

NILU  
OPPDRAGSRAPPORT NR.: 14/80  
REFERANSE: 27178  
DATO: MAI 1980

LUFTFORURENSNINGER VED TRAFIKKARER  
DATAOVERSIKT OG SKISSE TIL  
BEREGNINGSMETODE  
AV  
STEINAR LARSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

FORORD

I 1978 nedsatte Nordisk vegteknisk forbund (NVF) et nytt utvalg til å belyse miljømessige forhold ved vegtrafikk.

Dette utvalget, kalt "NVF Utvalg 64-Miljø", har siden arbeidet med en rekke forskjellige arbeidsoppgaver. Utvalget har nedsatt 4 forskjellige arbeidsgrupper til behandling av luftforurensning, visuelle forhold, byområders planlegging og vannforurensning.

Arbeidsgruppen for luftforurensning har innenfor utvalget bestått av

Stein Fyksen	N
Stig Hanno	S, formann
Jørgen Haugaard	D
Tommy Olsson	S
Risto Jokinen	F

Arbeidsgruppen har hatt følgende mandat for sitt arbeide:

"Målinger af luftforurening fra biler er meget tids- og ressourcekrævende. Ved at samordne målinger fra flere byer opnår man at fremskaffe hurtigere og billigere resultater.

På denne baggrund anmodes arbejdsgruppen om att beskrive sammenhengen mellom trafikmængde og luftens indhold af kuloxid og evt kvælstofdioxid i forskjellige gademiljøer. Denne sammenheng bør kunne udtrykkes på nomogramform og bør kunne relateres til de krav WHO stiller.

Arbejdet bør indledes med en innsamling og bearbejding af eksisterende måleresultater fra de nordiske lande. Desuden bør gruppen udarbejde forslag til fælles måleteknik (valg af instrumenter, målesondeplacering, måletid, meteorologiske data etc).

Resultatet skal foreligge til utvalgsmødet primo 1980 med henblikk på foreleggelse på kongressen.

Såfremt gruppen finder det hensigtsmessigt gjennom fælles målinger at forbedre nomogrammerne, anmodes gruppen om att udarbejde forslag til et sådant måleprogram".

Norsk institutt for luftforskning (NILU) påtok seg å gjennomføre arbeidet med å samle inn og bearbeide foreliggende luftforurensningsmålinger i Norden. Innsamlingen av måledata, som ble gjennomført i samarbeid med respektive lands utvalgssekretærer, ble påbegynt våren 1979. Innen NILU bearbeides det materiale som kan anvendes til å utvikle beregningsmodeller. I denne statusrapport gjøres det rede for hvor langt NILU er kommet i sitt arbeide og det arbeid som drives på andre hold i Norden.

Siden utvalg 64 påbegynte dette prosjektet har Nordisk ministerråds embetsmannskomiteé for miljøspørsmål gitt ministerrådsekretariatet i oppdrag å utrede mulighetene hvordan et utvidet nordisk samarbeide om bilavgasser kan organiseres. Et vedtak i dette spørsmål ventes ved embetsmannskomiteéens møte sommeren 1980. I påvente av komitéens beslutning hviler miljøutvalgets luftforurensningsprosjekt.

På utvalgets vegne vil vi takke Steinar Larssen på NILU for det utførte arbeidet.

Oslo, mai 1980

For NVF's forbundsutvalg 64 - Miljø

O. Andersson

V. Hakola

W. Brøsch

S.G. Thorsdal

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD .....	3
1 INNLEDNING .....	7
1.1 Bakgrunn .....	7
1.2 Status pr desember 1978 .....	8
2 ARBEIDET I NORDEN I 1979 .....	11
2.1 Oversikt, innsamling og systematisering av nordiske data .....	11
2.2 Arbeid i Norge .....	12
2.2.1 Spredning av bilavgasser i gatetverrsnitt under vinterforhold i Oslo .....	12
2.2.2 Testing av STANFORD-modellen .....	14
2.2.3 Spredning av forurensninger ved åpen trafikkåre ...	14
2.2.4 Midlere utslipp fra trafikk .....	14
2.3 Arbeid i Sverige .....	15
2.3.1 STANFORD-modellen .....	15
2.3.2 Statistiske sammenhenger .....	15
3 METODER FOR BEREGNING AV LUFTFORURENSNING VED TRAFIKKÅRER	16
3.1 Konsept .....	16
3.2 Utgangsdata .....	19
3.3 Modeller for spredning av forurensning nær veibanen	21
3.3.1 Kort beskrivelse av fire ulike spredningsmodeller .	21
3.3.2 Videreføring .....	28
3.4 Presentasjon av resultater .....	29
3.5 Beregningsmetodens form .....	29
4 REFERANSER .....	31
VEDLEGG .....	35

## METODER FOR BEREGNING AV LUFTFORURENSNING VED TRAFIKKÅRER

### 1 INNLEDNING

#### 1.1 Bakgrunn

"Utvalg 64 - Miljø" innen Nordisk vegteknisk forbund (NVF) sendte i september 1978 ut en innbydelse til de lokale NVF-avdelinger i de nordiske land til å delta i et prosjekt vedrørende luftforurensninger ved trafikkårer (vedlegg 1). Bakgrunnen for prosjektet var den økende interesse for luftforurensningsproblemet ved trafikkårer. Det var behov for en forbedring av metoder for beregning og vurdering av luftforurensning ved trafikkårer. Ved å gjennomføre et nordisk måleprosjekt med målinger i 3 ulike tettsteder i hvert land, regnet en med å få datamateriale som basis for utarbeidelse av en slik beregningsmetode.

En konferanse ble arrangert i Stockholm den 14.12.1978 av utvalgets svenske sekretariat i samarbeid med Stockholms kommunes "Miljö- och Hälsovårdsförvaltning", i den hensikt å utarbeide arbeidsprogrammet for måleprosjektet. Etter konferansen ble mandatet for luftforurensningsprosjektet formulert slik det er gjengitt i forordet.

Rammen for det arbeid som NILU ble anmodet om å utføre for NVF i 1979 og begynnelsen av 1980 var

- å skaffe oversikt over det datamateriale som forelå i nordiske land
- å foreta innsamling av det materiale en anså brukbart som datagrunnlag for testing av beregningsmetoder
- å legge opp dataene systematisk i en database.

Parallelt med dette arbeider NILU for det norske Bilforurensningsutvalget med utarbeidelse av beregningsmetoder for bilforurensning ved trafikkårer (1), basert på norske data. Samtidig utføres lignende arbeide i Sverige.

Hensikten med systematiseringen av de allerede foreliggende data i de nordiske land er å muliggjøre en utvidelse av anvendelsesområdet for beregningsmetodene, slik at de ved eventuelle modifikasjoner kan få nordisk gyldighet. Forbildet for dette er den nordiske metode for beregning av veitrafikkstøy (2).

