") og forskningsmodeller. I overslagsmodellene fokuserer en kun på de viktigste kjedene. Disse modellene bør estimere "konservativt", slik at en er på den "sikre siden". De er på den måten viktig for en grovsortering av problemene.

Forskningsmodellene utvikles for å studere komponentenes oppførsel i økosystemet. Disse er mer kompliserte enn overslagsmodellene og bør ikke inneholde noen sikkerhetsmarginer. Av disse modellene finnes det kvasistasjonære og dynamiske modeller. De dynamiske compartmentmodellene anvendes i økologisk forskning for å studere delsystemer, og vil sannsynligvis bli svært kompliserte for å

svare på problemstillingene i MIL 4. De kvasistasjonære likevektsmodellene arbeides det med ved en del institusjoner i Norden. Disse har bl.a. vært anvendt i radioøkologiske vurderinger, f.eks. ved beregning av doser ved inntak av langlivete radioaktive stoffer som resultatet av utslipp fra kjernekraftverk. Figur 5 viser en kvasistasjonær likevektsmodell hvor en anvender overføringsfaktorer fra ett medium (boks) til et annet. Det totale diettopptaket (I) er i dette tilfellet gitt som summen av opptak via melk, kjøtt og planter:

$$I = (U_m \cdot C_m) + (U_f C_f) + (U_v C_v)$$

der U er konsumert av henholdsvis melk, kjøtt og planter. Denne typen compartment modeller er enkle å etablere. De største vanskelighetene ligger i å bestemme overføringsfaktorene.



Figur 5: Kvasistasjonær likevektsmodell med 5 compartments.



"Exposure commitment" konseptet, som leder fram til en integrert eksponering fra forurensningskomponenter knyttet til visse utslipp, anvendes for å finne overføringsfaktorene fra ett medium til et annet. Når disse er gitt kan en i tillegg til å beregne hvilke transportveier som har størst betydning for den totale eksponeringen, også etablere et grunnlag for i neste omgang å estimere forventede effekter ("risk-assessment") av en gitt utslippsfordeling.

#### 4.2 Reseptormodeller

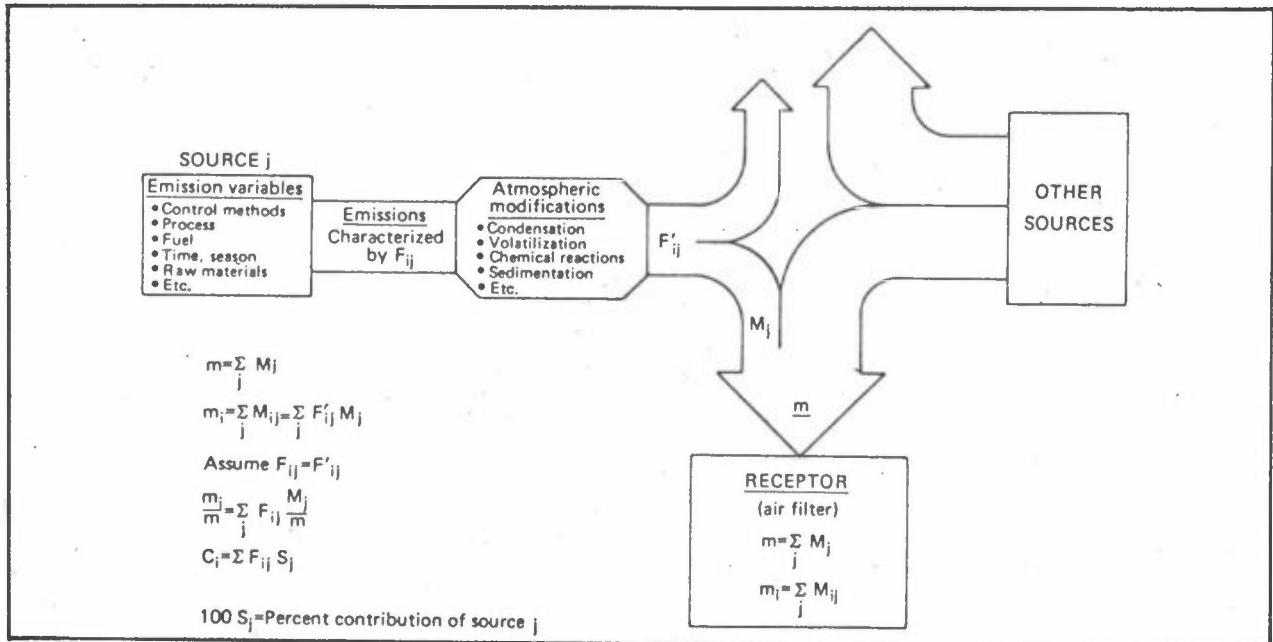
Mens kildeorienterte modeller starter med kilden og beregner seg fram til konsentrasjonene eller effektene, starter reseptormodellene med målte konsentrasjoner og estimerer bidraget fra de forskjellige kildene. Reseptormodellen har særlig vært anvendt på svevestøv-data, via bestemmelse av partiklenes egenskaper, sammensetning, størrelsesfordeling og tidsvariasjon.

Ved kildene bestemmes ofte den karakteristiske sammensetning ("fingerprints"). Konsentrasjonsfordelingene som måles består av kombinasjoner av mange slike "fingerprints". En enkelt kilde kan vanligvis ikke umiddelbart identifiseres, og én kildes bidrag til den totale belastningen på målepunktet kan heller ikke direkte tallfestes. I reseptormodellene anvendes en rekke statistiske/matematiske metoder for å identifisere de forskjellige kildene. Dette krever at en har målt mange variable (komponenter) i hver prøve av et rimelig antall prøver. Reseptormodellene anvendes også ofte sammen med andre data for vind, spredning, nedbør, trafikk tetthet, osv. til å bestemme de forskjellige kildenes relative bidrag. Flere forskjellige typer reseptormodeller har vært anvendt de siste par år:

- faktoranalyse
- kjemisk massebalanse
- klusteranalyse
- anrikningsfaktorer
- tidsseriekorrelasjon
- multivariabel analyse
- mønstergjenkjennelse

- forurensningsroser.

For å kvantifisere relative bidrag fra forskjellige kilder har kjemisk massebalanse oftest vært anvendt. Prinsippene ved denne metoden er vist i figur 6.



Figur 6: Skjematisk framstilling av reseptormodell basert på kjemisk massebalanse-metoder. (Kilde: Cooper, Watson, JAPCA, 30, p.1116).

Reseptormodeller kan også med fordel anvendes på målte PAH-konsentrasjoner. Metoden bør derfor være tilgjengelig før fase 3 av MIL 4, og kan da anvendes på data fra MIL 2.

#### 4.3 "Multimedia environmental goals" (MEG)

EPA i USA har etablert en databank for "multimedia environmental goals" (MEG), som er under utprøving ved SI i Norge.

MEG beskriver maksimumsnivå for kjemiske komponenter i luft, vann og land, som ikke vil føre til noen negative effekter ved eksponering til befolkningen eller i økosystemet. Systemet antar lineær respons og inneholder maksimumsverdier for ca 1000 kjemikalier, de fleste knyttet til anvendelse av fossile brensler. Bakgrunnsinformasjon om disse tusen kjemikalier er lagret på en UNIVAC-computer ved EPA.

Da det kan være mulig å bruke disse data i en vurdering av den relative betydningen av alternative utslipp (forskjellige energiscenarios), bør en nærmere utredning om systemet foretas i fase 2 av MIL 4. Det finnes MEG-verdier for utslipp (DMEG) og for miljøet (AMEG), og metodene går i korthet ut på å sammenligne totale "ambient severity" (TAS) gitt ved:

$$TAS = \sum_i^N (ac_i / AMEG_i)$$

der  $ac$  er "ambient concentration" av komponent  $i$ . Metoden egner seg neppe for kvantifisering av relative bidrag for forskjellige kildetyper.

Andre metoder av samme type som MEG-systemet som kan vurderes er for eksempel "composite hazard index" og "Relativen Schadstoffbelastung" (Jansen og Schikarski, Karlsruhe).

## 5 AKTUELLE KOMPONENTER

Som det framgår av figur 3 og kapittel 4.1 er det nødvendig å spesifisere forurensningskomponent, før det kan foretas tallfestede beregninger av relative bidrag fra forskjellige kilder. Prioriteringen av de forskjellige komponentene for å ha et rimelig antall prosjekter å arbeide videre med i MIL 4, kan baseres på flere kriterier:

- utslippsmengder fra forskjellige energikilder
- virkningenes alvor (skadegrad) eller omfang (f.eks. antall mennesker)
- luftforurensningenes betydning i forhold til andre tilførselsesveier av de samme stoffene.

Enhver prioritering vil være subjektiv, samtidig som det må foretas vurderinger som spenner over flere fagområder. Prioriteringer av f.eks. gruppen helsefarlige stoffer er i mange tilfeller utført tidligere av uavhengige grupper. Det vil være en stor fordel om en kan støtte seg til dette.

En prioritering på grunnlag av virkningenes skadegrad vil likevel lide under at en må avveie ikke-sammenlignbare størrelser:

- a) helsevirkninger
- b) virkninger på naturmiljøet på kort og lang sikt
- c) estetiske virkninger
- d) økonomiske virkninger.

Bare på d) kan en komme fram til kvantitative kriterier. Når det gjelder prioritering av luftforurensninger i forhold til andre tilførselsveier (f.eks. bidraget av kadmium fra bruk av kunstgjødsel i forhold til avsetning fra atmosfæren) er vi på relativ trygg grunn. Utslipp til luft og avsetning/eksponering bør tas med dersom dette utgjør mer enn en viss andel av den samlede ukontrollerte materialtransport innenfor det spesifiserte området (> 25%).

Den enkleste prioriteringen av hvilke stoffer som skal tas med for de enkelte kildegrupper (varmekraftverk, husoppvarming, transport osv) vil være basert på denne kildegruppens andel av totalutslippene for det aktuelle stoff, eventuelt med en vekt-faktor for eksponering/spredning.

Relative emisjonsfaktorer for forskjellige anvendelser og brenseltyper er gitt i tabell 1.

Tabell 1: Emisjonsfaktorer i (g/MJ) for forskjellige brenseltyper og anvendelser.

	Varmekraftverk			Ind.oppv.		Husoppvarming				Transport	
	Kull	Olje	Gass	Kull	Olje	Kull	Gassolje	Ved	(gass)	Diesel	Bensin
*SO <sub>2</sub>	1.0	1.2	-	1.0	1.2	0.8	0.15	-	-	0.15	-
NO <sub>x</sub>	0.3	0.3	0.2	0.1-0.3	0.2	0.0	0.1	0.02	0.05	1-2	0.5
CO	0.02	0.01		0.03	0.02	0.3-3	0.01	10	0.01	0.6	1-5
NMHC	0.01	0.01		0.02	0.01	0.1-0.3	0.01	0.1	-	0.1	0.1
TSP	(1-5)**	0.025		(1-5)**	0.07	0.3	0.03	0.5	-		
Sot										0.04	0.004
B(a)P	0.02			< 1	10-30	2500	0.9	<u>135</u>	0.08		
***	0.4										

\* Midlere svovelinhold: kull: 1.5%S, tung fyringsolje: 2.4% gassolje og diesel: 0.3%

\*\* uten rensing

\*\*\* µg/MJ

Beregninger av svoveloksyders og nitrogenoksyders bidrag ved brenning av kull eller olje kommer en neppe utenom. Dessuten antyder tabellen at POM (i tabellen gitt ved BaP kan være adskillig mer interessante ved lokal husoppvarming enn som resultat av utslipp fra varmekraftverk. Sekundære forurensninger som fotokjemiske oksydanter og sulfat på partikler er også av interesse.

Når det gjelder partikkelutslippet inneholder dette en rekke toksiske metaller. Utslippsmengdene varierer sterkt avhengig av brenselets sammensetning, forbrenning og renseteknologi.

Tabell 2 viser innholdet av en del elementer i forskjellige kulltyper, samt det totale utslipp pr år fra Statens Naturvårdsverk's estimerte "normal-kull".

Tabell 2: Innholdet av en del elementer i forskjellige kulltyper og estimerte utslipp pr år fra brenning av Statens Naturvårdsverk's "normal-kull".

Metall:	Innhold i kull fra:				Utslipp:		
	Svalbard (Svea)	Polen	Syd-Afrika	SNV normal kull	Andel etter rensing		Pr år fra SNV-kull (kg) <sup>1)</sup>
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%) <sup>1)</sup>	(%) <sup>2)</sup>	
<b>Arsen</b>	1.37	2.52	7.4	5	1.8	2	120
Kadmium	0.15	0.19	<0.5	0.3	5.0	2	20
Kobolt	0.5	1.1	13	6	0.67	1	54
Krom	2.5	5.3	109	20	2.0	1	540
Kobber	3.0	8.5	10	15	1.0	2	200
Kvikksølv	0.054	0.06	0.3	0.3	93		370
Mangan	5.4	150	48	40	0.55	2	300
Molybden	0.5	1.1	8.5	5	0.47	2	32
Nikkel	2.5	9.5	59	15	8.0	2	3200
Bly	0.5	1.1	20	5	3.9	5	540
Selén	1.99	0.86	2.4	3	14	2	560
Vanadium	29	21	33	25	1.0	2	340
Sink	49	100	40	45	1.9	1	1160

1) Energikommisjonens tall 1978

2) KHM tall 1981

På denne bakgrunn synes følgende elementer å være av særlig interesse: Ni, Zn, Se, Pb, Cr, Hg og V. Men en rangering av metallene kan ikke skje bare på basis av utslippsmengder.

Hvis man forsøker å rangere metallenes betydning etter giftighetsgrad i miljøet (planter, dyr, vann, økosystem), som f.eks. vist i tabell 3, står en tilbake med Cd, Ni, V, Se og Hg.

Tabell 3: Toksiske elementer rangert med fallende biologisk betydning i terrestriske økosystem. Det er tatt hensyn til toksisitet, behov for forskning, avsetning og opptak. (Kilde: ERDA Workshop 1976, rep. 77-64).

Rank <sup>a</sup>	Element	Comments
1	Cd	Very high toxicity to both plants and animals
2	Ni	Very mobile in plants
3	Tl	Very mobile in plants
4	Cu	Can be very toxic but formation of complexes reduces toxicity
5	F	Gaseous forms highly toxic to plants, accumulative toxicity in plants and animals
6	V	High enrichment factor
7	Zn	Effects probably positive
8	Co	Reasonably high enrichment factor
9	Mo	High enrichment factor, positive effects for plants or negative for animals, depending on region
10	W	Very mobile in plants
11	Hg	High enrichment factor, toxicity in food chain
12	Se <sup>b</sup>	Interacts with Ni, Hg, etc.

