

NILU

OPPDRAGSRAPPORT NR 15/75

REF: EO-2-18.72

DATO: SEPTEMBER 1975

STATISTISK BEARBEIDING AV
FORURENSNINGSDATA OG METEOROLOGISKE
DATA, SAMT BRUK AV SPREDNINGSMODELLER
I NEDRE TELEMARK

AV

JØRGEN SCHJOLDAGER

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 <u>SAMMENDRAG OG KONKLUSJON</u>	5
2 <u>INNLEDNING</u>	8
3 <u>OVERSIKT OVER MÅLINGER</u>	11
4 <u>STATISTISK BEARBEIDING</u>	15
4.1 <u>Metoder</u>	15
4.2 <u>Forurensningsdata</u>	15
4.2.1 <u>Sammenheng døgnmålinger/korttidsmålinger av</u> <u>nitrogenoksyder</u>	15
4.2.2 <u>Sammenheng mellom døgnmålinger</u>	17
4.2.2.1 <u>Sammenheng mellom stoffer på samme målested</u> ..	18
4.2.2.2 <u>Sammenheng mellom stoffer på forskjellige</u> <u>målesteder</u>	28
4.3 <u>Beregning av konsentrasjonsfordelinger</u> <u>for sulfat</u>	29
4.4 <u>Forurensningsdata/meteorologiske data</u>	37
5 <u>KILDEORIENTERTE MODELLBEREGNINGER</u>	40
5.1 <u>Beskrivelse av program</u>	40
5.2 <u>Representativitet for vind</u>	41
5.3 <u>Eksempler på bruk av modellen</u>	46
5.3.1 <u>Beregning av langtidsmidler</u>	47
5.3.2 <u>Beregning av korttidsverdier</u>	58
6 <u>REFERANSER</u>	67
 BILAG 1 - 25	 71 - 119

STATISTISK BEARBEIDING AV
FORURENSNINGSDATA OG METEOROLOGISKE
DATA, SAMT BRUK AV SPREDNINGSMODELLER
I NEDRE TELEMAR

1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Rapporten gjengir resultater fra en statistisk bearbeiding av forurensningsdata og meteorologiske data fra Nedre Telemark i 1972 og 1973.

Døgnmålinger av nitrogenoksyder foretatt av Kontrollaboratoriet er sammenliknet med døgnmiddelverdier beregnet på grunnlag av halvtimesmålinger med Imcometer. Imcometer-verdiene lå systematisk 40 - 50% høyere enn Kontrollaboratoriets døgnmålinger. Begge måle metodene har fordeler og ulemper, men Imcometer-verdiene er antakelig sikrere enn døgnmålingene.

En har videre undersøkt sammenhengen mellom samtidige målinger (døgnverdier) av svoveldioksyd, sulfat, ammoniakk, ammonium og nitrogenoksyder på en rekke målesteder. Sulfat og ammonium var meget godt korrelert og nitrogenoksyder godt korrelert med ammonium og sulfat. Svoveldioksyd og ammoniakk var derimot dårlig korrelert med hverandre og med de øvrige stoffene. Det var små avvik mellom sommer og vinter.

Den gode korrelasjonen mellom sulfat og ammonium indikerer at det ikke er nødvendig å måle begge, og det anbefales at en sløyfer rutinemålinger av ammonium. Svoveldioksyd og ammoniakk kan ikke brukes til å si noe om konsentrasjonen av de øvrige stoffene. Hvorvidt disse to forurensninger bør måles rutinemessig, er avhengig av om grenseverdier overskrides. En bør kunne sløyfe rutinemålinger av ammoniakk, og med unntak av i Skien skulle det ikke være nødvendig med rutinemålinger av svoveldioksyd.

Ved høye partikkelkonsentrasjoner i atmosfæren forelå ammonium i overskudd i forhold til sulfat. Dette betyr antakelig at for å redusere innholdet av ammoniumsulfat i atmosfæren er det viktigere å redusere innholdet av svoveldioksyd enn av ammoniakk. Imidlertid består "industridisen" i Nedre Telemark også av andre stoffer, blant annet av ammoniumnitrat og ammoniumklorid. For å redusere disen er det derfor viktig også å redusere utslippet av ammoniakk.

Verdiene for sulfat er sammenliknet med enkelte standarder fra stater i USA og nyere resultater fra amerikanske helseundersøkelser. Både i 1972 og 1973 var det klare overskridelser av disse amerikanske standarder og "terskelverdier". Av den grunn anser en det svært viktig å måle sulfat i Nedre Telemark i framtida.