I denne statusrapporten vil en først kort beskrive et konsept for en metode for beregning av forurensinger ved trafikkårer samt presentere status i datainnsamlingsarbeidet for NVF. En vil så beskrive det arbeid som i 1979 er gjort i de enkelte lands regi når det gjelder testing av spredningsmodeller og utarbeidelse av beregningsmetoder. Dette faller egentlig utenfor dette prosjektet, men har interesse for å kunne bedømme status for dette arbeidsfeltet pr våren 1980. NILUs arbeid med innsamling av nordisk datamateriale redegjøres det for i seksjon 2.1.1.

## 1.2 Status pr desember 1978

På det tidspunkt da konferansen i Stockholm ble holdt (desember 1978) fikk en inntrykk av følgende status i de ulike land, spesielt når det gjaldt arbeidet med datagrunnlag for og utarbeidelse av beregningsmetoder.

### Danmark

Omfattende målinger av luftforurensning ved trafikkårer ble utført i København i 1972-74. En vurdering av forurensningsforholdene ved trafikkårer i København ble gjort på bakgrunn av

disse data. Såvidt en forsto forelå det ikke konkrete planer om å benytte dataene til å utarbeide beregningsmetoder.

#### Finland

Målinger var utført ved enkelte trafikkårer i Helsingfors i 1975-76 og Lahtis i 1976 og 1979. En fikk ikke inntrykk av at det forelå konkrete planer for å bruke dataene til utarbeidelse av beregningsmetoder.

#### Norge

Målinger har i løpet av perioden 1971-78 vært utført ved ca. 12 målepunkter (gatetverrsnitt, trafikkårer) i 8 tettsteder, (3,4,5,6,7). Ved målepunktene er målinger utført kontinuerlig i perioder fra 3 uker og opp til 3 måneder. Hensikten med disse målingene har blant annet vært å skaffe en database for utarbeidelse av beregningsmetoder for forurensning ved trafikkårer. Ved hvert målepunkt er det målt forurensningsparametre, trafikkvolum og meteorologiske parametre. Det er, basert på disse data, satt opp enkelte sammenhenger mellom forurensning og de ulike parametre for trafikk, gaterommets geometri og meteorologi.

Som en del av grunnlaget for utarbeiding av beregningsmetoder, var to spredningsmodeller for bilavgasser (STANFORD-modellen for gatetverrsnitt og HIWAY-modellen for åpne gater) blitt klargjort for bruk ved NILU, og var anvendt til mindre utregningsoppgaver.

I 1979 var det planlagt utført en undersøkelse for testing av både STANFORD- og HIWAY-modellen under dårlige spredningsforhold (svak vind, inversjonsforhold).

#### Sverige

Bilforurensningsmålinger var utført ved en rekke trafikkårer i 28 tettsteder i tiden fram til 1979 (8). En del av disse undersøkelser kan benyttes som grunnlag for utarbeidelse og testing av beregningsmetoder. Spesielt i Stockholm har det vært utført

omfattende målinger. Målingene i Sverige har gitt grunnlag for å sette opp forenklete sammenhenger mellom forurensningsgrad og trafikkvolum i ulike typer gatetverrsnitt. (Vedlegg 2.)

I et samarbeidsprosjekt mellom Stockholms kommune, Sveriges meteorologiska og hydrologiska institut (SMHI) og Statens naturvårdsverk (SNV) er STANFORD-modellen testet på data for en periode på 100 dager fra Sveavägen og Döbelnsgatan i Stockholm, der omfattende CO-målinger ble utført i 1976 (9). Innenfor rammen av dette prosjektet har Gøran Friberg ved Stockholms "Miljö- och hälsovårdsförvaltning" i 1978 utarbeidet et idéutkast til utvikling av nomogram for beregning av CO-konsentrasjonen ved trafikkårer. (Vedlegg 3.)

Bilavgaskommittéen var høsten 1978 i sluttfasen i planleggingen av en omfattende måleserie som skal omfatte målinger ved 16 målepunkter i 3 tettsteder (Stockholm, Örebro, Umeå) i løpet av en 1½ års periode fram til 1981 (10). Denne måleserien er lagt opp blant annet for å gi en database for utarbeidelse av beregningsmetoder, og skal omfatte parametre for forurensning, trafikk og meteorologi.

Totalt sett forelå det pr. desember 1978 et relativt omfattende datamateriale å basere videre utvikling av beregningsmetoder på, og det forelå planer for å utvide databasen. STANFORD- og HIWAY-modellene var anvendt og testet på reelle data, og det forelå planer for videre testing. Likeledes forelå det et utkast til utforming og utvikling av en nomogrammetode for beregninger.



2      ARBEIDET I NORDEN I 1979

2.1    Oversikt, innsamling og systematisering av nordiske data

Som en del av arbeidet med bilforurensning innen NVF's "Utvalg 64 - Miljø", utarbeider NILU en oversikt over tilgjengelig data-materiale fra målinger av forurensninger ved trafikkårer som er utført i Norden før 1979, og skaffe til veie og systematisere det materialet en fant brukbart til testing av beregningsmetoder for bilforurensninger.

Via utvalgs-sekretærene ble et skjema sendt ut for innsamling av relevante opplysninger om tilgjengelig datamateriale (Vedlegg 4). Utvalgs-sekretærene distribuerte skjemaene til kommuner i sine respektive land.

Denne undersøkelsen ga, i tillegg til annet materiale, opplysninger om utførte og dokumenterte bilforurensningsmålinger i 1 kommune (København) i Danmark, 2 kommuner (Helsinki, Lahtis) i Finland og 34 kommuner i Sverige. I Norge er det utført målinger i 9 kommuner. Kommunene er listet i Vedlegg 5.

Tilsammen er dette et omfattende materiale som danner bakgrunn for utarbeidelse av beregningsmetoder. For testing av beregningsmetoder vil en i første rekke benytte undersøkelser der det foreligger samtidige målinger av forurensning, trafikk tetthet og meteorologiske parametre. Basert på den oversikt en nå har over datamaterialet, vil en da i første rekke benytte seg av undersøkelser i København, Helsinki, Lahtis, Stockholm og Oslo, samt fra noen flere byer i Sverige og Norge. Omfanget av datamaterialet fra disse byene er vist i Vedlegg 5. I andre rekke vil en benytte det omfattende materialet fra Sverige for de målesteder der estimer av trafikk tettheten (årsdøgnetrafikk) og klimadata fra nærliggende klimastasjoner foreligger. Dette finnes fra en rekke målesteder i ulike svenske byer og kommuner.

Det er nødvendig med detaljerte opplysninger om målesteder, metodikk og annet for å kunne trekke de nødvendige informasjoner ut av datamaterialet. For å få inn de nødvendige opplysninger ble det utarbeidet et skjema, se Vedlegg 6.

Alle data fra målinger i Norge er ferdig systematisert og bearbeidet for testing av beregningsmetoder. Datamaterialet fra Helsinki og København er mottatt ved NILU, og er under bearbeiding. En avventer materialet fra Lahtis, mens materialet fra Stockholm er under bearbeiding i Sverige før oversendelse til NILU.