Ved EPRI i USA har man nå konsentrert oppmerksomheten om Se, As og Hg. Valget er imidlertid også avhengig av utslipp, spredningsforhold og andre kilder i området. Fluorider er f.eks. en forurensning som bør studeres med tanke på virkning på planter og dyr.

Ved å vurdere andre virkninger enn på det terrestriske økosystem, kan rekkefølgen bli en annen. Ved en endelig rangering bør en også se på anrikningsfaktorer i miljøet og for helsevirkninger se på befolkningsmønstra. Forholdet mellom utendørs og innendørs konsentrasjoner (forskjeller i kildene) og tiden mennesker opp-

holder seg i de forskjellige "micro environments" er av betydning for en grovutvelgning av aktuelle forurensninger. Ser en på de viktigste helserisika som mulige kreftfremkallende eller mutagene og kanskje teratogene virkninger bør en studere As, Cd, Ni og Cr. (Som tillegg også kanskje F og U). En kan også i en slik grov-sortering anvende DMEG-verdier (se kap. 4.3).

## 6 BEGRENSNINGER

Prosjektets målsetning som er å kvantifisere energiproduksjonens bidrag til forurensningsbelastningen på menneske og miljø, favner vidt og kan omfatte et meget stort område av forurensninger og virkninger.

Ved diskusjon av hvilke prosjekter en skal satse på i fase 2 og fase 3 av MIL4, har det vært flere hensyn å ta:

- de økonomiske rammene for MIL-prosjektene er begrenset
- tidsbegrensninger (MIL4 skal være avsluttet i 1984)
- pågående nasjonale og internasjonale prosjekter
- foreliggende data/databehov
- forsknings-status, utviklingsbehov.

Når det gjelder diskusjonen om hva slags type effekter en skal vurdere; helseaspekter, andre miljøeffekter, høykonsentrasjons-episoder (korttids effekter, akutte skader), langtidseksponering (kroniske effekter) etc., vil dette bli vurdert i hvert enkelt delprosjekt. En slik diskusjon vil være avhengig av hvilke komponenter en vurderer, datatilgjengelighet, tidligere undersøkelser og områdets art (topografi, befolkningsfordeling, vegetasjon, geologi etc.) MIL 4's målsetning er ikke å beregne konsekvenser. Beregningene stopper ved eksponering/dose, men det vil bli etablert nær kontaktet til NMR-gruppen om helsevirkninger av luftforurensninger og MIL 2.

I prosjektforslagene har en også bevisst utelatt en del forurensningskomponenter, av forskjellige årsaker:

- fotokjemiske oksydanter er ikke tatt med i denne undersøkelsen, delvis fordi problemene ikke er spesifikke for energiproduksjon, delvis fordi det går et stort arbeide internasjonalt (OECD) og innen Norden.
- kvikksølvproblematikken er utelatt fordi denne tas opp i det svenske prosjekt KHM.
- nitratdeposisjon er ikke med på grunn av de vanskelighetene en står overfor på metodesiden.

## 7 FORSLAG TIL PROSJEKTER

Henvendelsene og diskusjonene med de forskjellige forskningsmiljøene i Norden (Vedlegg A, og figur 3) har dannet grunnlaget for å komme fram til en del konkrete prosjektforslag for det videre arbeid i MIL 4. Utgangspunktet var i størst mulig utstrekning å henvende seg til institusjoner som allerede var igang, eller har gjennomført nasjonale prosjekter, hvor data, modeller eller resultater kan brukes som utgangspunkt i MIL 4. En del slike prosjekter er i Vedlegg C forsøkt avmerket på diagram som vist i figur 2. I Vedlegg C er testområde, komponent, beregningsdeler samt utførende institusjon avmerket.

Erfaringene fra en studiereise i USA i forbindelse med planleggingen av MIL 4 har også vært nyttige i valget av prosjekter, metoder og komponenter. En kort oppsummering av reiserapporten fra USA (NILU RR 7/81) er gitt i Vedlegg D.

Når en dessuten tar hensyn til begrensningene i kapittel 6, har en **nedenfor skissert en del forslag til delprosjekter** som kan være aktuelle å gjennomføre i fase 2 og 3 av MIL 4. En oversikt over aktuelle prosjekter er gitt i tabell 4.



Tabell 4: Forslag til delprosjekter i fase 2 og 3 av MIL 4.

Komponent	Område	Metode	Beregn.	Aktuelle inst.
SO <sub>x</sub>	Helsinki	Spredn.mod.	kons/eksponering	FMI/VTT
NO <sub>x</sub>	Stockholm Örebro	Spredn.mod.	kons/eksponering	SMHI/IVL
NO <sub>x</sub> + SO <sub>x</sub>	Oslo	Spredn.mod.	kons/befolkn.eksp.	NILU
Cd	Sjælland	Spredn. comp.mod.	opptak/doser	Risø/Studsvik/ FOA
As, Cd, Ni	Østlandet Mälardalen	Spredn. comp.mod.	opptak/doser opptak/doser	NILU/(IFE,UiT) IVL/SMHI
PAH	Sundsvall	Reseptor- modell	rel.bidrag	} NILU/SI
		Kildeorient. mod./comp.	ekspon/doser	
PAH	Göteborg	" "	ekspon/doser	IVL /Studsvik
Partikler tot.	forskj.om- råder	Reseptor- modeller	rel. bidrag	IVL/SI/NILU eksisterende data
Svevestøv	København	Spredn.mod.	kons/ekspon.	Risø

Disse prosjektforslagene må i første omgang diskuteres med prosjektkomiteen, og senere tas opp med de aktuelle institusjonene ved et seminar (i København, nov. 1981).

Viktige oppgaver som antas å bli løst ved gjennomføring av delprosjektene er bl.a.:

- sammenkobling av gate-, by- og meso-skala modeller inkludert hensyn til regional og global bakgrunn
- modellering av befolkningsmønstra ("micro environments", hvor lenge er folk i trafikkmiljø, innendørs, utendørs, på arbeidsplass osv.)
- eksponering og dose for inhalasjon, og opptak via næringskjeden for de viktigste toksiske og karsinogene stoffene (ved enkle compartment modeller)
- utvikling og anvendelse på aktuelle data av reseptor-modeller.

Det antas dessuten at flere av de generelle forskningsoppgavene som en vil stå overfor ved løsningen av målsetningene ved MIL 4, ikke kan løses fullt ut innenfor de økonomiske og tidsbegrensede rammer som MIL 4 kan stille til rådighet. Dette gjelder f.eks.:

- deposisjon av partikler på forskjellige overflater
- re-emisjon av partikler i byområder
- NO<sub>x</sub> reaksjonsmekanismer
- dynamiske compartmentmodeller

På noen av disse feltene er man allerede igang ved flere institusjoner, og MIL 4 bør anvende den viten som finnes eller blir etablert her.

Korte kommentarer til prosjektforslagene er gitt i det følgende:

Svoveldioksydbelastning i Helsingfors-området baseres på tidligere beregninger for Helsinki elektrisitetsverk (ref. 12, Vedl. A). Her finnes det rimelig gode emisjonsoversikter og spredningsmodeller basert på gaussiske multippelkildeberegninger. Emisjonsoversiktene må suppleres og spesifiseres noe bedre for hver kildekategori. Også befolkningsfordelingen og eksponerings-situasjonen bør tas med i beregningene slik at man kan få uttrykk for "totaldoser" (konsentr. x personer x tid). Prosjektet kan gjennomføres som et samarbeid mellom FMI og VTT.

Nitrogenoksyder i Stockholm og/eller Örebro kan beregnes på basis av emisjonsinventering og undersøkelser som allerede pågår i forbindelse med systemanalyser i KHM-prosjektet. Naturlige samarbeidspartnere her vil være SMHI og IVL. SMHI er også i gang med en modell for NO<sub>2</sub>-belastningen fra forskjellige kilder. Modifiseringer og tillegg for MIL 4 kan bestå av en bedre spesifisering av kildene, sammenkoplinger av gate-, by og regionalmodell, konsentrasjonsberegninger koplet sammen med befolkningsfordelinger, og presentasjon av relative bidrag f.eks. gitt som befolkningsdoser ved inhalasjon.

Eksposering til befolkningen i Oslo (av  $SO_x$  og  $NO_x$ ) må baseres på et arbeid for Statens forurensningstilsyn som avsluttes ved NILU høsten 1981. Her finnes emisjonsoversikter, meteorologiske data og befolkningsdata. Det er gjort beregninger av totalbelastningen på befolkningen (som oppholder seg i et stadig varierende konsentrasjonsfelt). Beregningene er imidlertid ikke spesifisert for hver kildekategori (energi, oppvarming, biltrafikk og industri), men dette kan i forbindelse med MIL 4 gjennomføres med de data som foreligger. Det er dessuten behov for en forbedring av kombinasjonen gate/by-modell. Reaksjonsmekanismene ( $NO_x$ - $NO_2$ ) er parametrisert ved empiriske 1.ordens overganger. Her er det aktuelt med forbedringer. (Et nasjonalt prosjekt om dette er startet v/ Ø. Hov). I fase 3 av MIL 4 vil det være aktuelt å teste forutsetningene for modellene på målte data, og modellens følsomhet for endringer i utslippssammensetningen.

Cadmiumbelastningen i befolkningen på Sjælland er estimert for utslippene fra 5 varmekraftverk på øya. Disse beregningene er foretatt ved hjelp av Studsvik energiteknik's compartmentmodell i samarbeid med Forsøgsanlæg Risø. Disse institusjonene vil også være naturlige samarbeidsparter i et delprosjekt i MIL 4, der emisjonsdata for andre kilder, befolkningsdata, arealbruk osv. må framskaffes. Beregningene må kunne føre til totale opptak (via luft, mat, vann, etc) til mennesker spesifisert for hver kildekategori på Sjælland og dessuten for bidraget fra kilder utenfor Sjælland.

Belastningen av toksiske metaller ved Oslofjorden (Sarpsborg-Fredrikstad) eller Mälaronrådet. Ved Oslofjorden samles det for norske myndigheter gode data for emisjoner og innholdet av forurensninger i luft, nedbør og vegetasjon. Dette sammen med compartmentmodeller for spesifiserte stoffer vil kunne føre til estimat av relative dose-bidrag fra forskjellige kilder. Det er igang et overvåkingsprogram i det eventuelle området hvor de data og beregninger som allerede utføres vil bli anvendt i MIL 4-prosjektet.

Mälardalen er valgt som modellregion i KHM for beregning av nedfall fra kullfyrte anlegg. Det kan også her være aktuelt å videreføre planlagte depositionsberegninger.

Relative bidrag av PAH i reseptorpunkt kan beregnes når gode konsentrasjonsdata for et gitt område (helst flere målepunkter) foreligger. Her er det aktuelt å anvende reseptormodeller (under utvikling ved NILU, finnes ved SI) på målte konsentrasjoner i Sundsvallområdet. Prosjektet kan gjennomføres som et samarbeid mellom NILU og SI.

PAH-belastningen i en befolkning basert på emisjonsdata og kildeorienterte modeller er noe mer tvilsomt. Hovedoppgaven blir å etablere en kildeorientert modell for totalbelastning av PAH. Som et utgangspunkt kan en tenke seg å anvende data fra Sundsvallområdet der PAH-belastningen kan skrive seg fra forskjellige kilder: Gränges Aluminium, Ortviken's pappersbruk, annen industri, kraftverk, biltrafikk o.a. Det vil i de kommende år bli framskaffet meteorologiske data samt befolkningsdata for området, som kan egne seg for en slik undersøkelse. Flere institutter er aktuelle samarbeidspartnere her, hvorav NILU, SI og SMHI allerede har utført målinger og beregninger i området. Det vil i et slikt program være behov for finansiering utover MIL 4-bevilgningene. Et annet aktuelt område er Göteborg hvor det finnes informasjon om PAH i luft, jord, vegetasjon etc. Denne informasjon kan anvendes i enkle compartment modeller for å estimere totalbelastning.

Svevestøvbelastningen i reseptorpunkter på forskjellige steder i Norden kan estimeres ved reseptormodeller. Her må en foreta en innsamling av kvalitetsmessig gode svevestøvdata ved hjelp av høyvolumprøvetakere og analysert på kjemisk sammensetning og størrelsesfordeling. Det finnes muligens endel slike data som allerede kan anvendes. Samarbeidende institusjoner kan her være f.eks. IVL, NILU, SI, FMI og MST-L.

Totaleksponering av svevestøv i byområder er aktuelt å beregne for København. Meteorologiseksjonen Risø blir bedt om på basis av oversikter over deposisjon, å gjøre beregninger av total støvbelastning, emisjon, konsentrasjon, deposisjon, reemisjon etc.

Det vil som avslutning på fase 1 bli holdt et symposium i København hvor disse prosjektene vil bli diskutert. De aktuelle institusjonene inviteres for å framlegge status på de nasjonale

## VEDLEGG A

OVERSIKT OVER ENDEL INSTITUSJONER I  
NORDEN SOM ARBEIDER PÅ FELTER MED  
RELEVANS FOR MIL 4

OVERSIKT OVER ENDEL INSTITUSJONER I NORDEN SOM ARBEIDER  
PÅ FELTER MED RELEVANS FOR MIL 4

1 INNLEDNING

Det ble i forbindelse med fase 1 i Nordisk Ministerråds (NMR) prosjekt MIL-4, "Relative bidrag av forurensninger til menneske og miljø fra forskjellige kilder" i løpet av våren 1981 avlagt besøk ved en del aktuelle institutter i Norden. En del institusjoner og enkeltpersoner ble tilskrevet og en del kontakter har vært over telefon. Ved disse kontaktene har en forsøkt å klarlegge følgende:

- hva er utført av arbeider i Norden med relevans for MIL-4 når det gjelder: relative bidrag (metoder: kildeorienterte modeller, receptormodeller, andre analyser)
- hvilke felter har instituttet særlig kompetanse på
- hva pågår av arbeider som kan inngå som deler til MIL-4 angående f.eks.:
  - utslipp
  - spredning/transformasjon
  - deponisjon
  - opptak
  - økologi
  - virkninger
- hva planlegges innenfor ovenfornevnte arbeidsfelter
- hva kan en tenke seg/er en interessert i å bidra med innenfor MIL-4.