En har videre undersøkt den statistiske sammenheng mellom forurensningsdata og meteorologiske data høsten 1973. Bare opptil 50% av variasjonene i forurensningskonsentrasjonen lot seg forklare ved hjelp av de brukte meteorologiske variable. En bør derfor være noe forsiktig med å bruke meteorologiske varsler til kvantitative forurensningskonsentrasjoner. Videre arbeid er her nødvendig.

Ved bruk av spredningsmodeller (av Gauss type) har en beregnet bakkekonsentrasjoner for forskjellige midlingstider og sammenliknet disse med målinger. Midlet over årstider og måneder har en funnet rimelig overensstemmelse mellom beregninger og målinger. I enkelte områder kan beregningene tyde på at utslippsoversikten er ufullstendig. For døgn og timesmidler var beregningene lite tilfredsstillende. Dette kan delvis skyldes at en må velge én vindhastighet og én vindretning som representativ for hele området innen hvert tidsintervall. Kjennskapet til de nøyaktige utslippsforholdene (tidsvariasjoner etc) er også ufullstendige for slike beregninger.

Det var i forprosjektet utført beregninger med en modell av en noe annen type enn i denne rapporten (1). Disse beregningene, som bygger på en enkel boksmodell, predikterer sannsynligvis korttidskonsentrasjoner som resultat av utslipp fra arealkilder bedre enn Gauss-modellen. Spredningsmodellene bør videreutvikles for området, noe som vil kreve en nøyaktig utslippsoversikt. Dette vil gi en bedre forståelse av sammenhengen mellom utslipp, meteorologi og målte konsentrasjoner. Dette vil også gi grunnlag for sikrere utsagn om effekten av utslippsendringer på den framtidige luftkvaliteten.

2 INNLEDNING

Sommeren 1973 ble det lagt fram en plan og et forprosjekt for undersøkelse av luftforurensningene i Nedre Telemark for perioden 1.7.1973 - 30.6.1974 (1).

Denne planen kom i stand som følge av en samarbeidsavtale datert 22.12.1972 mellom Tilsynsutvalget for luftforurensninger i Nedre Telemark og NILU (2). Formålet med denne samarbeidsavtalen var:

- a) å trekke konklusjoner med hensyn til nåværende forurensningsnivå både kvantitativt og kvalitativt,
- b) å nytte de resultater en kom fram til som grunnlag for å forutsi følger av framtidig endring i utslipp, ved utvidelse/endringer i bestående eller etablering av ny industri.

I januar 1975 ble det levert en rapport (3) som oppsummerte resultatene av samarbeidet mellom Tilsynsutvalget og NILU i henhold til planen (1) og samarbeidsavtalen (2). I denne rapporten ble det blant annet henvist til delrapporter som skulle belyse spesielle emner nærmere. Formålet med foreliggende rapport er å gjengi resultater fra:

- a) statistisk bearbeiding av luftforurensningsmålinger og meteorologiske data,
- b) utvikling av en spredningsmodell for området der en knytter sammen utslipp, meteorologiske forhold og bakkekonsentrasjoner.

Et forprosjekt som blant annet omhandlet de samme punktene er beskrevet i (1). En skisserte der metodene for den statistiske bearbeidingen og pekte på to alternative metoder for utvikling

av en spredningsmodell. Disse to modelltypene er nærmere beskrevet i (3). De har karakteristiske fordeler og ulemper som gjengis nedenfor:

- 1) Gaussisk spredningsmodell hvor bidragene fra enkeltkilder adderes.

Modellen er velegnet for beregning av spredning dersom en kan anta en konstant vindretning og vindstyrke over hele området. Den egner seg spesielt ved utslipp fra piper med forskjellig høyde. Kjemiske reaksjoner og effekten av romvariable vindforhold lar seg derimot vanskelig innarbeide.

En versjon av modelltypen er utviklet for å benytte statistisk bearbejdet meteorologiske data til å beregne langtidsmiddelverdier (måneder, år) av forurensningskonsentrasjonene. Til dette kan modellen egne seg bedre idet beregningsarbeidet forenkles betydelig. Resultatene kan for eksempel anvendes ved arealplanlegging.

En annen versjon av denne modelltypen betrakter bidraget fra volumkildene i området etter samme formel som punktkildene. På denne måten blir beregningene for forskjellige kildetyper ensartet.

- 2) Numerisk løsning av massebalanselikningen for hver enkelt forurensningskomponent.