En del av bearbeidingen blir å undersøke sammenlignbarheten av resultatene av forurensningsmålinger fra de ulike nordiske land. Dette vil skje blant annet ved hjelp av sammenligninger av middelverdier og av ekstremverdier fra de ulike målesteder, når trafikkvolum og meteorologiske forhold er like. De data som er av akseptabel kvalitet vil foreligge systematisert på file, klar til testing av beregningsmetoder.

Bruken av dataene til utarbeidelse av og testing av beregningsmetoder vil representere en videreføring utover den rammen som er satt for prosjektets første del.

## 2.2 Arbeid i Norge

### 2.2.1 Spredning av bilavgasser i gatetverrsnitt under vinterforhold i Oslo

STANFORD-modellen, som omtales i seksjon 3.3.1, er den eneste gatetverrsnitt-modellen som foreligger. Den forutsetter at det settes opp en virveldannelse i gaterommet, når vinden har en stor nok komponent på tvers av gaten. En må anta at det er en nedre grense for vindstyrken, under hvilken det ikke settes opp en definert virvel i gaterommet. Denne grensevindstyrken vil sannsynligvis øke med økende høyde/bredde-forhold for gaterommet.

De høyeste forurensningskonsentrasjonene generelt over et tettsted og også ved trafikkårer opptrer i Norge ved kald-luft-situasjoner om vinteren med lav vindstyrke og temperaturinversjon i luften over tettstedet.

I januar-februar 1979 ble det gjennomført et prosjekt for ved hjelp av målinger å beskrive spredningen av bilavgasser i gaterommet under slike ekstreme forhold (11). Det ble benyttet en sporstoffteknikk, der svovelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) ble sluppet ut i kjente mengder ved eksosrøret på biler som fulgte med trafikkstrømmen. Samtidig ble  $\text{SF}_6$ -innholdet i luften målt i 20 punkter i gaterommet, langs gaten og i høyden. Utslipp og målinger ble foretatt i 15-minutters-perioder, og en har i alt 6 tester utført på 3 forskjellige dager med noe varierende værforhold.

Trafikken i gaten (Rådhusgaten) er ensrettet med 3 kjørefiler. I denne situasjon var vindretningen i gaten alltid i retning langs trafikken, med styrke mellom 1.0 og 1.5 m/s, uansett vindforhold over tak. På de tre dagene da  $\text{SF}_6$ -testen pågikk, var vindstyrken over tak (45 m over bakken) hhv. 1.1, 1.6 og 2.0 m/s.

Under disse forholdene viste målingene at det ikke oppsto virveldannelse i gaterommet som var effektiv helt ned mot gatenivå. Nedslag av "ren" luft langs øvre del av fasaden på vindsiden var imidlertid tydelig.

Når det gjelder reduksjonen av forurensningen med høyden over bakken, viste det seg at STANFORD-modellen likevel simulerte rimelig godt den midlere reduksjon med høyden som målingene viste. Måleserien vil kunne gi et visst grunnlag for å modifisere STANFORD-modellen, eller å utvikle en ny modell for spredning i gatetverrsnitt under forhold med liten vindstyrke.

### 2.2.2 Testing av STANFORD-modellen

STANFORD-modellen kan testes på CO-målingene som er utført i en rekke gatetverrsnitt. En vil kunne teste modellens avhengighet av vindstyrke og gaterommets dimensjoner. Spesielt vil en kunne finne hvilke forutsetninger som må være tilfredsstilt for at modellen skal gi rimelig gode estimater.

Dette arbeidet er i gang, men gir så langt ikke grunnlag for å trekke konklusjoner.

### 2.2.3 Spredning av forurensninger ved åpen trafikkåre

På grunnlag av spredningsforsøkene i 1979 for testing av HIWAY-modellen, som er beskrevet i seksjon 3.3.1, har en foreslått modifiserte spredningsparametre som kombinerer virkningen av turbulens og transporttid. Det er i samsvar med forslag til forbedret beskrivelse av spredning ved bakken (12). Parametrene representerer videre en forenklet beskrivelse av detaljerte modellberegninger utført i USA (13,14). De detaljerte modellberegningene er utført for å forklare de feilene ved HIWAY-modellen som ble påvist under General Motors-studiet (15).

### 2.2.4 Midlere utslipp fra trafikk

Det er viktig at en har gode data for midlere utslipp fra biler i trafikk under ulike forhold. Bilavgaslaboratoriet i Studsvik i Sverige (9,16) og Bilavdelingen ved Statens teknologiske institutt i Norge, har utført et stort antall utslippsmålinger på nye og brukte biler i Norge og Sverige, slik at midlere utslipp fra en typisk sammensetning av biltyper og årsmodeller kan beregnes.

Den omtalte undersøkelsen av spredning i gatetverrsnitt i Oslo ved hjelp av SF<sub>6</sub> (seksjon 2.2.1) gir grunnlag for å beregne midlere utslipp av ulike forurensningskomponenter fra den kjøretøysammensetning som passerte Rådhusgaten i løpet av måleperioden.

Foreløpige beregninger tyder på at utslippet av CO bestemt på denne måten ikke avviker vesentlig fra det en kan beregne fra Bilavgaslaboratoriets målinger, men at det ligger noe høyere.

## 2.3 Arbeid i Sverige

### 2.3.1 STANFORD-modellen

Det arbeides med modifikasjoner av STANFORD-modellen for beregning av CO-konsentrasjonen, slik at den bedre enn tidligere kan tilpasses måledata. Modifikasjonene gjelder i første rekke bedre beskrivelse av utslippet, samt en endret beskrivelse av forurensningens avhengighet av vindforholdene. Videre testes modellen mot måledata fra vinteren 1978.

I første etappe, som planlegges klar våren 1980, skal modifikasjoner til overensstemmelse med eksisterende data være ferdig. I andre etappe skal modellen utnyttes for å utvikle forenklete beregningsnomogrammer. Modellen skal også testes mot nye data som kommer inn fra Bilavgaskommittéens måleprogram (10), som har vært i gang siden høsten 1979. Arbeidet pågår også med å tilpasse modellen for beregning av  $\text{NO}_x$ .

### 2.3.2 Statistiske sammenhenger

Data fra Bilavgaskommittéens måleprogram vil gjennomgå en regresjonsanalyse for å finne fram til eventuelle statistisk signifikante sammenhenger mellom forurensning og bestemmende parametre. Tiao-Ledolter's modell, beskrevet i seksjon 3.3.1, legges i første rekke til grunn for regresjonsanalysen.

### 3 METODER FOR BEREGNING AV LUFTFORURENSNING VED TRAFIKKÅRER

#### 3.1 Konsept

Luftforurensning ved trafikkårer skyldes oftest i hovedsak trafikken på den trafikkåre en betrakter. Under spesielle forhold kan utslipp fra andre kilder i nærheten (andre trafikkårer, generell tettstedsforurensning, industri) være av betydning. Metoder for beregning av forurensning ved trafikkårer bør fremst være innrettet på å beregne forurensningen fra den trafikkåre en betrakter, men bør i tillegg kunne an vise hvordan en skal ta hensyn til andre nærliggende kilder.