2 DANMARK

Ved Forsøgsanlegg Risø har man ved meteorologiseksjonen, ved helsefysikkavdelingen og i det siste også ved reaktorteknikkavdelingen arbeidet med oppgaver som har interesse for MIL 4. Modeller for spredning og eksponering har vært anvendt i forbindelse med kjernekraftverk-utredninger (1,2).

Per Hedemann Jensen (helsefysikkavd) som avslutter et arbeid om landforurensning på dansk område fra et uhell ved Barsebäck, viste også til rapporter om utfall av Sr90 og Cs137 (3) og om "radio-activity transfer to plants and soil" (4).

E.L. Petersen (ved Meteorologiseksjonen) fortalte om arbeider med spredningsforhold, vindenergi, klimaprosjekter og spredningsmodeller i mesoskala. En enkel modell for spredning og avsetning kan være aktuelt i MIL 4-sammenheng (5). Ellers er meteorologiseksjonen opptatt med spredningsforsøk, måleprogram på Jylland og spredning fra høye skorsteiner. Det vil foreligge en rapport om en vurdering av utvalgte danske beregningsmodeller for beregning av immisjonskonsentrasjonsbidrag fra høye punktkilder.

Torben Petersen (reaktorteknikavd.) er prosjektleder for et nordisk prosjekt om "Sammenligning af miljøeffekter ved energi-produktion". Prosjektet betraktes foreløpig som et forprosjekt, som man ønsker å framlegge for NMR som et prosjekt MIL-5. Et opprinnelig forslag til MIL-5 som ble utarbeidet etter Røros-seminaret i april 1979, er senere videreutformet av K.Brodersen på Risø. Prosjektforlaget ble forkastet av NMR i møte 15.2.80, da alle land untatt Finland stilte seg tvilende til prosjektet.

Nå har energiinstituttene i Norden på egne midler tatt opp igjen prosjektet. Arbeidsplanen av 12.12.80 indikerer at Risø skaffer tilveie utslippsdata, VTT, Finland skal gjøre spredningsmodellen (i samarbeid med Studsvik). IFE, Norge skal lage en enkel terrestrisk modell (dette arbeidet er foreløpig stoppet opplyser Thomassen ved IFE). Arbeidet skal definere et "Scenario om Sjælland". Hensikten er å få modellen til å virke på Cd, SO<sub>2</sub>,



PAH og U, mens  $\text{NO}_x$  utelates i første omgang.

Hvis det ovenfor beskrevne prosjektet blir et "MIL-5"-prosjekt innenfor NMR er det et sterkt behov for koordinering av MIL 4 og MIL 5. I MIL 5 skal en kun se på utslippene og virkningene fra de store kraftverkene (5 stk. på Sjælland). Men de skal betrakte alle komponenter og hele kjeden fra bryting av kull, transport, brenning, lagring og avfall. MIL 4 vil i hvert delprosjekt konsentrere seg om enkeltstoffer og beregne bidraget fra alle kildetyper for å estimere det relative bidraget fra energi i forhold til industri, biltrafikk, langtransport osv. Problemstillingene er ganske forskjellige, men metodene kan i enkelte tilfeller være de samme.

Ved Miljøstyrelsens luftforurensningslaboratorium hadde jeg samtale med J. Fenger, U. Torp og L.P. Prahm. De mest aktuelle prosjekt for MIL-4 er arbeidet med operasjonelle spredningsmodeller som pågår ved laboratoriet (6). Det er tidligere gjort studier over København av en multippel kilde gaussmodell (7). Utviklingsarbeidet som nå pågår vil være ferdig i 1983. Hvilke deler av MIL-4 som før den tid er aktuelt å utvøre ved laboratoriet er noe usikkert. I forbindelse med et aktuelt delprosjekt på Sjælland kan imidlertid luftforurensningslaboratoriet være behjelpelig med å skaffe tilveie utslippsdata samt gi input til spredningsberegninger.

Ved Danmarks Tekniske Højskole (lab. for teknisk hygiene) fortalte J.C. Tjell om arbeider som er utført for å beregne cadmiumkonsentrasjonen i dansk jord (8), samt "Danskeres indtag af visse spormetaller" (9). Det ble også vist til undersøkelser av langtransportert bly (10) og bly i gress (11).

En god del av de datamaterialet J.Chr. Tjell viste til kan være aktuelt å anvende ved beregninger i MIL-4. Av cadmiumopptaket i rotvekster kommer over 50% via luft. Det er derfor vesentlig å betrakte Cd i MIL-4. Sink får bare  $\approx 5\%$  av bidraget via luft. For PAH kommer alt via luft. Ved laboratoriet for økologi og

miljølære fortalte Bo Rasmussen at det er planer om å etablere en enkel compartment-modell for tungmetaller, men arbeidet er ennå ikke kommet igang.

### 3 FINLAND

Modeller for spredning i atmosfæren, deposisjon og eksponering har man i Finland arbeidet med hovedsakelig ved det finske meteorologiske institutt (FMI) og Tekniske forskningscentralen (VTT). Kartlegging av tungmetallinnholdet i miljøet og virkninger av luftforurensninger på vegetasjonen er rapportert fra Oulu Universitet og Helsinki universitet.

Ved FMI er det bl.a. på grunnlag av spredningsmodeller (modifisert gaussisk multippelkilde-modell utviklet for Stockholm) beregnet SO<sub>2</sub>-belastning i Helsinki for hvert tiår i perioden 1960-1990 (12). Kulmala fortalte at de også planlegger å beregne utslippene fra trafikken av HC, CO og NO<sub>x</sub>. Dette arbeidet kan anvendes i MIL 4 som basis for å beregne det relative bidraget til SO<sub>2</sub>-belastningen fra energikilder. (I Helsinki-regionen er det idag ca 7 fossilfylte kraftverk). Diskusjonen om mulige beregninger ble ført med G. Nordlund, L. Leskinen og E. Rantakrantz. Det foreligger også målinger av en del tungmetaller i lufta i og omkring Helsinki (13).

VTT har i forbindelse med vurderingen av finske kjernekraftverk utført dose-beregninger og estimat av risiko for uhell og normal utslipp (14). S. Vouri og R. Lautkaski viste også til en sammenligning mellom helsevirkninger av kull, torv og kjernekraft (15). Her er det brukt meget grove antakelser om dose/respons sammenhenger, og slike studier ble ved presentasjonen i Nashville Tennessee kritisert for deres store usikkerhet. VTT arbeider også med en compartmentmodel for radioaktive stoffer. Denne modellen planlegges anvendt til beregning av strålingsdoser i næringskjeden som resultat av utslipp fra lagring av kjernekraft-avfall.

Ved universitetet i Oulu (botanikk) har S. Huttunen arbeidet med effekter av luftforurensning på skogsmiljøer. Spesielt har man undersøkt urbane skogsmiljøer og skogsmiljøer utenfor større byer og industrikilder for å få kvalitativ og kvantitativ informasjon om luftforurensningens virkninger (16). Avdeling for botanikk har også gjort studier av bly i tettsteder, kartlegging av tungmetaller i mose samt risiko ved forbrenning. I forbindelse med MIL 4 er S. Huttunen vesentlig interessert i eksperimentell testing og eventuell verifisering av de modller som utvikles/ anvendes.

Ved Universitetet i Helsingfors (Biol. inst.) er det gjort undersøkelser av tungmetalldeposisjon bl.a. i Helsingfors ved hjelp av analyser av moseprøver. Anvendbarheten av husmose og moseballer i kontroll av tungmetall-nedfall ved veien i sør Finland er studert.

#### 4 NORGE

I Norge har følgende institusjoner vært kontaktet skriftlig og pr telefon:

- Sentralinstitutt for industriell forskning (SI) v/Bjørseth
- Universitetet i Trondheim (ViT) v/E. Steinnes
- SINTEF, avd. Teknisk kjemi v/J. Barikmo og T. Syversen
- Institutt for energiteknikk (IFE) v/ K. Garder

Ellers har vi løpende oversikt over det arbeid som utføres ved NILU og Universitetet i Oslo (UiO) (institutt for Geofysikk).

Ved NILU er det gjennom en årrekke utviklet modeller for transport, spredning, reaksjoner og avsetning av luftforurensninger. Modellene har vært anvendt på forurensninger fra husoppvarming, varmekraftverk, industrikilder og bilavgasser. For Oslo har det vært utviklet spesielle spredningsmodeller for kompliserte meteorologiske forhold og for utslipp i gatetverrsnitt. Oppgaver med relevans for MIL 4 har bl.a. vært om forurensning ved bruk av fyringsolje (17) og kartlegging av luftforurensningstil-

standen som resultat av  $\text{SO}_2$  - ,  $\text{NO}_x$ , benzen- og blyutslipp (18). Det utarbeides for tiden en rapport der det er foretatt beregninger av eksponeringen til befolkningen av disse stoffene. Dette arbeidet kan brukes i MIL 4. En videreutvikling av emisjonsoversikter og sammenkopling av modellberegningene kan gi de relative eksponeringsbidrag fra forskjellige kildekategorier. Andre prosjekter ved NILU som kan ha relevans for MIL 4 er en undersøkelse av luftforurensningsbidraget fra vedfyring i Elverum (19) og luftforurensningene fra et planlagt varmekraftverk ved Oslofjorden (20). I det førstnevnte er det aktuelt å anvende reseptormodeller for å estimere delbidrag fra vedfyring til målte svevestøvkonsentrasjoner. I tillegg til de eksponeringsberegninger via inhalasjon som foretas i Oslo planlegges det også modellberegning av eksponering via diettopptak.

SI er engasjert i et annet av MIL-prosjektene som omhandler karsinogene og mutagene stoffer fra energiomvandling (MIL 2). Dette prosjektet skal bl.a. fastlegge emisjonsfaktorer for ulike mutagene og karsinogene stoffer og velge metoder for prøvetaking. Når resultater fra dette arbeidet foreligger bør MIL 4 kunne anvende disse data til å evaluere relative bidrag, enten ved hjelp av kildeorienterte eller reseptororienterte modeller.

Ved SI har en også anvendt statistiske metoder for å analysere målte luftkvalitetsdata (partikler og PAH) (21). Ellers har SI erfaring med PAH-målinger, mutagenitet i omgivelsesluft, bl.a. bidraget fra biltrafikken.

Ved SINTEF (avd. tekn. kjemi) arbeides det med konsekvenser av avfallsforbrenning (22) hvor en av målsettingene er å utvikle metodikk for gjennomføring av økokonsekvensanalyser. Av øvrige prosjekter som kan ha interesse for MIL 4 er helserisiko vedrørende tungmetallbelastning i den norske befolkning (23), og materialstrømanalyser av kvikksølv (24) og bly (25). I det videre arbeid vil gruppen arbeide med virkninger av forurensninger (dose-respons), og vil særlig være interessert i laboratoriestudier av effekter. Eiliv Steinnes ved Universitetet i Trondheim

(kjem.inst.) har samlet og analysert tungmetaller i vegetasjonsprøver gjennom en årrekke for kartlegging av depositionsmonstra (26). Det er i samarbeid med IFE søkt om bevilgninger til å kombinere eksperimentelle undersøkelser med modellberegninger for å beregne tungmetalleksponeringen av mennesker og miljø.

Ved IFE har man erfaring med beregning av doser av radioaktive stoffer som resultat av utslipp fra planlagte kjernekraftverk (27). IFE har også søkt om midler til beregning av tungmetalleksponeringen i samarbeid med E. Steinnes UiT (se ovenfor).

Andre institusjoner i Norge som arbeider på felter som grenser inn på problemstillingene i MIL 4 er:

- Geofysisk institutt ved UiO som i en årrekke har arbeidet med modeller for kjemiske reaksjoner i atmosfæren (28) (en del av denne kunnskap er overført til NILU, ved at Ø. Hov ble ansatt ved NILU i 1981)
- ved Norges landbrukshøgskole har man studert bl.a innholdet av tungmetaller i vekster og i jordsmonnet (29)
- ved Statens institutt for folkehelse (SIFF) har Tore Aune arbeidet med virkningen på helse av luftforurensninger.

## 5 SVERIGE

I Sverige arbeides det ved en rekke institusjoner med problemstillinger som er relatert til målsettingen ved MIL 4. Det store prosjektet Kol Helsa och Miljö (KHM) omfatter en rekke forskningsprogrammer som direkte eller indirekte kunne inngå som deler av MIL 4. De antatt mest relevante institusjonene er besøkt, andre er tilskrevet og en del av underlagsmaterialet nedenfor skriver seg fra prosjektbeskrivelser og statusrapporter fra KHM.

Ved IVL i Gøteborg snakket jeg med Bengt Steen og Curt Bengtson. I forbindelse med SNV/KHM-prosjekt ble det i mars 1981 satt i gang målinger i Ørebro av svevestøv ved hjelp av Sierra høyvolum prøvetaker med 2 fraksjoner ( $< 2.5 \mu\text{m}$  og  $> 2.5 \mu\text{m}$ ). Filtrene skal analyseres på en rekke komponenter bl.a. As, Cd, Pb, V, Ni, V,

Mg, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>. Disse dataene vil kanskje kunne anvendes i "reseptormodeller" eller til verifisering av modellberegninger.

I Gøteborg driver IVL fortløpende målinger i sentrum av byen (hälsovårdsnämnden) og ved Rørvik. Emisjonsoversikter for Gøteborg finnes (30). Dessuten har Peringe Grennfelt laget en oversikt over NO<sub>x</sub>-målinger i Sverige (31).

Flere undersøkelser ved IVL er knyttet til depositionsproblematikken (32). Ved Rönnskårsverket har man studert sammenhenger mellom utslippene og deposisjonen i området. Curt Bengtsom har anvendt grønnkål rundt bl.a. et torvfyrte kraftverk i Finland, og omkring Gøteborg for å analysere avsetning og opptak av PAH. Dessuten finnes data for tungmetaller i mose rundt torvfyrte kraftverk. I forbindelse med MIL-4 vil IVL være særlig interessert i å studere avsetning og opptak av forurensninger (NO<sub>x</sub>, partikler og PAH). Dessuten vil de kunne gjøre statistiske analyser av målte data for å estimere forskjellige kilders bidrag. IVL har allerede prosjekter igang på områder med tilknytning til MIL-4:

- spredning og deposisjon
- spredningsmodell for tungmetaller fra Rönnskårsverket (T. Hellström)
- PAH fra energiprod. (A. Lindskog, P. Grennfelt)
- NO<sub>x</sub>, spredning omvandling, deposisjon effekter (P. Grennfelt, L. Skärby).