Basert på utjevning av utslippene til volumkilder og kjennskap til vind, turbulens og kjemiske reaksjoner, beregnes forurensningskonsentrasjonene og deres endringer med tiden. Modellen er velegnet til å vurdere betydningen av de forskjellige atmosfæriske prosessene og

til å inkludere kompliserte vindforhold og kjemiske reaksjoner. Utjevningen av utslippene fører imidlertid til at bidragene fra enkeltpiper og effekten av forskjellige pipehøyder er vanskelig å ta hensyn til.

Modellen er benyttet i forprosjektet til å beregne konsentrasjonene av svoveldioksyd og nitrogenoksyder i løpet av en forurensningsepisode.

De to modelltypene har fordeler og ulemper som gjør at de supplerer hverandre. Det kan derfor ofte være av verdi å bruke begge og sammenlikne resultatene.

Spredningsmodeller kan brukes til å undersøke bidraget til forurensningene fra enkeltkilder og kildegrupper (f.eks. industri) og sammenlikne dette med bidraget fra andre kilder eller kildegrupper (f.eks. husoppvarming og trafikk). Hvor godt modellene stemmer kan en finne ut ved å sammenlikne beregnede resultater med målinger.

I foreliggende rapport er det vist resultater fra bruk av en modell av type 1. Selve modellen er nærmere beskrevet i en egen rapport (4).

En har foreløpig ikke fortsatt arbeidet med en modell av type 2, etter mønster av en spredningsmodell utviklet av Grønskei for Oslo-området (5). Årsaken var at Grønskei reiste til USA våren 1974 og derfor ikke kunne delta i arbeidet. Det er meningen å ta opp igjen arbeidet med denne modelltypen blant annet i forbindelse med et studium av muligheten for dannelse av fotokjemisk smog i Nedre Telemark (6).

2 OVERSIKT OVER MÅLINGER

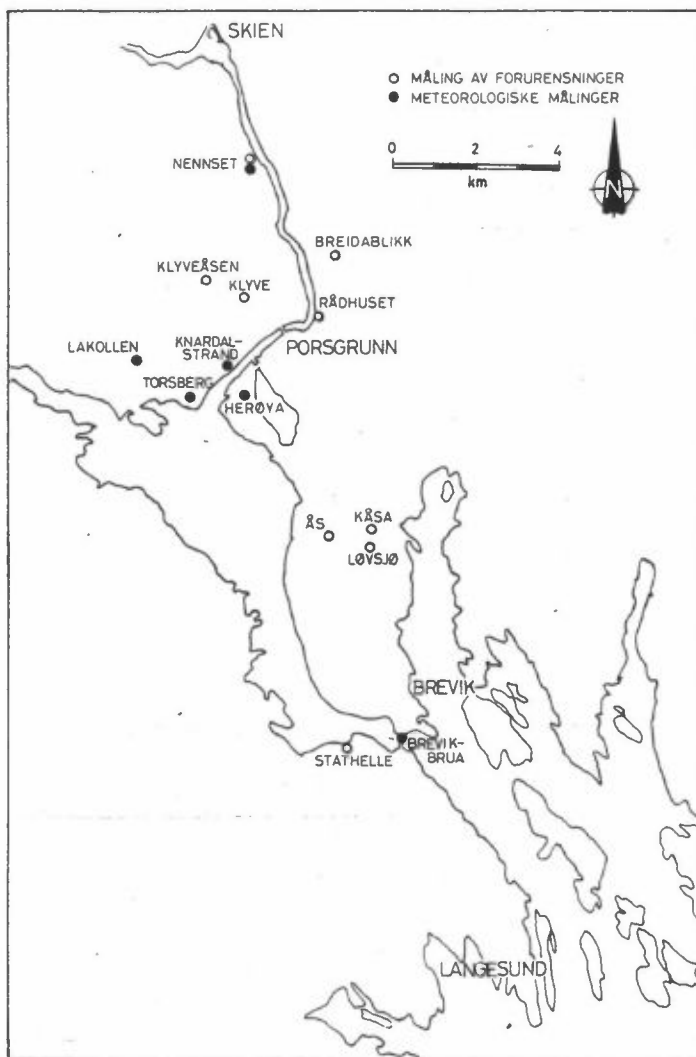
En vil i dette kapitlet gi en oversikt over de målingene en har gjort bruk av i denne rapporten.

Andre målinger av forurensninger finnes i årsrapportene fra Kontrollaboratoriet (7). En har derfra valgt ut de måleseriene som egner seg best for statistisk analyse.

Tidligere er det gjort en god del bearbeiding av meteorologiske data i området. Det henvises til (8), (9), og (10), samt litteraturoversikt gjengitt i (3).

Kart over målestedene er vist i figur 1.