En vil i det følgende betrakte forurensningen fra trafikkåren selv. Denne forurensning er en funksjon av følgende faktorer:

1. Forurensningsutslippet, som for hvert forurensningsstoff er ulike funksjoner av:
  - 1.1 Kjøretøysammensetningen (merke, årsmodell)
  - 1.2 Trafikkvolumet, kjøretøy/tidsenhet
  - 1.3 Fordelingen mellom bensin- og dieselskjøretøy og andel tunge kjøretøy.
  - 1.4 Trafikkhastigheten, middelerdi (m/s) og variasjon (m/s<sup>2</sup>).
  - 1.5 Motortemperaturen.
  - 1.6 Veibanens stigning.

Trafikkårens høyde over havet har betydning for utslippet, men neppe innen det høydeinterval der tettsteder i Norden befinner seg.

2. Meteorologiske forhold, som påvirker spredningen av forurensningene ved vegbanen. Det er i første rekke følgende parametre som er viktige:
  - 2.1 Vindstyrke og vindretning.
  - 2.2 Vertikal temperaturgradient.
  - 2.3 Nedbør (fuktighetsforhold på veibanen, som er viktig for veistøvforurensningen).

3. Veibanens utforming.
  - 3.1 Veibredde.
  - 3.2 Enveis- eller toveis trafikk.
  - 3.3 Kjørefilenes antall og dimensjoner.
  
4. Topografiske og bygningsmessige forhold ved veibanen, som er med å bestemme spredningsforholdene.
  - 4.1 Dobbelsidig-, enkeltsidig-, ingen bygningsrekker eller spredt bebyggelse langs veien.
  - 4.2 Bygningenes høyde.
  - 4.3 Terrengformasjoner.
  - 4.4 Vegetasjon.
  
5. Posisjonen i forhold til veibanen
  - 5.1 Avstand fra veibanen.
  - 5.2 Høyde over veibanen.

En beregningsmetode må med rimelig nøyaktighet kunne gi et estimat av forurensningsgraden i et gitt punkt i forhold til veibanen, når faktorene under pkt. 1, 2, 3 og 4 er kjent.

Vurderingen av forurensningsgraden baseres på sammenligning mellom estimert forurensning og de grenseverdier som er satt i normer eller retningslinjer for luftkvalitet. Definisjonen av begrepet forurensningsgrad er gitt av normene for det enkelte stoff, som avgjør om forurensningsgraden skal bestemmes som 1 times middelvei, døgnmiddelvei, halvårsmiddelvei eller annet, og også definerer hvilken situasjon som er akseptabel (f.eks. om ingen, 1%, 2% eller 5% av observasjonene kan overskride en viss grenseverdi).

Ved en gitt, eksisterende eller planlagt, trafikkåre vil de ulike faktorer enten være kjente størrelser eller de kan estimeres.

Faktor 1.1 må estimeres ut fra totalsammensetningen i landets bilpark. Kjennskap til utslippet fra ulike bilmodeller gir da grunnlag for å beregne totalt utslipp fra trafikken langs en trafikkåre, når man kjenner faktorene nevnt under punktene 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 og 1.6 foran.

Faktorene 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2, 4.3 og 4.4 vil være gitt eller estimert i en gitt situasjon.

Meteorologisk statistikk (1.6, 2.1, 2.2 og 2.3) kan ofte skaffes tilveie, men enkelte steder må man regne med å måtte estimere eller bestemme (ved hjelp av målinger) den meteorologiske statistikk som må inn i beregningene for å bestemme forurensningsgraden.

Basert på den meteorologiske statistikk, samt utslippets variasjon over døgnet, må en beregningsmetode kunne gi representative estimater av forurensningsgraden ved trafikkåren (maksimal- eller middelveidier over ulike tidsrom) i ulike punkter i nærheten av trafikkåren.

En kan tenke seg beregningsmetoder på to nivå:

1. Forenklet metode. Gir grove estimater av forurensningsgraden. Anvendes for å avgjøre om mer omfattende vurdering av luftforurensningsproblemer er nødvendig i en gitt situasjon.
2. Omfattende metode. Gir sikrere estimater av forurensningsgraden. Anvendes når den forenklete metoden gir som resultat at en mer omfattende vurdering av forurensningsgraden er nødvendig.

Kriteria for å avgjøre når nivå 2 skal benyttes, kan være at nivå 1 gir en forurensningsgrad som ligger opp mot den som er foreskrevet som grenseverdi i normer og retningslinjer.

Figur 1 viser en skisse av mulig framgangsmåte ved bruk av beregningsmetoder i vurdering av forurensningen ved eksisterende trafikkårer eller planlegging av nye trafikkårer.



### 3.2 Utgangsdata

#### Utslippsdata

Følgende sammenhenger må foreligge som tabeller eller nomogrammer:

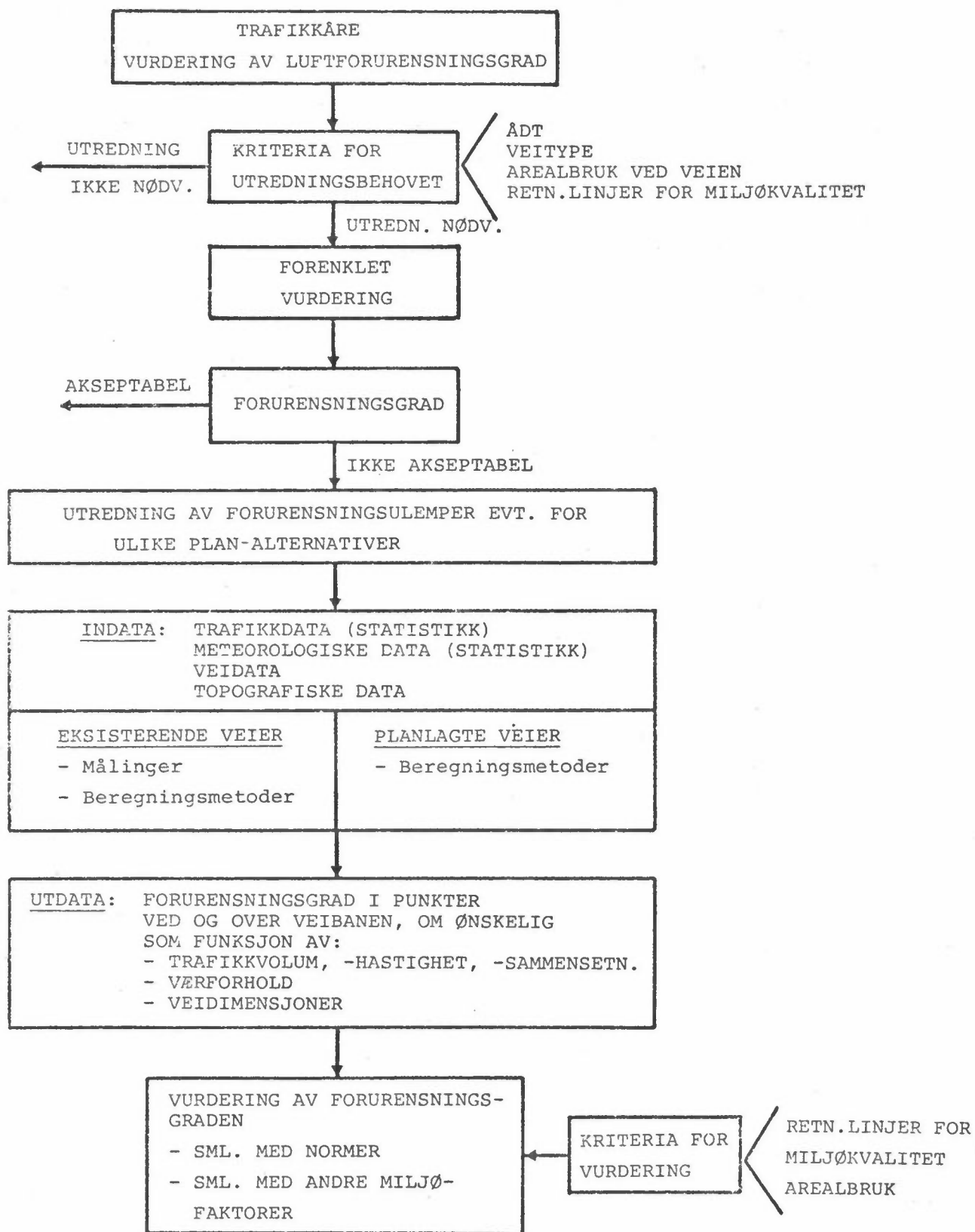
- midlere utslipp av ulike forurensningskomponenter fra ulike kjøretøytyper (bensin/diesel personbil, diesel tunge kjøretøy) som funksjon av trafikkstrøm-parametre (middelhastighet, akselerasjon) og motorens driftstilstand.
- trafikkstrømparametre (middelhastighet, akselerasjon) som funksjon av trafikkvolum (kjøretøy/time) for ulike typer av trafikkårer.

Det foreligger et betydelig datamateriale fra målinger av utslipp fra biler, utført under standardiserte betingelser ved Bilavgaslaboratoriet i Studsvik, Sverige (9,16) og ved Bilavdelingen, Statens teknologiske institutt i Oslo.

Når det gjelder sammenhengen mellom ulike trafikkstrømparametre i ulike gatetyper, foreligger det også en del datamateriale (17).

#### Veigeometri og topografi-data

- dimensjoner av vei, kjørefiler
- veistigning
- spesifisering av bygningsmessige og topografiske forhold langs trafikkåren



Figur 1: Vurdering av luftforurensningsgrad ved trafikkårer. Skisse av framgangsmåte.

### Trafikkdata

- trafikkvolumstatistikk (variasjon over døgn, uke, år)
- kjøretøysammensetning
- kjøreretninger.

### Meteorologiske data

- vind- og temperaturstatistikk, inkludert karakteristiske døgn- og årstidsvariasjoner.

## 3.3 Modeller for spredning av forurensning nær veibanen

Fysisk - empiriske spredningsmodeller baserer seg på en fysisk beskrivelse av spredningsmønstret nær veibanen. Spredningsmønstret er ofte komplekst på grunn av uregelmessige topografiske og bygningsmessige forhold, og den fysiske beskrivelsen gir et mer eller mindre godt bilde av virkeligheten. Slike modeller må oftest kalibreres til virkelige forhold ved hjelp av sammenligning med måleresultater.

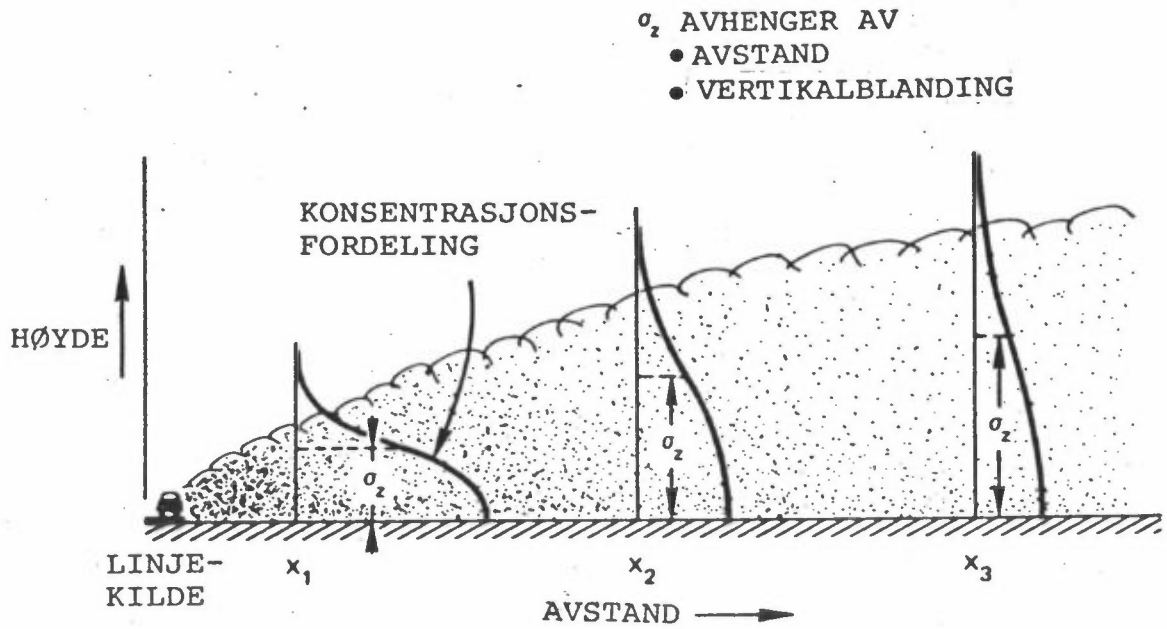
Statistiske modeller baserer seg utelukkende på målinger. Basert på et stort datamateriale kan sammenhenger mellom forurensningsgrad og ulike parametre (trafikk-, meteorologiske-, topografiske parametre) bestemmes.

For begge typer modeller gjelder at de er generelle bare når de kan beskrive forurensningsnivået i rom og tid tilfredsstillende ved et tilfeldig valgt målested, når foreskrevne utgangsdata er tilgjengelige.

### 3.3.1 Kort beskrivelse av fire ulike spredningsmodeller

#### HIWAY-MODELLEN

Denne modellen er utviklet ved Environmental Protection Agency (EPA) for beregning av forurensningskonsentrasjoner ved trafikkårer uten vesentlig bebyggelse og topografiske hindringer (18). Utslipet av forurensninger betraktes som en linjekilde og metoden bygger på vertikalspredning ifølge en Gaussisk formulering, anskueliggjort i figur 2.