Jeg ble også gjort kjent med at det pågår en luftundersøkelse innenfor Vänersborg- Trollhättere regionen som kanskje kan anvendes i fase 2 av MIL-4 (verifisering og anvendelse). Her foretas emisjonsoversikt for bl.a. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH og Pb. Områdets befolkning er ca 70.000. Det skal foretas emisjonsmålinger, analyser av avsetning, modellberegninger og effektstudier (33, s. 46).

Ved SMHI i Norrköping hadde jeg samtaler med Christer Persson, Bjørn Bringelt og Gunnar Omstedt. Også ved SMHI var det oppgaver knyttet til KHM som var mest aktuelt for MIL-4. Bringfelt fortalte om en planlagt sammenkopling av bilavgassmodellen og bymodellen for Stockholm. Dette arbeidet er igang.

Emisjonsinventering for utslipp i Stockholm og Örebro pågår. Man skal i første omgang modellere  $SO_2$ , CO og  $NO_x$ . I forbindelse med  $NO_x$  -  $NO_2$  problematikken forsøker SMHI å få fram en modell for  $NO_2$ -belastningen fra forskjellige kilder. Det er tidligere utført modellberegninger for  $SO_2$  ved ulike oppvarmingssystem i Stockholm (SMHI rapport for SNV, sept. 1973).

Når det gjelder nedfallsberegninger for sulfat,  $NO_x$  og tungmetaller skal disse utføres for Mälardalenområdet. Beregningene skal baseres på anvending av kull i Stockholm, Södermanland, Östergötland, Västmanland, Örebro og Uppsala. Det finnes en emisjonsoversikt for dagens utslipp av  $SO_2$ . En modell for deponisjon i mesoskala er rapportert (34).

SMHI var også interessert i innvirkningen i store byer av store punktkilder (varmekraftverk) som er lokalisert utenfor byen. Det er av interesse å utføre et felles nordisk eksperiment for å kartlegge spredningen mot en by fra en punktkilde, og senere etablere en modell for dette tilfellet. Aktuelle kilder kan ligge nær Karlshamn, (Öxelösund/Nyköping), Örebro, Göteborg o.l.

Systemanalysen innen KHM 1-5 er beskrevet i et PM fra SNV. Tidsrammene for gjennomføringen av disse prosjektene virker korte, og det kan være mulig å videreføre noen av de mest relevante arbeidene innenfor rammen av NMR-MIL-4.

Ved Studsvik Energiteknik AB møtte jeg Christina Gyllander og Ulf Widemo. Gyllander orienterte om pågående arbeider ved Studsvik, samt om samarbeidet innenfor "MIL 5" som ledes av T. Petersen, Risø.

Ved Studsvik arbeides det aktivt med modellering av spredning, deponisjon, opptak og akkumulering. Arbeidet har vesentlig dreiet seg om radioaktive stoffer (35), men det har også vært gjort beregninger av eksponeringsstilsjudd av benzpyren fra faste forbrenningsanlegg (36). En metode for beregning av omgivningsbelastninger ved emisjon av en ikke-spesifisert tungmetall er også rapportert (37). En oversikt over modellarbeidet er gitt i vedlagte figur.

MODELLÖVERSIKT					
Område	Modell	Underlag	Mod uppbyggn	Tilldämpn	Mod ver
<b>ATMOSFÄREN</b>					
Lokalt	UNIDOSE	■	■	■	□
Regionalt	ATMOPATH	■	■	■	□
normal drift	REG 2000				
Regionalt	ATMOPATH	■	▨		
haveri	TRAJ				
Globalt	ATMOPATH	■	■	■	
	GLOB				
<b>MARINA OMRÅDEN</b>					
Lokalt	AQUAPATH	▨	▨	▨	□
Regionalt	"	▨	■	□	□
	REG				
	"	▨	■	□	□
	BALTIC				
Globalt	"		□		
	GLOB				
<b>TERRESTRA OMRÅDEN</b>					
	GEOPATH	■	■		
	TERRAPATH	▨	▨		□
<b>EKOLOGISKA SYSTEM</b>					
	BIOPATH	▨	■	■	□

Klart	Under arb.	Planerat	Plan. senare
■	▨	□	□

Figur A1: Oversikt over modellarbeidet ved Energiteknikk Studsvik.



Det arbeides for tiden med en compartmentmodell for cadmium (Lars Ramberg), samt i samarbeid med FOA (S.Å. Persson) en undersøkelse av dos/effekt-forholdet for cadmium. Målet er å kunne foreta en konsekvens(risk)-analyse av cadmiumutslippet i Sverige.

Også ved Studsvik er man interessert i å studere en stor kildes innvirkning på et byområde som ligger i noen km avstand fra kilden. Chr. Gyllander nevnte muligheten for å slippe sporstoff fra Barsebäck mot Lund og Malmö. (Her har man også problemer med kystforlegning og land/sjøbris-systemene). En slik undersøkelse bør iallefall koordineres med andre studier i Öresundsregionen.

I forbindelse med MIL-4 vil Studsvik være interessert i å foreta beregninger av spredning, deponisjon og opptak (doser) av kadmium for et gitt område. En kan tenke seg i et nordisk prosjekt å foreta beregninger av kadmiumpopptaket over Sjælland fra de forskjellige kildekategoriene, ved hjelp av Studsvik-modellene.

I forbindelse med det danske "MIL-5"- prosjektet er Studsvik bedt om å beregne opptak av forurensninger fra de 5 store varmekraftverkene på Sjælland. Dette arbeidet måtte i såfall suppleres og videreføres.

G. Tyler ved Universitetet i Lund (inst. plant ecology) har et større antall relevante prosjekter angående "påverkan av metaller på den yttre miljön" (38). Prosjektene finansieres av Statens Naturvårdsverk og omfatter bl.a. rørlighet, effekter, deponisjon og nedbrytningsprosesser. En del av spørsmålstillingene i MIL 3, "forurensningens innvirkning på metalltransport i naturen" er også av interesse. Delprosjektene i MIL 3 er meget spesielle i forhold til de løsningsmetodene en må anvende i MIL 4, slik at det nok ikke er noen fare for overlapping her. Det kan imidlertid for fase 3 av MIL 4 bli av interesse å anvende noen av de data som samles i MIL 3.

H. Lannefors ved Institutt för kärnfysik ved Lunds universitet har bl.a. arbeidet med langtransport av tungmetaller, og bidraget av tungmetaller og svovel til Skandinavia (45). Han har også

arbeidet med aerosolsammensetning og størrelsesfraksjonering av aerosoler fra bakgrunnsstasjoner bl.a. ved hjelp av PIXE-analyser.

L. Folkeson har studert metallinnholdet i moser rundt to torv-fyrte kraftverk (39). Slike data er også aktuelle å ta fram i fase 3 av MIL 4.

Ved meteorologiska institutionen Stockholm Universitet (MISU) har en del av det forskningsarbeidet som har vært utført, interesse for MIL 4 (40, 41). Ett av de felter som det for tiden satses på er tungmetaller i nedbøren. Det er mulig at dette arbeid kan komme til å ha en viss interesse for MIL 4. Oksydasjon av SO<sub>2</sub>, klimaendringer ved energiproduksjon og forsuringsproblematikken er også studert ved MISU.

U. Högström ved Universitetet i Uppsala (MIUU) har bakgrunn i mange års arbeid med turbulens og spredning i atmosfæren. Et nylig utarbeidet PM om spredning fra småovner i bolighus kan være interessant i forbindelse med en del av beregningene i MIL 4 (42).

Når det gjelder virkninger av luftforurensninger finnes det mange aktive grupper i Sverige. Det vises her til prosjektoversikt for KHM, og spesielt til L. Friberg og hans kolleger ved Karolinska institutet (43).

Ellers har IVL i Stockholm arbeidet med økosystemmodeller (bl.a. B. Åsell, Th. Hellström). Naturvårdsverket arbeider med de mer praktiske problemene angående kilders relative virkning. Blant annet holder Naturvårdsverkets laboratorium i Studsvik (O.R.Killingmo) på med luftkvalitetsmålinger i trafikkmiljø. Forholdet mellom innendørs og utendørs luftkvalitet tas opp av Thomas Lindvall på Statens miljømedisinske laboratorium.

6 REFERANSER

- (1) Nielsen, S.T. Modeller til beregning af eksterne gammadoser og inhalationsdoser fra frigørelser til atmosfæren af radioaktive stoffer. Roskilde 1974. (Risø-M-1725).
- (2) Hedemann Jensen, P.  
Lundtang Petersen, E.  
Thykier-Nielsen, S.  
Heikel Winther, F. Calculation of the individual and population doses on Danish Territory resulting from hypothetical core-melt accidents at the Barsebäck reactor. Roskilde 1977. (Risø report No. 356.)
- (3) Aarkrog, A. Environmental studies on radioecological sensitivity and variability with special emphasis on the fall-out nucleides Sr90 and Cs 137. Roskilde 1979. (Risø-R-437.)
- (4) Nielsen, S.J. A critical literature review on radioactivity transfer to plants and soil. Roskilde 1980. (Risø contract Report 1151-79-10 L/V.)
- (5) Jensen, N.O. A simplified diffusion deposition model. *Atmos. Environ.* 14, 953-956 (1980).
- (6) Berkowitz, R.  
Prahm, L.P. Note on turbulent scaling parameters for the planetary boundary layer. Progress report 4 for "Operational Meteorological Air Quality Models", Roskilde 1980. (MST LUFT-A36.)
- (7) Prahm, L.P.  
Christensen, M. Validation of a multiple source gaussian air quality model. *Atmos. Environ.* 11, 791-795 (1977).
- (8) Tjell, J.C.  
Hansen, J.Aa.  
Christensen, T.H.  
Hovmand, M.F. Prediction of cadmium concentrations in Danish soils. I: *Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge*. Vienna 20-24 Oct. 1980.

- (9) Hansen, J.A.  
Tjell, J.C.                      Danskers indtag af visse spormetaller  
I: *Slammets jordbrugsanvendelse*.  
Lyngby Polyteknisk forlag, 1981.
- (10) Hovmand, M.F.                      Atmospheric long range transport of  
lead to Denmark. *Tellus* 32, 42-47  
(1980).
- (11) Tjell, J.C.  
Hovmand, M.F.                      Atmospheric lead pollution of grass  
grown in background area in Denmark.  
*Nature*, 280, 425-426 (1979).
- (12)                                      Survey of the diffusion of sulphur  
dioxide in Helsinki in 1960, 1970,  
1980 and 1990, made by the Finnish  
Meteorological Institute for the  
Helsinki Electricity Works.  
Helsinki 1977. (National Board of  
Health. Circular No. 1550.)
- (13) Mattsson, R.                      An analysis of Helsinki air 1962 to  
1977 based on trace metals and radio-  
nuclides.  
*Geophysica*, 16, no. 1, Helsingfors  
(1979).
- (14) Savolainen, I.  
Vuori, S.                              Assessment of risks of accidents and  
normal operation at nuclear power  
plants.  
(Technical Research Centre of Finland,  
Electrical and Nuclear Technology  
publ. no. 21.)
- (15) Lautkaski, R.  
Pohjola, V.  
Savolainen, T.  
Vuori, S.                              A comparative assessment of the  
health impacts of coal, peat and  
nuclear power plants. Proceedings  
from international symposium on  
health impacts of different sources  
of energy.  
Nashville Tenn. June 1981. (IAEA-SM-  
254/45.)
- (16) Huttunen, S.  
Laine, K.  
Karhu, M.  
Pakonen, T.                              Air pollutants as additional stress  
factors under northern conditions.  
Research programme: "The effects of  
air pollution on terrestrial eco-  
systems". Symposium papers Oulu  
Nov. 1980.

- (17) Grønskei, K.E. Forurensninger av svoveldioksyd og sot i Oslo - bruk av fyringsoljer. Lillestrøm 1977. (NILU OR 5/77.)
- (18) Grønskei, K.E. Kartlegging av luftforurensningstilstanden i Oslo. Lillestrøm 19.3.80. (NILU prosjektforslag).
- (19) Schjoldager, J. Luftforurensning fra vedfyring. Lillestrøm 15.10.80. (NILU prosjektforslag.)
- (20) Sivertsen, B. Luftforurensninger fra et kull- og oljefyrt varmekraftverk ved Oslofjorden. Lillestrøm 1978. (NILU OR 41/78.)
- (21) Gether, J.  
Seip, H.M. Analysis of air pollution data by the combined use of interactive graphic presentation and a classifying technique. *Atmos. Environ.* 13, 87-96 (1978).
- (22) Bekkevold, S.  
Gundersen, B. Energi fra mindre avfallsforbrenningsanlegg. Miljøforhold. Trondheim 1980. (Arbeidsnotat prosjekt 150001.00.)
- (23) Syversen, T. Omfang av helserisiko vedrørende tungmetallbelastning i den norske befolkning. Trondheim 1980. (STF21 080067.)
- (24) Romslo, R.  
Syversen, T. Materialstrømanalyse for kvikksølv. Trondheim 1979. (STF21 F79022.)
- (25) Romslo, R.  
Syversen, T. Materialstrømanalyse for bly. Trondheim 1979. (STF21 F79032.)
- (26) Allen, R.O.  
Steinnes, E. Contribution from long range atmospheric transport to the heavy metal pollution of surface soil. I: *Proc. Int. Conf. Ecol. impact acid precip.* Sandefjord, Norway 1980, (SNSF-project), s.102-103.

- (27) Tveten, U. et. al. Description of a Norwegian model for calculating doses from radioactive material released to the atmosphere. In: *Comparison of Nordic dose models*, ed.: S. Thykier Nielsen, Roskilde 1978 (Risø-M-1972).
- (28) Hov, Ø.  
Isaksen, I.S.A.  
Hesstvedt, E. Diurnal variation of ozone and other pollutants in an urban area. *Atmos. Environ.* 12, 2469-2479 (1978).
- (29) Sorteberg, A. The effect of some heavy metals on oats in a pot experiment with three different soil types. *J. Sc. Agric. Soc. of Finland*, 3, 277-288 (1974).
- (30) Grennfelt, P.  
Lövblad, G. Emissions of hydrocarbons and nitrogen oxides in the Göteborg area 1979. Göteborg 1981. (IVL rep. B 598.)
- (31) Grennfelt, P. Kväveoxider i ett urbant och i ett bakgrundsområde. Göteborg 1978. (IVL rapp. B 418.)
- (32) Steen, B. Torrdeposition av stoff i kuperad terräng. Göteborg 1979. (IVL rapp. B 519.)
- (33) Grennfelt, P.  
Gustavsson, R. Luftkvalitetsövervakning i Tätortsmiljö. (Symposium Göteborg 30. okt. 1980). Göteborg 1980. (IVL rapp. B 578.)
- (34) Persson, C.  
Omstedt, G. En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och deposition på mesoskala. Nörrköping 1980. (SMHI rapp. nr. RMK 20.)
- (35) Gyllander, C.  
Sandström, A.  
Karlberg, O.  
Bergman, R.  
Widemo, V. A composite dose calculation model for local regional and global atmospheric dispersion. Studsvik 1980. (Techn. rep. K2-80/250.)