Oversikt over døgnmålinger av forurensninger, hentet fra Kontrollaboratoriets årsrapporter, er vist i tabell 1. En har valgt ut årene 1972 og 1973, da det i disse to årene forelå flest målinger. Oversikt over korttidsmålinger i 1973-74, er vist i tabell 2.



Figur 1: Kart over målesteder referert til i rapporten.

Sted	Stoff	1972												1973											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ås	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
	NO _x	_____																							
Klyve	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
	NO _x	_____																							
Rådhuset	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
Løvsjø	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
Stathelle	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
Kåsa	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
Klyveåsen	SO ₂	_____																							
	SO ₄ ⁻⁻	-----																							
	NH ₃	_____																							
	NH ₄ ⁺	-----																							
	NO _x	_____																							

Tabell 1: Oversikt over de døgnmålinger av forurensninger som er bearbeidet i rapporten.

_____ komplett måleserie.
 ----- delvis komplett måleserie.

Måling av	Sted	Periode
NO _x	Ås	21.8.1973 - 1.3.1974
NO _x	Nennset	28.8.1973 - 12.3.1974
Oksydanter	Klyveåsen	20.8.1973 - 10.12.1973
NO _x	Klyveåsen	11.12.1973 - 11.3.1974

Tabell 2: Oversikt over målinger av halvtimes-konsentrasjoner 1973-74.

Oversikten over meteorologiske data som en har brukt i denne rapporten er vist i tabell 3. En stor del av disse målingene er utført av Norsk Hydro a.s.

Måling av	Sted	Fra	Til	Merknader
Vind	Lakollen	1969	-	Fortsetter
	Herøya	1969	-	"
	Nennset	1.9.1973	1.3.1974	
	Brevikbrua	1971	-	"
Temperatur	Lakollen	1969	-	"
	Torsberg	1969	-	"
	Knardalstrand	1969	-	"
	Brevikbrua	1971	-	"
Temperatur-differens	Brevikbrua	1971	-	"
Relativ fuktighet	Torsberg	1.9.1973	-	"

Tabell 3: Meteorologiske målinger i Nedre Telemark.

4 STATISTISK BEARBEIDING

4.1 Metoder

I den statistiske bearbeidningen er det vesentlig brukt et datamaskinprogram, MULREG, som er en del av NILU's program-system (11). Dette programmet utfører multippel, lineær regresjonsanalyse på flere datasett samtidig.

En får skrevet ut de beste regresjonslikningene med inntil tre uavhengige variable og de tilhørende korrelasjonskoeffisienter. Programmet er fleksibelt og kan i sin nåværende form lese inn inntil 64 datasett ad gangen. Av disse kan inntil 20 brukes i hver gjennomregning av programmet.

4.2 Forurensningsdata

4.2.1 Sammenheng døgnmålinger/korttidsmålinger av nitrogenoksyder

I perioden 21.8.1973 - 1.3.1974 pågikk det to parallelle målinger av nitrogenoksyder på Ås. I tillegg til døgnmålingene foretatt av Kontrollaboratoriet hadde NILU halvtimesmålinger med "Imcometer". Det samme var tilfellet for Klyveåsen i perioden 11.12.1973 - 11.3.1974.

For å undersøke hvor godt disse målingene stemmer overens har en beregnet døgnmidler på grunnlag av halvtimesmålingene og sammenliknet disse med de målingene som er gjort på døgnbasis.

Det er utført en enkel lineær regresjonsanalyse for å bestemme koeffisientene a og b i likningen:

$$y = ax + b$$

der y = døgnmidler fra Imcometer-målinger

x = døgnmålinger utført av Stige,
(Kontrollaboratoriet).

Både x , y og b har benevningen $\mu\text{g NO}_2$ pr m^3 .

Resultatet av regresjonsanalysen er gjengitt i tabell 4. Tabellen viser at døgnmidlene fra Imcometer-målingene lå systematisk 40 - 50% høyere enn Kontrolllaboratoriets døgnmålinger. Korrelasjonskoeffisientene var i området 0.75 - 0.85 og signifikant forskjellig fra null ved et signifikansnivå på mindre enn 1%, jfr. bilag 1.

Av tabell 4 ser en også at ved å ta med bare de høye verdiene avvek resultatet lite fra det en fikk om en tok med alle verdiene. Resultatet for Klyveåsen var i hovedtrekk det samme som for Ås.