Figur 2: Vertikalspredning ifølge HIWAY-modellen.

Spredningen av utslippet pr. tidsenhet fra en lengdeenhet av veien beregnes ved en formel. Når utslipp og spredningsforhold er kjent summeres bidraget fra de forskjellige deler av veien.

General Motors har nylig publisert en grundig undersøkelse av modellens anvendbarhet (15), og er kommet frem til følgende resultater:

Ved instabil vertikalspredning:

Modellen overestimerer forurensningen noe.

Ved nøytral og stabil vertikalspredning:

Modellen overestimerer forurensningen ved bakken, og underestimerer forurensningen 10 m over bakken.

Modellens anvendbarhet for norske vinterforhold, som fører til høye forurensningskonsentrasjoner, ble undersøkt ved hjelp av målinger i februar/mars 1979 ved en åpen vei nær Lillestrøm (19).

Sporstoff ble sluppet ut fra biler som fulgte trafikken, og sporstoffkonsentrasjonen ble registrert i forskjellig avstand fra veibanen (1-70 m). Videre ble vertikalfordelingen mellom 1 og 10 m registrert. Spredningsforholdene ble registrert ved målinger av vindhastighet og vindretning 10 m over bakken samt registrering av temperaturfordelingen med høyden. Resultatene viste at de målte konsentrasjonene lå nær de beregnede verdier ved riktig valg av spredningsparametre. Valg av spredningsklasse på grunnlag av temperaturfordelingen med høyden bør modifiseres i forhold til det som har vært anvendt tidligere.

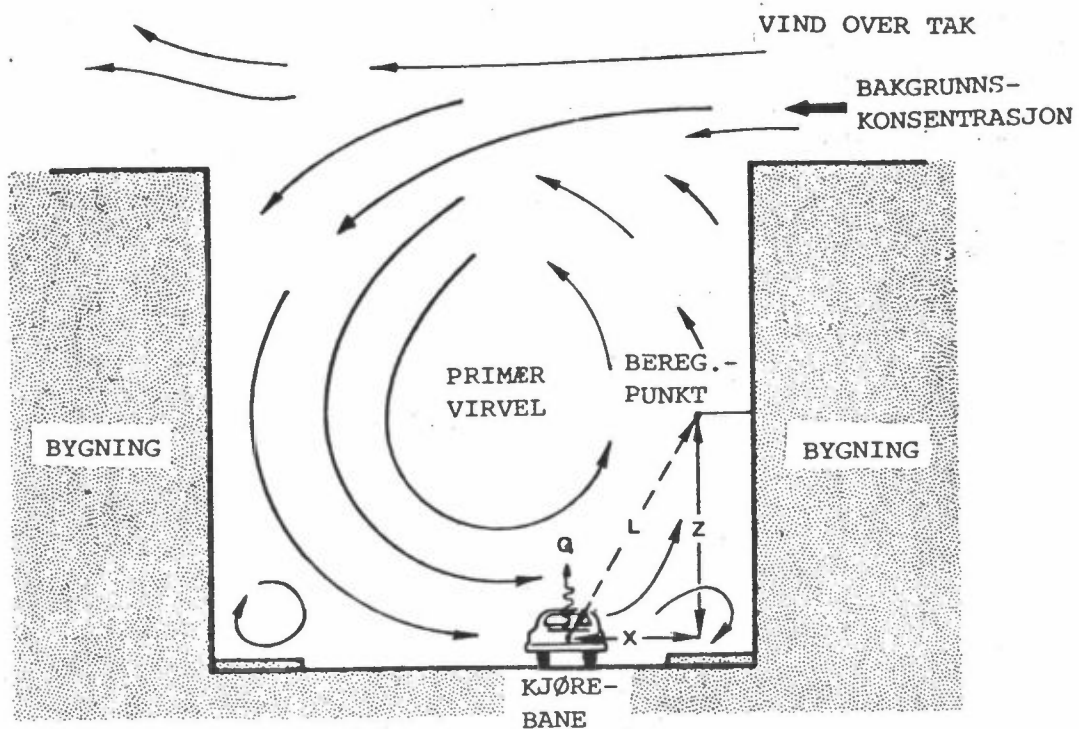
#### STANFORD (APRAC)-MODELLEN

Modellen er utviklet for beregning av CO-forurensningen i et tettstedsområde. Modellen består av to deler: en del beregner det bidrag til CO-konsentrasjonen i et punkt som skyldes CO-utslipp i den øvrige del av området (kalt bakgrunnskonsentrasjonen,  $C_b$ ), mens en del beregner den CO-konsentrasjonen i et gatetverrsnitt ("street canyon") som skriver seg fra utslippet fra trafikken i gaten. Modellen er utviklet og testet ved Stanford Research Institute i California, USA (20).

Gatetverrsnittmodellen forutsetter at vindhastigheten over gaten er såvidt sterk at det opptrer en definert virvel i gaterommet, se figur 3.2, når vinden danner en vinkel med gaten. Det benyttes ulike formler for beregning av forurensningen på lesiden og vindsiden. Når vinden blåser langs gaten, antas konsentrasjonene på begge sider av gaten like, og beregnes som middelverdien av  $\Delta C_L$  og  $\Delta C_W$ . Formlene er vist i figur 3.

Ved sammenligning mellom målinger og beregninger kalibreres modellen til målingene ved hjelp av parametrene K og  $L_0$ .

I forbindelse med utvikling av beregningsmetoder for forurensning ved trafikkårer i Norden, er det gatetverrsnittsmodellen som er mest interessant å teste. Bakgrunnskonsentrasjonen kan beregnes ved hjelp av ulike metoder.



Figur 3. Beregning av forurensningsbidraget fra bilene i en gate. APRAC-modellen.

$$\text{Konsentrasjon på lesiden: } \Delta C_L = \frac{K Q_S}{(u + 0.5) \cdot [(x^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} + L_0]} \left. \begin{array}{l} K \\ L_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{bestemmes ved} \\ \text{målinger} \end{array}$$

$$\text{Konsentrasjonen på vindsiden: } \Delta C_W = \frac{K Q_S (H - z)}{W(u + 0.5)H}$$

$$\text{Konsentrasjon ved vind langs veien: } \Delta C_P = \frac{\Delta C_L + \Delta C_W}{2}$$

$u$  : vindhastigheten over hustakene (m/s)

$C_b$  : bakgrunnskonsentrasjonen (mg/m<sup>3</sup>)

$Q_S$  : kildestyrken langs gaten (g/sm)

$x$  : avstanden fra nærmeste kjørebane til målepunktet (m)

$z$  : målestedets høyde over bakken (m)

$H$  : høyden av husene som begrenser gatetverrsnittet (m)

$W$  : bredden av gatetverrsnittet (m)

$K$  : proporsjonalitetsfaktor som bør bestemmes empirisk

$L_o$  : angir spredningseffekten av bilenes egenturbulens  
( $\approx 2$  m).