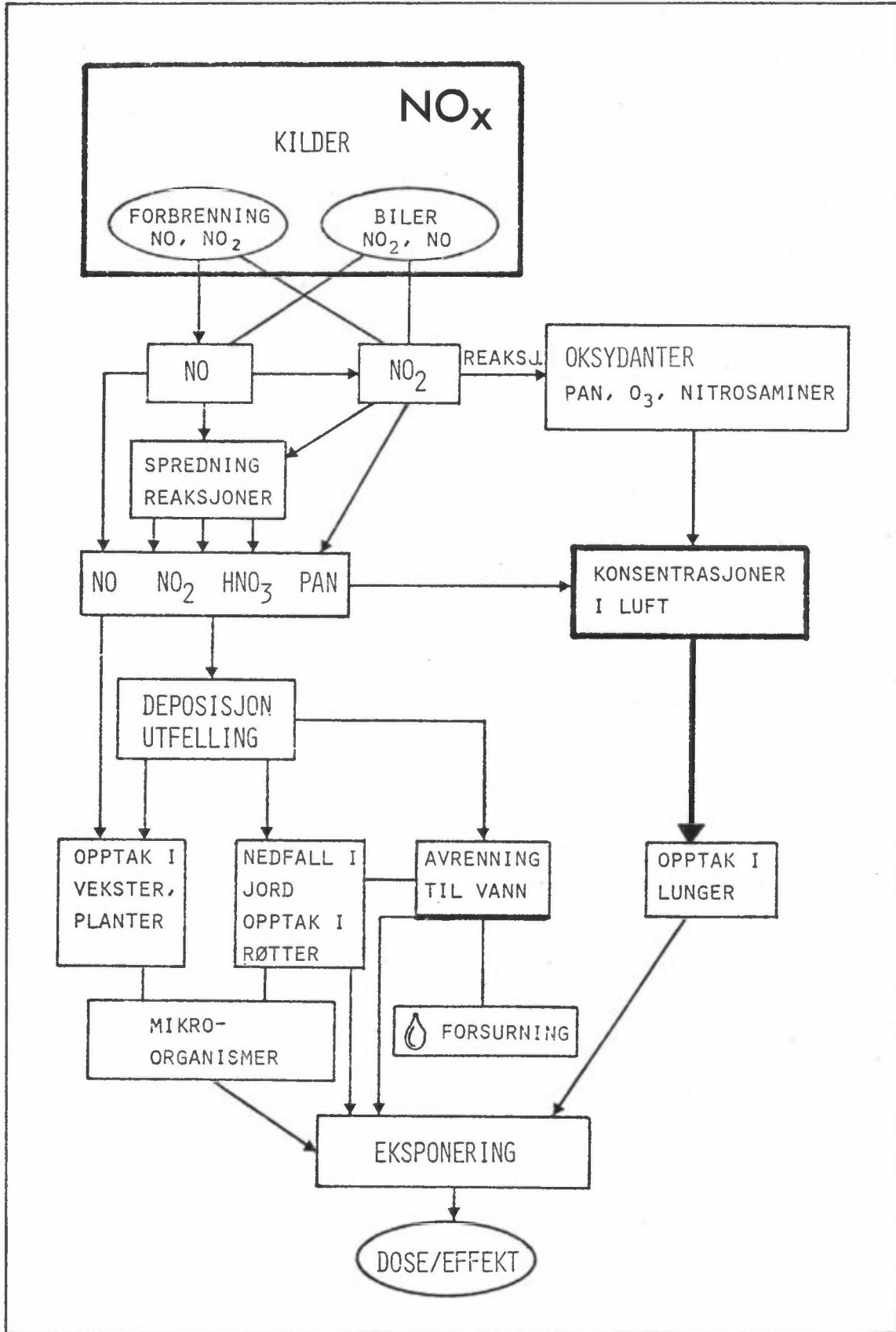
- (36) Gyllander, C.  
Bergman, R.  
Edlund, O.  
Forssén, B.  
Karlberg, O. Luftburet utsläpp av benzpyren.  
Expositionstilskott från fasta  
förbränningsanläggningar.  
Studsvik 1978. (Report K2-78/58.)
- (37) Bergman, R.  
Edlund, O.  
Gyllander, C. Metoder för beräkning av omgivnings-  
belastningen ved emission av en  
tungmetall.  
Studsvik 1979. (Techn. Rep. K2-  
79/99.)
- (38) Tyler, G. Heavy metals in soil biology and  
biochemistry. *Soil Biochemistry*,  
5, 371-414 (1980).
- (39) Folkeson, L. Heavy metals in moss around two peat-  
fired power plants. Lund nov. 1980.  
(SNV kontrakt 5972260-3, NE-15).
- (40) Shaw, R.W. Estimated contributions of swedish  
and outside sources to background  
aerosol concentrations in Sweden.  
Stockholm 1981. (MISU Report  
CM-50.)
- (41) Rodhe, H.  
Björkström, A. Some consequences of non-propotion-  
ality betwren fluxes and reservoir  
contents in natural systems.  
*Tellus*, 31, 269-278 (1979).
- (42) Högström, U. Studie av spridningen från bras-  
kaminutsläpp i tätbyggda villaom-  
råder.  
Uppsala 1980. (PM).
- (43) Friberg, L. Toxic metals and their implications  
for human health.  
I: *Int. Conf. on heavy metals in the  
environment. Symp. Proc. Toronto  
Canada, 1975, s. 21-34.*

- (44) Edlund, O.  
Gyllander, C. Beräkning avseende individ-respektive  
kollektivbelastning av kadmium.  
Utsläpp från dem danska kol- och  
oljeeldade kraftverk vid normaldrift.  
Studsvik 1981 (Studsvik  
Technic rep. NW-81/93).
- (45) Lannefors, H.  
Winchester, J. Long range transport of metals and  
sulphur.  
Lund 1980. (SNV PM 1337.)