Målested	Regresjonskoeffisient a	Regresjonskoeffisient b	Korrelasjonskoeffisient r	Antall observasjoner N	Middelverdi \bar{x}	Middelverdi \bar{y}	Merknader
Ås 21.8.1973-1.3.1974	1.50	-2.8	0.86	153	32.5	46.1	Alle tallpar
	1.51	-3.3	0.85	127	37.8	53.7	Bare tallpar der $x \geq 10$
	1.44	2.5	0.81	88	48.4	72.0	Bare tallpar der $x \geq 20$
Klyveåsen 11.12.1973-11.3.1974	1.41	7.2	0.79	65	31.0	51.0	Alle tallpar
	1.43	5.5	0.80	59	33.3	53.2	Bare tallpar der $x \geq 10$
	1.35	12.7	0.78	43	40.7	67.8	Bare tallpar der $x \geq 20$

Tabell 4: Resultat av regresjonsanalyse mellom døgnmålinger (x) og døgnmidler av halvtimesmålinger (y) av nitrogenoksyder i Nedre Telemark 1973 - 1974.

Denne analysen viser entydig at det var betydelige systematiske forskjeller mellom de to måle metodene. Analyseprinsippet for de to metodene er det samme; diazotering, kopling og kolorimetrisk måling (12). Det er imidlertid kjent at nøyaktigheten avtar med økende prøvetakingstid idet absorpsjonseffektiviteten avtar med tiden og resultatene derfor blir for lave. På grunn av dette er metoden ikke lenger anbefalt av Environmental Protection Agency i USA som analysemetode for døgnprøver (13). For halvtimesprøver med Imcometer skulle imidlertid metoden være brukbar fordi analysen da skjer umiddelbart.

En annen forskjell er at mens Imcometeret bruker NO₂-gass til kalibrering, har en ved døgnprøvetaking brukt nitritt og med omregning ved hjelp av Saltzman's faktor (12). Tallverdien på denne faktoren diskuteres imidlertid i litteraturen (14).

Imcometeret arbeider automatisk og trenger ettersyn maksimalt en gang pr uke. Dersom det skulle oppstå uregelmessigheter ved driften, vil det da gå noen tid før eventuelle feil rettes. Begge metodene er utsatt for interferens blant annet fra klor.

En vil konkludere med at døgnmidlene beregnet på grunnlag av Imcometer-målingene antakelig er riktigere enn døgnmålingene.

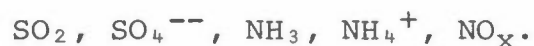
4.2.2 Sammenheng mellom døgnmålinger

En har gjort en del statistisk bearbeiding av de døgnmålingene Kontrollaboratoriet har foretatt forskjellige steder i Skien/Porsgrunn-området (7). En valgte ut årene 1972 og 1973 idet disse årene har mest fullstendige serier med måledata. Følgende stasjoner er med i analysen:

Ås	1.1.72 - 31.12.73
Klyve	1.1.72 - 31.08.73
Rådhuset	1.1.72 - 31.12.73
Løvsjø	1.1.72 - 30.06.72
Stathelle	1.1.72 - 13.07.72
Klyveåsen	12.7.73 - 31.12.73

Kontrollaboratoriet har også foretatt målinger på flere andre stasjoner i perioden, men her var tidsrekkene kortere slik at en statistisk analyse ville få mindre vekt.

Følgende stoffer er med i analysen:



NO_x er ikke målt på Rådhuset, Løvsjø og Stathelle. Forøvrig foreligger målingene av alle stoffene på alle stasjonene.

Av disse stoffene er SO_2 , NH_3 og NO_x målt tilnærmet samtlige dager mens SO_4^{--} og NH_4^+ er målt på 40 - 70% av dagene. En skal seinere komme tilbake til representativiteten av disse dagene.

1.2.2.1 Sammenheng mellom stoffer på samme målested

Det er foretatt multiple regresjonsanalyser av data for de enkelte stasjonene. Bare dagene med komplette datasett er med i analysen. Nedenfor gjengis korrelasjonsmatrisen for de enkelte stasjonene. De korrelasjonskoeffisienter som er satt i parentes er ikke signifikant forskjellig fra null ved et signifikansnivå på 1%, jfr. bilag 1.