STANFORD-modellen har vært testet mot målinger i Stockholm og i Oslo. I Stockholm ble beregningsresultatene sammenlignet med CO-målinger ved 2 gater over en periode på tilsammen 100 dager (9). Overensstemmelsen mellom målinger og beregninger var god. Midlere vindstyrke i perioden var i overkant av 4 m/s, høy nok til at den forutsatte virveldannelsen i gaterommet eksisterer.

En fikk systematiske forskjeller i forurensningen på de to sidene av gaten, i overensstemmelse med modellens resultater. Målte og beregnete middelveidier for hele måleperioden stemte rimelig bra. De beregnete maksimalverdier lå imidlertid en del lavere enn de som ble målt.

I Oslo ble beregningsresultatene sammenlignet med målinger i perioder med dårlige spredningsforhold, dvs. lav vindstyrke og redusert vertikal utlufting (11). Under slike forhold, når virveldannelsen ikke oppstår, var det ikke god overensstemmelse mellom målinger og beregninger. En fikk ikke de forventede forskjeller i forurensning fra vindsiden til lesiden. Under forhold med lav vindstyrke er det derfor behov for å modifisere denne modellen, eller basere beregningene på en annen modell. Det synes å være bra overensstemmelse mellom svenske og norske resultater, når det gjelder bruk av modellen ved lave vindstyrker.

#### NORDISK PLANERINGSKONSULT A/B's modell

Nordisk planeringskonsult A/B i Gøteborg har i bruk en modell for beregning av maksimalkonsentrasjoner av forurensning langs trafikkårer (21). Modellen er i prinsippet av typen

$$C = k \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_n$$



der C er konsentrasjon, k er en faktor for kalibrering mellom målinger og beregninger og  $f_1, \dots, f_n$  er funksjoner som tar hensyn til følgende faktorer:

- utslipp
- trafikkvolum
- trafikkhastighet
- andel tunge kjøretøy
- gaterommet
- gatebredde
- hushøyde
- avstand til kryss
- posisjon
- avstand fra veikant og veimidte
- høyde over bakken.

Meteorologiske parametre inngår ikke i modellen. Ved NILU har en ikke testet modellen mot målinger. En sammenligning mellom beregnete maksimalkonsentrasjoner i Västerås i 1978 og målte konsentrasjoner i tilsvarende gater tyder på at modellen gir verdier som kan være betydelig høyere enn de som måles.

#### TIAO - LEDOLTERS'S MODELL

G.C.Tiao, University of Wisconsin og J. Ledolter, University of Iowa har utviklet en statistisk modell for CO-forurensningen langs en motorvei, som tar hensyn til trafikkvolum og vindhastighet på tvers av veien (22). Modellen har i prinsippet formen:

$$C_t = \alpha + kT_t e^{-b(v_{1,t} - v_0)^2} + a_t$$

hvor  $C_t$  er konsentrasjonen ved tid t  
k er en proporsjonalitetsfaktor for tilpassing til målinger  
 $v_{1,t}$  er vindstyrken vertikalt på veien ved tid t  
 $v_0$  og b er tilpasningsfaktorer  
 $\alpha$  og  $a_t$  er ledd som muliggjør å ta hensyn til bakgrunns-konsentrasjonen.

Modellen er videre utviklet til å beskrive konsentrasjonen, ved tid  $t$ , som funksjon av avstanden fra midten av veibanen, og er testet mot målinger av CO og bly i ulike avstander fra veibanen ved San Diego Freeway ved Los Angeles. Etter tilpassing av proporsjonalitetsfaktor beskrev modellen tidsforløpet av forurensningen svært bra i ulike avstander fra veibanen. En er ikke kjent med at modellen er testet mot data fra andre målesteder.

### 3.3.2 Videreføring

Både fysisk-empiriske og statistiske modeller har fordeler som en bør utnytte ved videreutviklingen av modeller for spredning av forurensninger ved trafikkårer i Norden.

Modeller som gir en fysisk beskrivelse av spredningen tre-dimensjonalt gir muligheten til å kartlegge forurensningsnivået som funksjon av avstand fra og høyde over veibanen. Samtidig er det klart at en fysisk modell som er kalibrert mot målinger i et lite antall punkter ved enkelte trafikkårer ikke nødvendigvis vil gi riktige verdier i andre punkt i rommet, og under alle meteorologiske forhold. STANFORD-modellen er et eksempel på det.

Statistiske modeller som er basert på et stort datamateriale, kan gi gode estimater for forurensningen på enkeltpunkt i forhold til trafikkårer, nemlig de enkeltpunkt der de målingene som ligger til grunn for modellen er utført. En utvidelse av gyldigheten av en statistisk modell til å gjelde et punkt i tilfeldig avstand og høyde i forhold til trafikkåren må basere seg på fysiske sammenhenger eller resultater av spesielle måleserier som sier noe om forurensningsvariasjon med avstand og høyde.

Den modell for spredning av forurensninger ved trafikkårer som tilstrebes, blir derfor en kombinasjon av statistiske sammenhenger, funnet ved målinger, og fysiske formuleringer, funnet fra teori eller målinger.

Ved NILU arbeides det med følgende hovedelementer som vil inngå i modeller for spredning ved trafikkårer:

- STANFORD-modellen, modifisert ifølge resultater av tester i Sverige og Norge.
- HIWAY-modellen, modifisert blant annet basert på tester i USA og Norge.
- Statistiske sammenhenger mellom forurensningskomponenter og ulike parametre for trafikk-, spredning- og topografiske forhold, basert på målinger utført ved 12 målepunkt i 8 tettsteder.

#### 3.4 Presentasjon av resultater

Beregningsmetoden bør kunne gi informasjon om forurensningsgraden i et tilfeldig valgt punkt i gitt posisjon i forhold til trafikkåren. Forurensningsgraden spesifiseres som forventet frekvens av forekomst av høye verdier av ulike forurensningskomponenter, beregnet som middelerverdier for perioder fra 1 time til 6 måneder.

Metoden bør også muliggjøre å få ut disse informasjoner for ulike verdier av trafikk- og veiparametrene, slik at det er mulig å benytte resultater av beregningene til eventuell modifisering av planens vei- og trafikkparametre.

#### 3.5 Beregningsmetodens form

Beregningsmetoden må gis en oversiktlig form, slik at den er lett å bruke. En kan tenke seg en nomogramform, der de ulike faktorer som skal inn i beregningen kan avleses fra diagram som kan være normalisert i forhold til en spesifisert utgangssituasjon, slik det er gjort i støymetoden (2). En kan også tenke seg en funksjonsform, der faktorene beregnes direkte fra de funksjoner som også er utgangspunktet for å tegne nomogrammer. En vil se det som hensiktsmessig om flest mulig av sammenhengene mellom forurensning og bestemmende parametre kan settes opp i nomogramform. Gøran Fribergs ideutkast (vedlegg 3) peker på en hensiktsmessig måte å utarbeide og utforme en nomogrammetode.