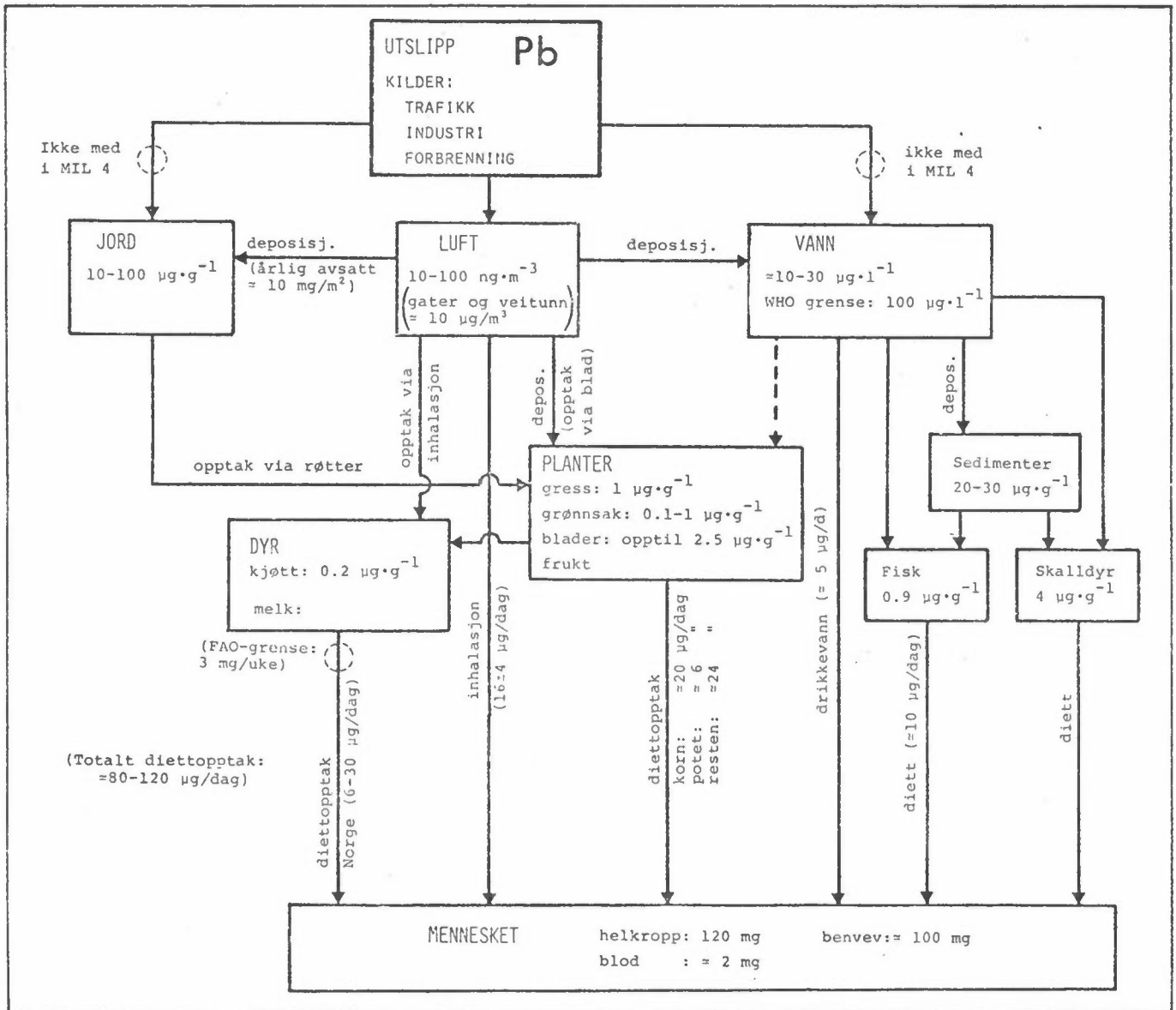


VEDLEGG B

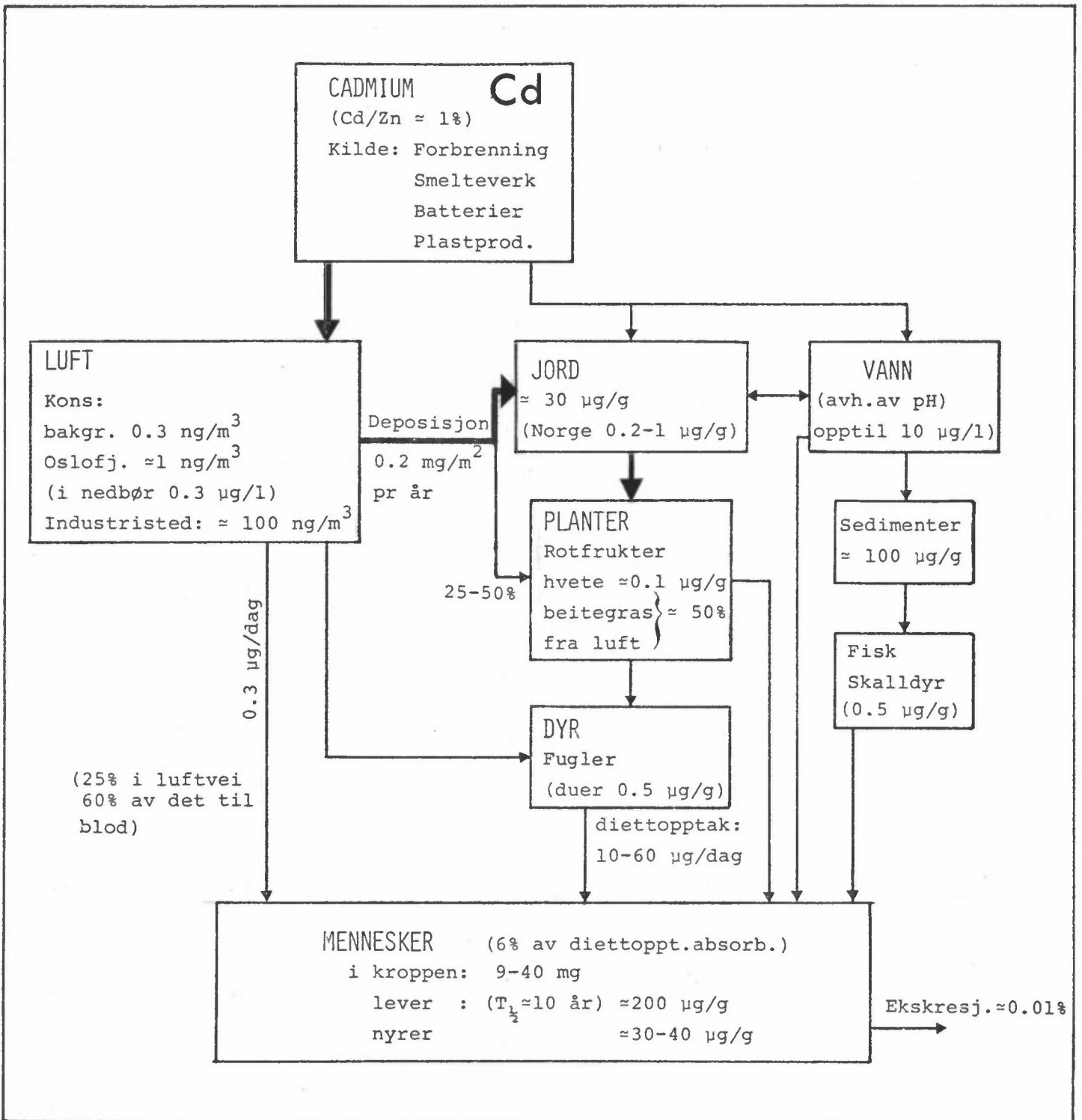
ENKLE FLYTSKJEMAER FOR TRANSPORT  
AV FORURENSNINGER I MILJØET



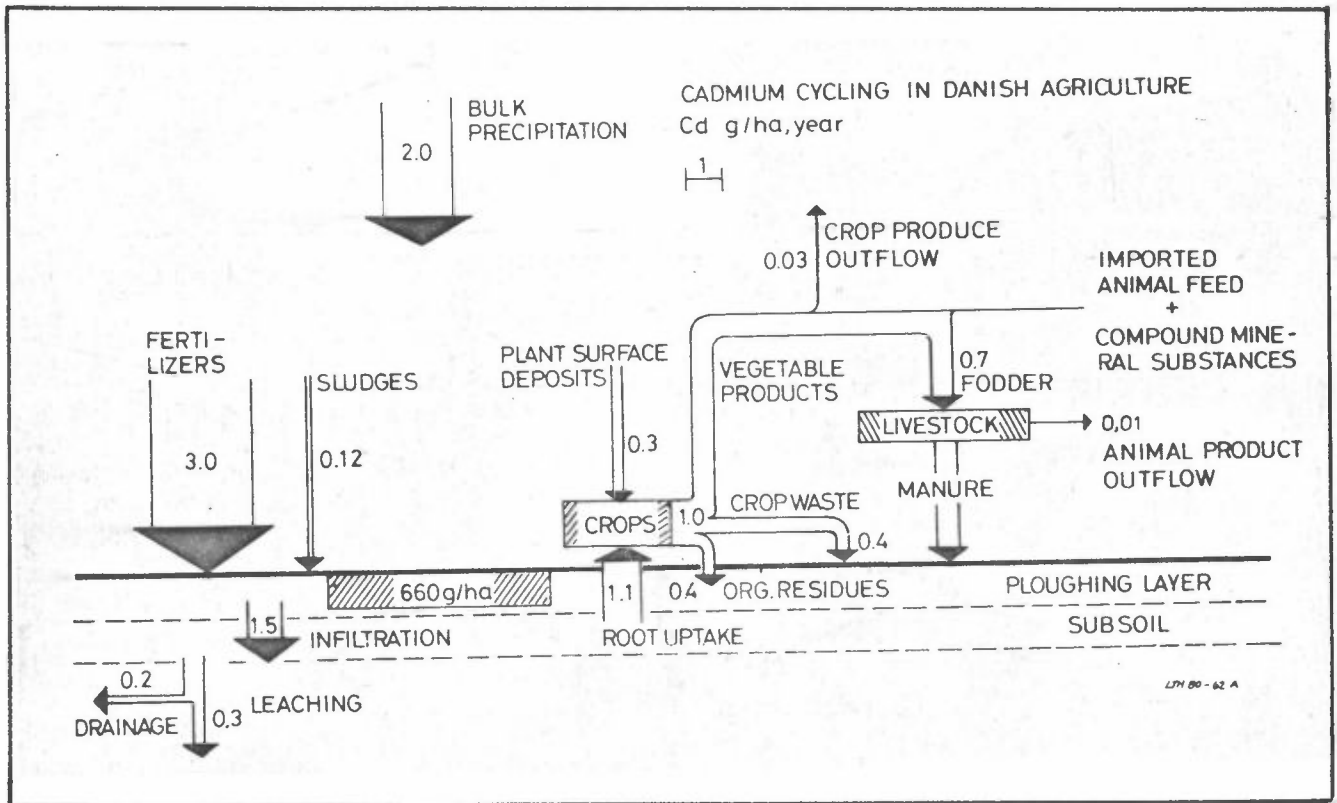
Figur B1: System for beregning av eksponering som resultat av NO<sub>x</sub>-utslipp.



Figur B2: Forenklet skjema for transport av bly til mennesket. (Tallene er typiske for byer i Norge, Oslo-Bergen-Trondheim.)



Figur B3: Forenklet skjema for transport av kadmium til mennesket.



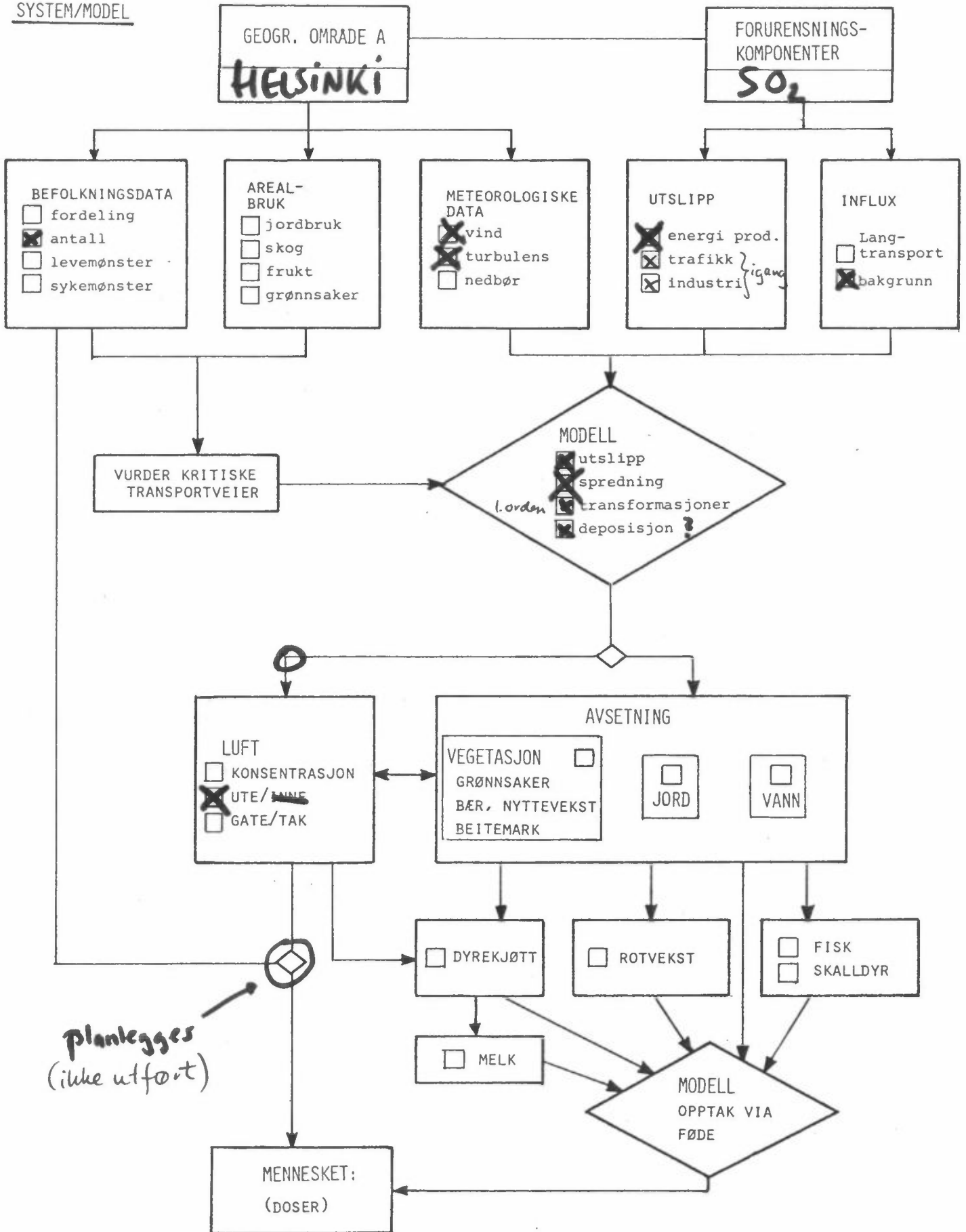
Figur B4: Middelstrømmer av kadmium til og fra jordbruksland (0-25 cm) i Danmark. (Ref.: Tjell et al, ref. 8 Vedl. A).

VEDLEGG C

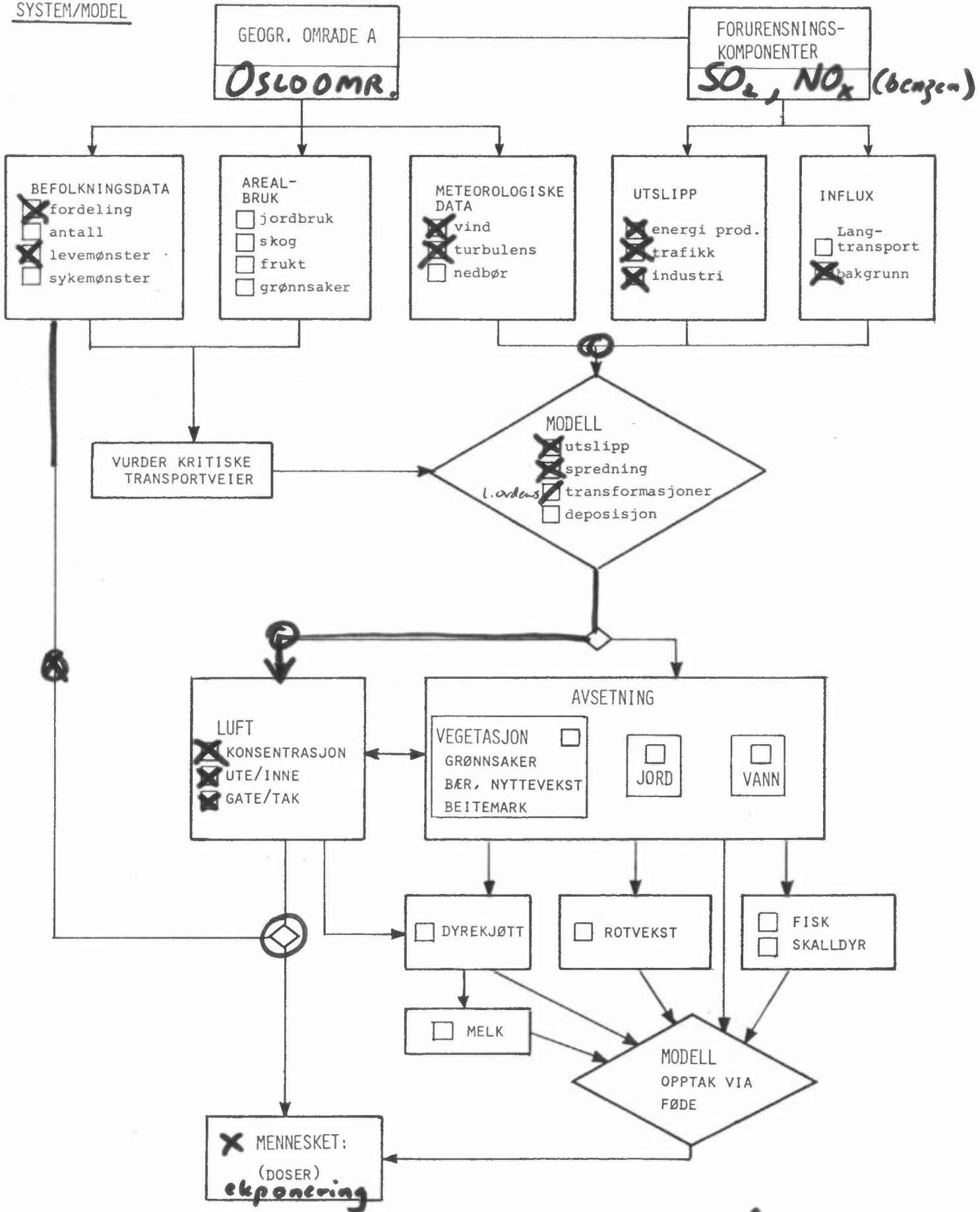
OVERSIKT OVER EN DEL PÅGÅENDE  
ELLER AVSLUTTETE PROSJEKTER,

(AKTIVITETENE ER KRYSET AV I SYSTEMSKJEMA  
FOR KILDEORIENTERTE MODELLER.)

SYSTEM/MODEL



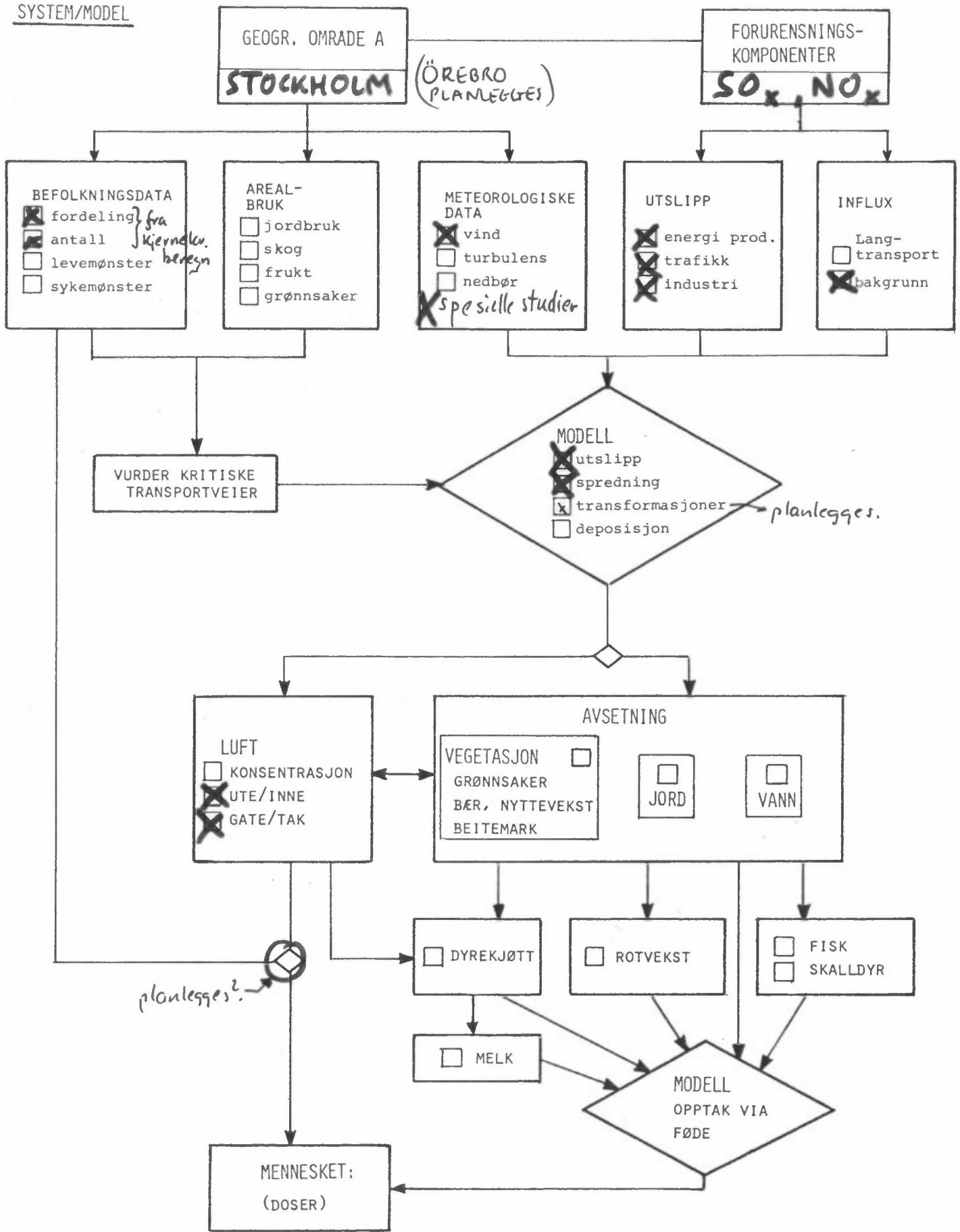
SYSTEM/MODEL



NILU  
(K.E. Grønsvik)