Ås 1972 (199 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(.13)	(-.04)	(.05)	(.09)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.35	.97	.74
NH ₃			1.0	.34	.20
NH ₄ ⁺				1.0	.78
NO _x					1.0

Ås 1973 (213 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(-.06)	(-.10)	(-.06)	(.09)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.43	.96	.67
NH ₃			1.0	.40	.34
NH ₄ ⁺				1.0	.66
NO _x					1.0

Klyve 1972 (249 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	.65	(-.11)	.47	.42
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(.02)	.86	.62
NH ₃			1.0	.17	(.13)
NH ₄ ⁺				1.0	.65
NO _x					1.0

Klyve 1973 (1.1-31.8) 144 observasjoner

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	.27	(.07)	.30	.47
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.31	.87	.57
NH ₃			1.0	.45	.31
NH ₄ ⁺				1.0	.63
NO _x					1.0

Rådhuset 1972 (190 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	.41	(-.13)	.33
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(-.06)	.79
NH ₃			1.0	(.02)
NH ₄ ⁺				1.0

Rådhuset 1973 (171 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	(.03)	(.10)	(.07)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.21	.85
NH ₃			1.0	(.19)
NH ₄ ⁺				1.0

Løvsjø 1972 (56 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	(.13)	-.48	(.11)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(-.08)	.92
NH ₃			1.0	(-.06)
NH ₄ ⁺				1.0

Stathelle 1972 (41 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	(.11)	(-.21)	(-.08)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(.07)	.91
NH ₃			1.0	(.17)
NH ₄ ⁺				1.0

Klyveåsen 1973 (62 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(.30)	(.30)	.49	.64
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.42	.64	.44
NH ₃			1.0	.39	.49
NH ₄ ⁺				1.0	.84
NO _x					1.0

En del fellestrekk går igjen når en betrakter korrelasjonsmatrisene til de forskjellige stasjonene. De tre stoffene som var best korrelert med hverandre var gjennomgående sulfat, ammonium og nitrogenoksyder. Korrelasjonskoeffisientene var her oftest i området 0.6 - 0.9.

Svoveldioksyd og ammoniakk var oftest dårlig korrelert både med hverandre og de øvrige. Unntatt fra dette var to tidsrekker på Klyve og Klyveåsen der svoveldioksyd var godt korrelert med sulfat (Klyve 1972 : $r = 0.65$) og med nitrogenoksyder (Klyveåsen 1973 : $r = 0.64$).

Dersom to stoffer er godt korrelert med hverandre tyder det på at hovedkildene for de to stoffene ligger i samme retning fra målestedet.

I Nedre Telemark er de største kildene industri der utslippene varierer relativt lite med årstiden. For vurdering av bakkekonsentrasjoner spiller også utslipp fra boligoppvarming en viss rolle, fordi utslippshøydene er langt lavere. Utslipp fra boligoppvarming har karakteristiske årsvariasjoner. Det kan derfor være av interesse å undersøke om korrelasjonskoeffisientene varierer avhengig av om en har vinter eller sommer.

Dette er gjort for stasjonene Ås, Klyve og Rådhuset. En har valgt ut en sommerperiode fra 15.5.72-15.9.72 og en vinterperiode fra 15.11.72-15.3.73. Korrelasjonsmatrisene er gjengitt nedenfor. De korrelasjonskoeffisienter som står i parentes er ikke signifikant forskjellig fra null ved 1% signifikansnivå.

Ås sommer 1972 (38 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(-.20)	(.19)	(-.13)	(.20)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(.32)	.83	.53
NH ₃			1.0	.50	.43
NH ₄ ⁺				1.0	.52
NO _x					1.0

Ås vinter 1972-73 (92 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(.00)	(-.07)	(.01)	(.06)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.42	.99	.69
NH ₃			1.0	.41	(.23)
NH ₄ ⁺				1.0	.70
NO _x					1.0

Klyve sommer 1972 (111 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	.36	.59	.43	.47
SO ₄ ⁻⁻		1.0	.39	.77	.38
NH ₃			1.0	.31	.26
NH ₄ ⁺				1.0	.41
NO _x					1.0

Klyve vinter 1972-73 (61 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
SO ₂	1.0	(.19)	-.47	(.31)	(.24)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(.10)	.89	.58
NH ₃			1.0	(.02)	(-.10)
NH ₄ ⁺				1.0	.67
NO _x					1.0

Rådhuset sommer 1972 (46 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	.40	(-.06)	(.19)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	(.20)	.61
NH ₃			1.0	.41
NH ₄ ⁺				1.0

Rådhuset vinter 1972-73 (68 observasjoner)

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
SO ₂	1.0	(.15)	(.27)	(.27)
SO ₄ ⁻⁻		1.0	-.36	.71
NH ₃			1.0	(-.15)
NH ₄ ⁺				1.0

Innenfor de to periodene, som er like lange, ser en at det var stor forskjell i antall observasjoner. Årsaken til dette er at en har hatt flest målinger på en stasjon i den tiden på året da en venter de høyeste verdiene. Nordlige vinder er fremherskende om vinteren mens sørlige vinder er fremherskende om sommeren. Derfor hadde Ås flest observasjoner om vinteren, mens Klyve hadde flest observasjoner om sommeren.