Det bør utarbeides beregningsskjema som skrittvis anviser hva som skal gjøres, og der resultater av beregningene i hvert trinn noteres. Nordisk metode for beregning av veitrafikkstøy har en form som sannsynligvis er hensiktsmessig som modell for luftforurensningsmetoden.

Environmental Protection Agency (EPA) i USA har anvist metoder for beregning av luftforurensning, til bruk i planlegging av boligområder (23). Der inngår blant annet beregning av forurensninger fra trafikk på veier i området. Kun avstanden til veien og vindretningen er tatt i betraktning, og metoden benyttes til beregning av maksimale korttidskonsentrasjoner (1 timesmiddel). Metoden gir ideer til utforming som en kan dra nytte av i utformingen av en mere komplisert beregningsmetode.

4 REFERANSER

- (1) Larssen, S. Beregningsmodeller for vurdering av forurensning fra biltrafikk i forbindelse med areal/trafikkplanlegging og trafikkregulering. Prosjektforslag. Lillestrøm, NILU 1978.
- (2) Statens vegvesen  
Miljøverndepartementet Nordisk beregningsmodell for vegtrafikkstøy. Del 1: Forenklet metode. Del 2: Komplette metode. Oslo 1979. (Statens vegvesen, Håndbok - 064).
- (3) Larssen, S. Undersøkelser av luftforurensning fra biltrafikk i Norge. Lillestrøm 1977. (NILU OR 10/77.)
- (4) Larssen, S. Luftforurensninger fra vegtrafikk. Målinger i Trondheim kommune 1978. Lillestrøm 1978. (NILU OR 49/78.)
- (5) Larssen, S. Luftforurensninger fra vegtrafikk. Målinger i Bergen kommune 1978. Lillestrøm 1979. (NILU OR 24/79.)
- (6) Larssen, S. Luftforurensninger fra vegtrafikk. Målinger i Sarpsborg 1978. Lillestrøm 1979. (NILU OR 37/79.)
- (7) Larssen, S. Luftforurensninger fra vegtrafikk. Målinger i Lillehammer 1978. Lillestrøm 1979. (NILU OR 48/79.)
- (8) Boström, C.-E. Bilavgassundersøkingar i svenska kommuner 1969-1975. Solna 1977. (Statens Naturvårdsverk. PM 729).
- (9) Bilavgasser i gatumulö - modell och modelltest. Samarbetsprosjekt mellan Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Statens Naturvårdsverk, Stockholms kommun. Stockholm 1977. (Statens Naturvårdsverk PM 891.)

- (10) Bilarna och luftföroreningarna; kartläggning av problem, undersökningsprogram. Lägesrapport från Bilavgasskommittén. Stockholm 1979. (Statens offentliga utredningar. 1979:34.)
- (11) Larssen, S. Rapport under utarbeidelse. NILU.
- (12) Pasquill, F. Some topics relating to modelling of dispersion in boundary layer. Washington. D.C. 1975. (Forente Stater EPA-650/4-75-015).
- (13) Eskridge, R.E.  
Hunt, J.C.R. Highway modelling. Part I: Prediction of velocity and turbulence fields in the wake of vehicles. *J. Appl. Meteorol.*, 18, 387-400 (1979).
- (14) Eskridge, R.E.  
Binkowski, F.S.  
Hunt, J.C.R.  
Clark, T.L.  
Demerjian, K.L. Highway modelling. Part II: Advection and diffusion of SF<sub>6</sub> tracer gas. *J. Appl. Meteorol.*, 18, 401-412 (1979).
- (15) Choch, D.P. General motors sulfate dispersion experiment; assessment of the EPA HIWAY-model. *Air Poll. Contr. Ass. J.*, 27, 39-45 (1977).
- (16) Bertilsson, T. Emissioner från personbilar vid olika belastningsfall vid körning inomhus och utomhus II. Solna 1979. (Statens Naturvårdsverk. PM 1135).
- (17) Granquist, T.S. Effekten av ulike trafikktiltak med hensyn til luftforurensninger, arbeidsdokument. Oslo, Transportøkonomisk institutt, 1971.

- (18) Zimmerman, J.R.  
Thompson, R.S. User's guide for hiway. A highway air pollution model. Research Triangle Park, North Carolina, 1975. (Forente Stater. EPA-650/4-74-008).
- (19) Grønskei, K.E. Rapport under utarbeidelse. NILU.
- (20) Dabberdt, W.F.  
Ludwig, F.L.  
Johnson, W.B. Validation and applications of an urban diffusion model for vehicular pollutants.  
*Atmos. Environ.*, 7, 603-618 (1973).
- (21) Nordisk Planerings-  
konsult NPK-system: IMPACT. Beräkning av vägtrafikens miljöeffekter. Göteborg 1975.
- (22) Ledolter, J.  
Tiao, G.C. Statistical models for ambient air pollutants with special reference to the Los Angeles catalyst study (LACS) data.  
*Environ. Sci. & Technol.*, 13, 1233-1240 (1979).
- (23) Briggs, T.M.  
Overstreet, M.  
Kothari, A.  
Devitt, T.W. Air pollution considerations in residential planning. Vol. 1: Manual. Research Triangle Park, North Carolina, 1974. (Forente Stater EPA-450/3-74-046-a).



# NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

**NILU**

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

TLF. (02) 71 41 70

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 14/80	ISBN--82-7247-172-8
DATO April 1980	ANSV.SIGN. B.Ottar	ANT.SIDER 51
TITTEL Metoder for beregning av luftforurensning ved trafikkårer. Statusrapport til NVF's Utvalg 64 - Miljø.	PROSJEKTLEDER S. Larssen	NILU PROSJEKT NR 27178
	FORFATTER(E)  Steinar Larssen	TILGJENGELIGHET **  A OPPDRAAGSGIVERS REF.
OPPDRAAGSGIVER Vegdirektoratet		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Luftforurensning   Vegtrafikk		Beregningsmetoder
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) Statusrapporten er utarbeidet for presentasjon til Nordisk Vegteknisk forbund's (NVF) kongress i 1980. Den presenterer status av NILUs arbeide med systematisering av data fra bilforurensningsmålinger i Norden, samt status i Norden når det gjelder arbeidet med utarbeidelse og testing av metoder for beregning av luftforurensning ved trafikkårer.		
TITLE Methods for estimation of air pollution levels close to traffic arteries. Status report to NVF's Working group		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) 64 - Environment The status report is written for presentation to Nordic Association of Road Technology (NVF) congress of 1980. The report presents the status of NILUs work concerning collection and evaluation of data from measurements of automotive pollution along traffic arteries that have been performed in Nordic countries. It also presents the status of efforts in those countries to establish computational methods for estimation of the air pollution levels close to traffic arteries.		

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