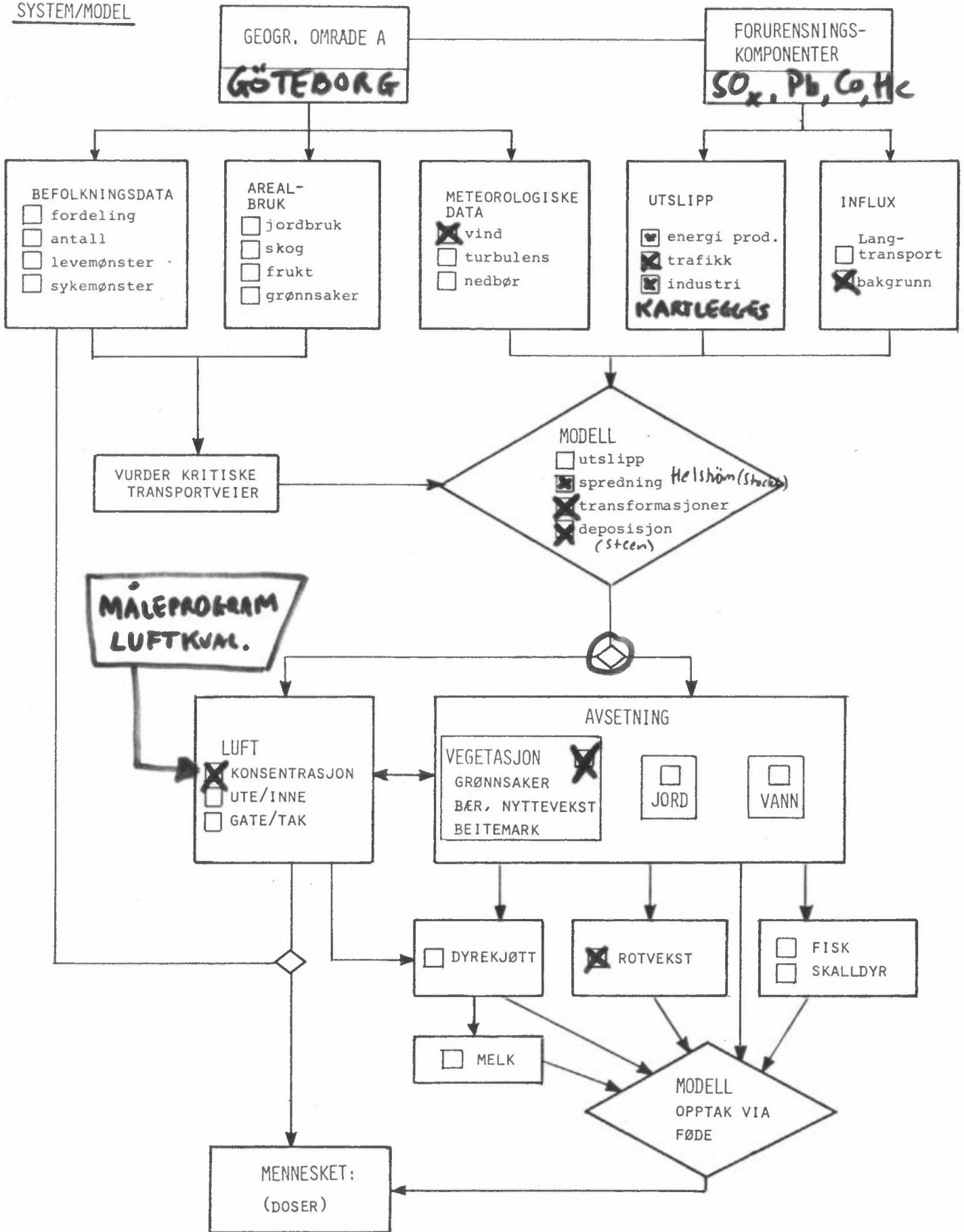
SYSTEM/MODEL



UTFØRENDE INST.

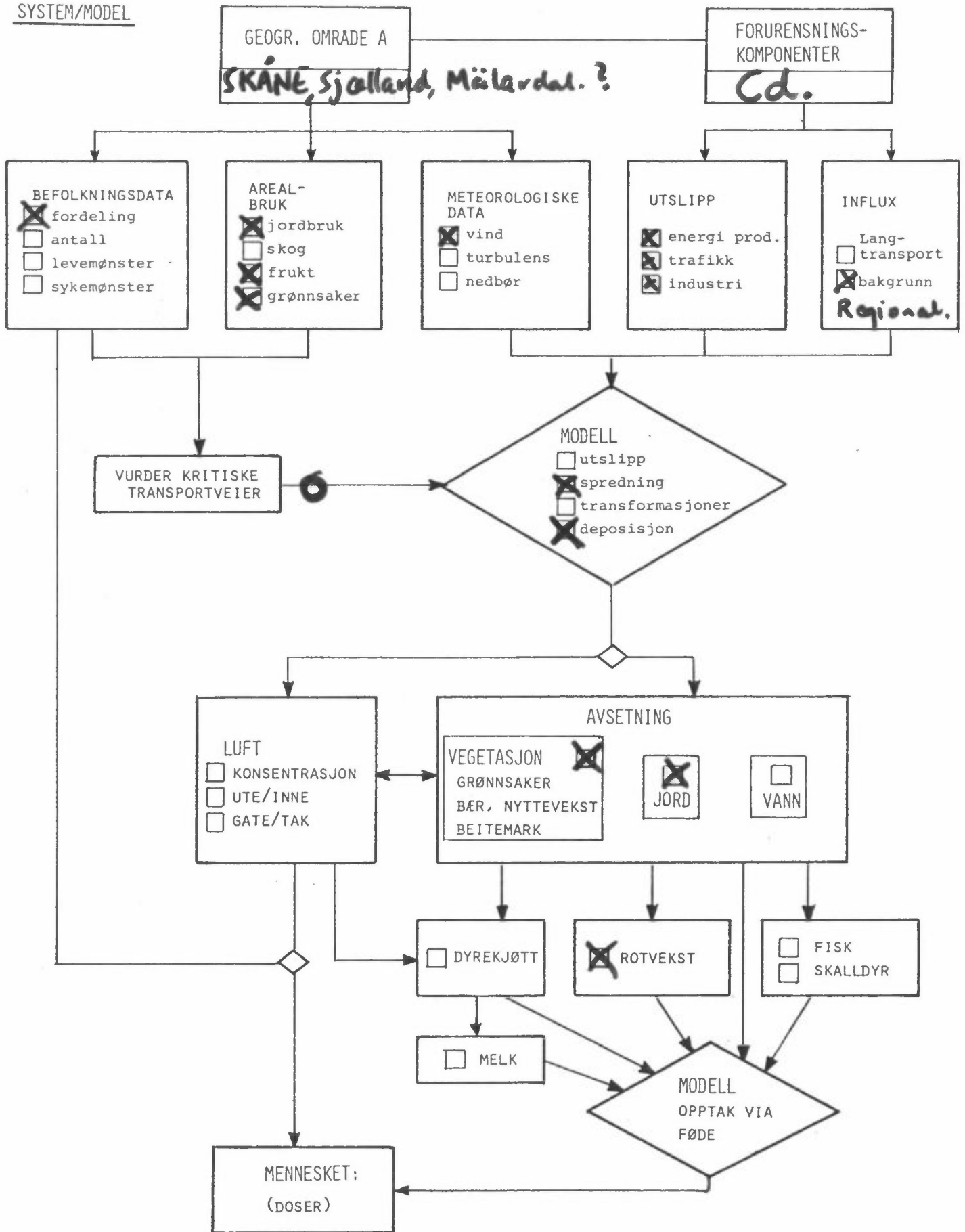
SMHI

SYSTEM/MODEL



IVL

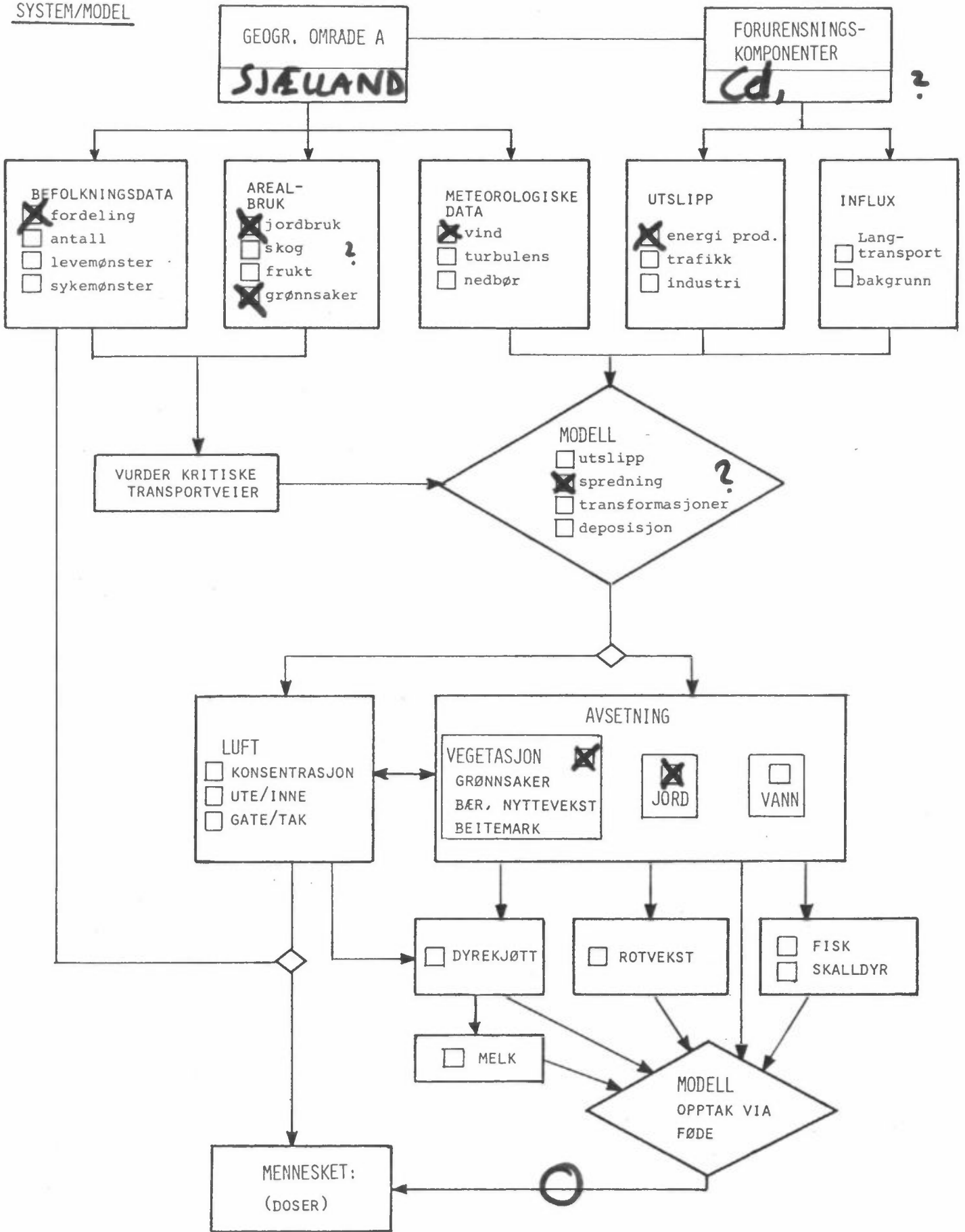
SYSTEM/MODEL



PLANLAGT PROSJEKT VED:

STUDSVIK ENERGITEKN.

SYSTEM/MODEL



Utførende:

"MIL5"  
STUDSVIK / RISØ

VEDLEGG D

SAMMENDRAG AV REISERAPPORT RR 7/81  
"STUDIEREISE I USA SOMMEREN 1981 I  
FORBINDELSE MED PLANLEGGING AV NMR-  
PROSJEKTET MIL4"

## STUDIEREISE I USA SOMMEREN 1981

### 1 INNLEDNING

Studieturen ble initiert av prosjektgruppen innen NMR-prosjektet MIL 4, og var primært basert på deltakelse i konferansen om helsevirkninger og energiproduksjon i Nashville Tennessee. I forbindelse med USA-reisen, fant en det også nyttig for planleggingen av MIL 4-prosjektet, å besøke fem av de mest sentrale laboratoriene i USA, som arbeider med energirelatert miljøforskning. EPA's arbeid og rapporter har en relativ lett tilgang til, og en valgte derfor ikke å besøke EPA denne gangen. De fem laboratoriene som naturlig pekte seg ut var Brookhaven, Oak Ridge, SRI, EPRI og ERT. De forskjellige institusjonene var tilskrevet på forhånd, og det var lagt opp fine og relevante møteprogram ved hvert besøk.

### 2 BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORIES

I forbindelse med langtransport av forurensninger i USA og sur nedbør, har også Brookhaven tatt opp modellering av langtransporten. Jeg snakket med Lawrence Kleinman om anvendelsen av noen av disse resultatene i forbindelse med estimat av befolkningseksponeringen i framtiden ved forskjellige energialternativer (se rapport). Modellen "AIRSOX" har vært anvendt til å beregne månedsmiddelkonsentrasjoner av SO<sub>2</sub>, sulfat, avsetning. Modellen er en lagrangsk trajektoriemodell hvor USA er dekket ved 16000 gridceller. Når konsentrasjonsfordelingen for en gitt emisjonsoversikt, er beregnet kan en ved hjelp av "transfer matrixes" beregne sulfat, avsetning, befolkningseksponering (gitt befolkningsfordeling) etc. Utslippsdataene er gitt i to sett med forskjellige utslippshøyder. Det har vært gjort forsøk med å kople eksponeringsdataene til dose/respons-informasjon, men L.Kleinman mener myndighetenes interesse for slike totalvurderinger (antall dødsfall pr MWe) er for nedadgående, idet de innser de enorme usikkerheter som ligger i dose/respons-funksjonene.