En del fellestrekk mellom stasjonene går igjen også når en sammenlikner verdiene for vinterperioden med verdiene for sommerperioden. Svoveldioksyd var dårlig korrelert med de andre stoffene og enda dårligere om vinteren enn om sommeren. Det samme gjelder i hovedsak ammoniakk. De øvrige stoffene sulfat, ammonium og nitrogenoksyder er bedre korrelert med hverandre om vinteren enn om sommeren. Den høyeste korrelasjonskoeffisienten (0.99) var mellom ammonium og sulfat på Ås vinteren 1972-73.

Sulfat og ammonium var de to stoffene som gjennomgående var best korrelert. Det kan da være av interesse å se på regresjonslikningen for de to stoffene



Tabell over koeffisientene a og b samt tilhørende korrelasjonskoeffisienter er gjengitt i bilag 2. Av dette bilaget ser en at koeffisienten a har en verdi lik 1.2 - 1.3 for de fleste stasjonene. Unntak er Klyve og Klyveåsen for 1973.

Dersom ammonium og sulfat hadde skrevet seg fra ren ammoniumsulfat hadde en hatt følgende verdier for a og b:

$$a = 1.88$$

$$b = 0$$

I figur 2 er gjengitt sammenhengen mellom ammonium og sulfat for en del av de stedene som er gjengitt i bilag 2. Linjen for ammoniumsulfat er også tegnet opp. Figuren viser den relative fordeling av ammonium og sulfat ved forskjellige luftkonsentrasjoner.

De fleste målestedene hadde overskudd av ammonium ved sulfatkonsentrasjoner større enn $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (som SO_2). To av stedene var unntatt fra dette, nemlig Løvsjø og Stathelle 1. halvår 1972. Disse hadde et relativt stort innhold av sulfat som ikke var ammoniumsulfat (gitt ved koeffisienten b). I bilag 2 er også gjengitt verdiene for Ås 1. halvår 1972. Denne stasjonen hadde et relativt høyt innhold av sulfat i forhold til ammonium.

I figur 3 er gjengitt regresjonslinjer for Ås og Klyve for periodene 15.5-15.9.1972 og 15.11.1972-15.3.1973. En ser her at de ikke var så svært stor forskjell på linjene, kanskje da bortsett fra Ås 15.11.1972-15.3.1973. Det var likevel forskjell på det absolutte nivået i de to periodene. Dette kan illustreres ved middelveidene for sulfat og ammonium for Ås, Klyve og Rådhuset.

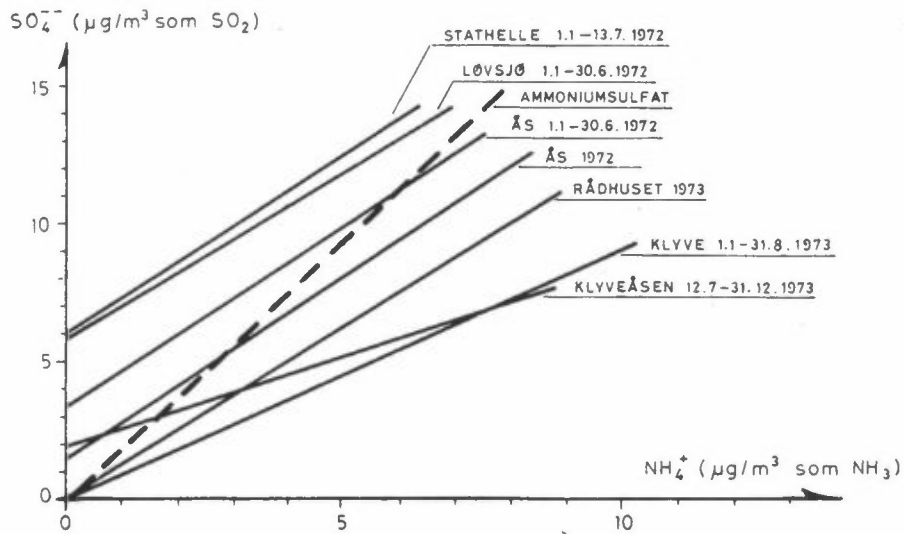
Sulfat

($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som SO_2)	15.5.-15.9.1972	15.11.1972-15.3.1973
Ås	7.4	14.9
Klyve	4.9	4.0
Rådhuset	7.5	4.6