3 KONFERANSE I NASHVILLE, "HEALTH IMPACTS OF DIFFERENT SOURCES OF ENERGY"

Konferansen sett under ett, var ikke den beste og mest innholdsrike jeg har deltatt i. Noen få "papers" gjorde imidlertid at utbyttet ble brukbart. Hovedbudskapene kan kort oppsummeres:

- Dose/respons sammenhenger må aldri anvendes i risiko-analyser (risiko = konsekvens x sannsynlighet) eller i "cost benefit" analyser, uten at usikkerhetene samtidig presenteres (eller at det utføres en "sensitivity"-analyse)
- ingen energiform er risiko-fri, selv ikke energisparing
- risiko-analyser for sammenligning av alternative energiscenarios har gjort mer skade enn nytte (Seeliger)
- alle forskjellige modeller som har vært anvendt i "assessment of human health" (kvasistasjonære, dynamiske) kan bare "hope to be an abstraction of reality"
- Screening-modeller er vesentlige for å vurdere de viktigste forurensningene og kritiske transportverdier
- det bør arbeides videre med å:
  - a) kvantifisere og redusere usikkerhetene
  - b) forbedre "site-specific assessment capability"
  - c) forenkle modellene
- de fleste undersøkelsene som sammenligner alternative energiproduksjonsformer konkluderer med at kullfyrte varmekraftverk representerer den største helserisikoen
- ved kullfyring og bruk av syntetiske brenslere, slipper det ut et enormt antall kjemiske stoffer, som ikke kan behandles hver for seg (som nucleidene fra kjernekraftverk). Kan slå sammen kjemikalier i noen få grupper ("risk analysis units", RAU).

Moghissi og Foley (EPA, USA) oppsummerte det arbeid EPA gjør for å estimere env. impact av kull og oljeskifer. En metode for "Risk analysis units" (RAU) ble presentert, og denne må vi se nærmere på. Få tak i paper (IAEA-SM-254/16) og (Moghissi & al: Methodology for environmental human exposure and health risk assessment, Ann. Arbor Science, 1980). Metoden går i korthet ut på å slå sammen kjemikalier i grupper slik at en kan gjøre analysen fra: emisjon via transport, opptak, foodchain, exposure, inntak, risikofaktor til helseeffekt.

$$R = [r_1 C_1(\text{RAU})_1 + r_2 C_2(\text{RAU})_2 + \dots + r_n C_n(\text{RAU})_n]$$

Kriteria for en RAU kan være:

- teknisk relevans
- kjemisk like
- spres likt
- persistens og toksisitet

Typiske RAU grupper er:

- PAH (i BaP equivalenter)
- NOX, CO, svovel
- Benzen
- HC
- Trace metals
- Arylaminer
- Fenoler
- Mettede alifatiske hydrokarboner

De første data fra forsøk som starter 22.7.81 vil bli tilgjengelige i oktober 1982. EPA satser på å anvende Compartment modeller for "foodchain-exposure" anvendt på RAU.



4 BESØK VED OAK RIDGE (ORNL)

Møtte kl 09 Steve Kaye, sjef for Health and Safety Research Division O.R.N.L., som introduserte meg for Charles Miller, som har jobbet med modeller for "radiological assessment". Miller er meteorolog, og har jobbet sammen med bl.a. C. Baes, K. Kanak og G. Holton for å etablere modeller for opptak og eksponeringsberegning. Har med en rapport (ORNL 5529) som inneholder modeller for: spredning, avsetning, terrestrial modeller (vegetasjon, melk, kjøtt) overflatevann, næringskjede og matinntak.

G. Holton har tidligere jobbet med fotokjemiske modeller (har med paper presentert ved ISME: Energy and Ecological Modeling, Louisville Kty., April 20-22.81). Holton og Miller o.a. er nå involvert i EPAs program for "Synfuels", hvor de bl.a. skal beregne bioakkumulering av kjemiske stoffer i "terrestrial food chain". Problemet med slike modeller er at de er nødt til å være spesifikke for det området de skal anvendes på. Dessuten er modellkomponentene svært avhengig av hvilke stoffer en skal beregne. En bør med andre ord velge både undersøkelsesområde og komponent før en starter modelleringen. Når det gjelder kjemiske stoffer (andre enn radionucleider) synes gruppen å være på det samme stadium som vi er på NILU. De er såvidt startet med modelleringen, men de har altså radioøkologiske modeller som basis. Dessuten har de ved ORNL en gruppe som har jobbet med toksiske metaller i næringskjeden.

T. Jones og C. Easterly har jobbet med dose/responsammenheng for forskjellige kjemikalier. Fikk med en meget interessant figur som viser økningen i krefttilfeller som funksjon av luftkonsentrasjonen for en rekke komponenter (bl.a.: BaP, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>). Ett av papirene jeg fikk viser et estimat av øvre grense for Cd-konsentrasjon i luft for å unngå helseeffekter. Kritiske organ er antatt å være nyrene. Det er anvendt en Gaussisk spredningsmodell samt en terrestrial transportmodell for å estimere totalt opptak. For å unngå et totalt opptak på mer enn 200 µg/g våtvekt nyre over en periode på 50 år rundt et smelteverk, bør luftkonsentrasjonen i gjennomsnitt ikke overskride 13 ng Cd/m<sup>3</sup>. Et interessant paper med fine referanser, som vi kan anvende.

5 BESØK VED SRI, MENLO PARK, CALIFORNIA

Ved Stanford Research Institute, (SRI), ble jeg mottatt av Walter Dabberdt. Han var midt oppe i den siste planleggingen av spredningsforsøk i den Mexikanske Gulf. Disse skal gjennomføres i samarbeid med Brookhaven Lab.

Bob Patterson har jobbet med modellering av eksponering til befolkning, særlig i forbindelse med et prosjekt om "Commuter exposure modeling". Han beregnet eksponeringen til: a) enkelt-trafikanter, b) midlere befolkning i et gitt område, som resultat av belastningen i biler, ved gater og i byer. Modellen for enkelteksponering opererer med "feeder routes" - "main routes" (opptil 15 veier) og "city". Når det gjelder mer informasjon om "microenvironments" viste Patterson til Waine Ott (EPA; Wash.). Et paper om exposure estimates ble presentert ved APCA møtet i Philadelphia (June 1981), paper 81-57.6. Ott har også skrevet: "Models of human exposure to air pollution". (Dpt. Statistics, Stanford University Cal. TR No. 32, July 1980). Fikk med en del andre papers om opptaksmodellering, men følgende rapport bør også skaffes: "Human exposures to atm. Arsenic (res.rep. no. 50, EPA, Sept. 1978).

6 BESØK VED EPRI, Palo Alto, Cal.

Ved electric power research institute (EPRI) i Palo Alto besøkte jeg gruppen for Energy Analysis and Environment, hvor John Huckabee tok imot meg. (G. Hilst, P. Mueller og C. Hakkarinen var på ferie). EPRI startet i nov. 1980 et program; Ecological studies program (har med summary av opplegget), som består i følgende underprogram:

- atmospheric deposition (Goldstein)
- toxic substances (Huckbee)
- aquatic resources (Kawaratari)
- terrestrial resources (Muraska)

Ansvarlig for hele programmet er Bob Brocksen.

John Huckabee som er ansvarlig for "toxic substances", har tidligere bl.a. jobbet med opptak av kvikksølv i planter (jeg har med paper) fra J. of Env. Qual. 8, p. 579, 1979). I det nye programmet konsentrerer EPRI oppmerksomheten om kvikksølv, selen og arsen. Kvikksølv bl.a. fordi alle kull inneholder Hg, og bruk av kull i elektrisitetsproduksjonen øker. Oftest kommer mer enn 90% av Hg ut av skorsteinen og spres via atmosfæren til miljøet, det avsettes og er biotilgjengelig og metaboliserer. Høye konsentrasjoner er bl.a. funnet i fisk. I Smoky Mountain har man bl.a. funnet metylkvikksølv i fisk (35 ng/g), der man ikke kan detektere kvikksølv hverken i vannet eller i bergartene rundt. Selen er allerede et stort problem i nær-områdene rundt flere kullfyrte kraftverk, og EPA forlanger at man skal studere selen-innholdet i bl.a. fisk. Arsen finnes også i kull og aske og man vet det er toksisk. Man vet også at det har høy mobilitet i økosystemet. EPRI sender i disse dager ut "request for proposals" for:

1. Analytiske studier av innholdet av elementer i innsjøer, elver og dyr
2. Laboratoriestudier av opptak i næringskjeder

Cary Young arbeider bl.a. med almen helse, dose/response og er interessert i å: 1) estimere inntak, opptak og dose eller eksponering, 2) evaluere aerosolers biologiske aktivitet. Hvilke er de sannsynlige aktive stoffene? Blant mange av de småpartiklene som slippes ut fra et kraftverk, hvordan skal vi sample? hva er sannsynligheten for at vi får tak i de rette partiklene? hvilke toksisitetstester skal en anvende? Er det mulig å etablere en indeks for luftkvalitet som kan sammenstilles med helsedata?

EPRI's program vil også føre til helse-effektmodellering, og eksponeringsmodellering, men dette arbeidet er ikke startet ennå.

7 BESØK VED ERT, Westlake, California

Ron Henry ved environmental chemical centre i Environmental Research and Technology (ERT) tok imot meg. Ron kommer til NILU (for et halvt år) fra månedsskiftet august/september (lander i Oslo i uken 17.-21. august). ERT har ca 50 ansatte i Westlake. Ron har de siste årene drevet "aerosol characterization"-undersøkelser og reseptormodellering. Han overbeviste meg om at det kan være nyttig i løpet av MIL 4 i et utvalgt område å gjøre gode partikkel- eller gassmålinger som en kan anvende reseptormodeller på for å kvantifisere de relative bidrag fra energi-produksjon. Metoden vil kreve at en kjenner konsentrasjonsfordelingen av de forskjellige stoffene i de forskjellige kilde-typene. Modellen går ut på å løse matriser. John Watson har laget en god statusrapport om reseptormodeller (har fått kopi). Reseptormodeller kan også anvendes for å øke troverdigheten av kildeorienterte modeller, og som et hjelpemiddel i verifikasjon av spredningsmodeller i spesifiserte områder.

Jeg snakket med en rekke forskere ved ERT, og det ble pr. post sendt avgårde en hel del ERT-rapporter som er relevante for arbeidet ved NILU.

Jim Huntcicher refererte til arbeid om "pathways for lead" i L.A. som bl.a. viste at en av de store kildene var gatefeiernes oppsop som via avfallsplasser og "landfills" kommer til grunnvannet. Ca. 40% av blyopptaket ble estimert å komme denne veien.

Eleene Irwin har tidligere jobbet sammen med Alan Eschenroeder for å undersøke hvilke kjemikalier er viktige i økologi-sammenheng. Dette var et tidlig arbeid med hensyn til "Screening" og Compartment"-tenking Eleene Irwin mente at, når det gjaldt compartment-modellering for kjemiske stoffer i miljøet, var det svært lite gjort Etter at Eschenroeder gjorde et første forsøk i 1975, har ERT måtte forlate dette feltet.

Oppholdet ved ERT bekreftet mitt tidligere inntrykk av at vi ved å ta opp en enkel form for compartmentmodellering av spesifikke kjemikalier i MIL 4, vil vi ligge i frontlinjen for forskningen i verden. Jeg fikk også bekreftet at det i fase 2 av MIL 4 bør framskaffes data for reseptormodellering av relative bidrag i et gitt område: Fingerprints av PAH-komponentene fra forskjellige kilder kan være en vei å gå fram på. Dette vil i så fall måtte skje i samarbeid med MIL 2.

## 8 OPPSUMMERING

Diskusjoner med forskere ved instituttene som jeg besøkte i USA, og konferansen i Nashville kan med henblikk på MIL-4 oppsummeres med følgende:

- det finnes metoder for å beregne totaleksponering til befolkningen basert på konsentrasjons-befolkningsprodukter (disse metodene er relevante for stoffer der inhalasjon er viktigste eksponeringsvei)
- en hel del er gjort for å beregne risiki (eks.: sannsynlighet for dødsfall) basert på dose/responssammenhenger, men disse metodene inneholder store usikkerheter, og er idag ufullstendige
- når det gjelder modellering av opptak og dose for kjemiske komponenter er det gjort svært lite. (Det beste finnes sannsynligvis i MARC-rapportene fra England).
- hvis en i MIL-4 skal utføre modellberegninger av dose til befolkning fra forskjellige kildetyper, bør dette utføres for spesifikke komponenter (eller grupper av kjemiske stoffer) og for et veldefinert område. (Interessante forskningsoppgaver.)
- et visst bilde av det relative bidrag fra energiproduksjonen vil en få i et spesifisert måleområde ved bruk av reseptormodeller basert på gode data (partikler, PAH, o.l.) for luftkvalitet og utslipp.



# NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

**NILU**  
TLF. (02) 71 41 70

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
ELVEGT. 52.

<b>RAPPORTTYPE</b> Oppdragsrapport	<b>RAPPORTNR.</b> OR 50/81	ISBN--82-7247-281-3
<b>DATO</b> JANUAR 1982	<b>ANSV.SIGN.</b> B.Ottar	<b>ANT.SIDER</b> 76
<b>TITTEL</b> MIL 4 - Relative bidrag av forurensninger til menneske og miljø fra forskjellige kilder.		<b>PROSJEKTLEDER</b> B.Sivertsen
		<b>NILU PROSJEKT NR</b> 25280
<b>FORFATTER(E)</b> Bjarne Sivertsen		<b>TILGJENGELIGHET **</b> A
		<b>OPPDRAAGSGIVERS REF.</b>
<b>OPPDRAAGSGIVER</b> Nordisk Ministerråd		
<b>3 STIKKORD (å maks.20 anslag)</b> NMR	Eksponering	Forurens.virkning
<b>REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer)</b> Rapporten skisserer grunnlaget for å beregne de relative bidragene til menneske og miljø fra forskjellige kilder til luftforurensninger i Norden. Den representerer en slutt-rapport fra første fase av prosjektet MIL 4, og inneholder en inventering av pågående arbeid i Norden, identifisering av problemene og utforming av aktuelle delprosjekter i fase 2 og 3 av MIL 4.		
<b>TITLE</b> MIL 4 - The relative contribution to man and environment of air pollutants from different sources.		
<b>ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines)</b> Report from the first phase of the project, which contains: problem identification, inventory of research in the Nordic countries and suggestions for projects in phase 2 and 3 of MIL 4.		

\*\*Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU           A  
Må bestilles gjennom oppdragsgiver       B  
Kan ikke utleveres                               C