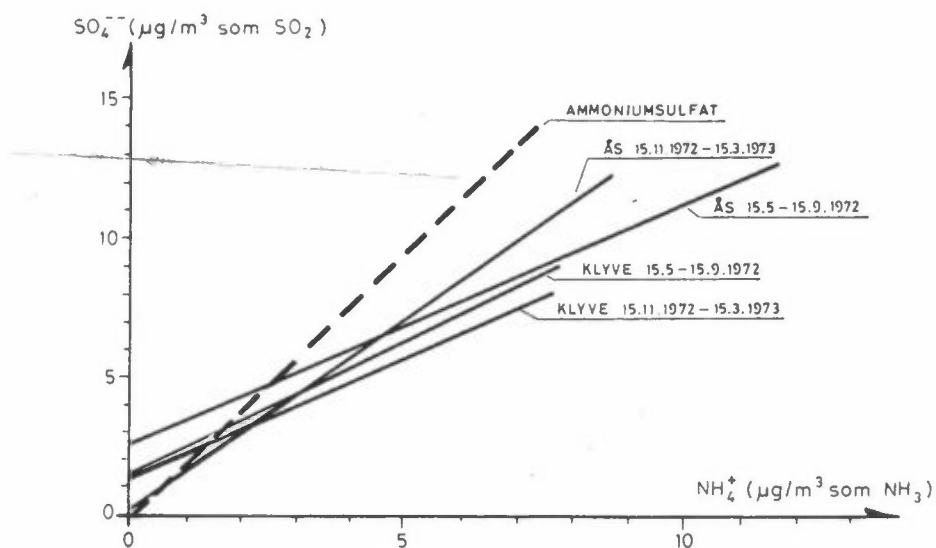
Ammonium

($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NH_3)		
Ås	5.3	10.4
Klyve	3.2	3.0
Rådhuset	2.9	3.6

Ås hadde høyest verdier i vinterperioden, og Klyve hadde høyest verdier i sommerperioden, altså det samme som Stige tidligere har funnet (7). Rådhuset hadde imidlertid høyest verdi for sulfat i sommerperioden og høyest innhold av ammonium i vinterperioden.



Figur 2: Regresjonslinjer sulfat/ammonium for forskjellige målesteder.



Figur 3: Regresjonslinjer sulfat/ammonium for Ås og Klyve sommer 1972 og vinter 1972-73.

Som et resultat av den statistiske undersøkelsen av døgnmålingene kan en si følgende: Ammonium og sulfat hadde så høye korrelasjonskoeffisienter at det ikke er nødvendig å måle begge. Disse stoffene er "sekundære komponenter" idet de ikke slippes ut, men dannes ved kjemiske reaksjoner i atmosfæren. De tilsvarende "primære komponentene", ammoniakk og svoveldioksyd hadde så lave korrelasjonskoeffisienter at de ikke kan brukes til å si noe om konsentrasjonen av andre stoffer. Nitrogenoksyder var godt korrelert med sulfat og ammonium, men dårlig korrelert med svoveldioksyd og ammoniakk. Korrelasjonskoeffisientene viste små avvik mellom sommer og vinter.

På bakgrunn av dette bør en kunne sløyfe rutinemålingene av ammonium. Hvorvidt en bør analyseres ammoniakk og svoveldioksyd avhenger av om grenseverdier overskrides. Ifølge Stige (7) har ikke dette vært tilfelle de siste årene. Rutinemålinger av ammoniakk bør kunne sløyfes, og det samme gjelder svoveldioksyd med unntak av Skien (3).

Ved høye konsentrasjoner av partikler i atmosfæren, forelå ammonium i overskudd i forhold til sulfat. Dette betyr antakelig at hvis en ønsker å redusere innholdet av ammoniumsulfat i atmosfæren, er det viktigere å redusere utslippet av svoveldioksyd enn av ammoniakk. Imidlertid består "industri-disen" i Nedre Telemark også av andre stoffer, blant annet ammoniumnitrat og ammoniumklorid. For å redusere denne disen er det derfor viktig også å redusere utslippet av ammoniakk.

4.2.2.2 Sammenheng mellom stoffer på forskjellige målesteder

Det er gjort et stort antall regnemaskinkjøringer for å bestemme sammenhengen mellom stoffer på de forskjellige målestedene.

Ås/Løvsjø/Stathelle 1. halvår 1972

Korrelasjonskoeffisienter for samme stoff på forskjellige stasjoner:

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	
Ås/Løvsjø	(0.33)	0.81	(0.25)	0.83	52 observasjoner
Ås/Stathelle	(0.12)	0.72	(0.07)	0.63	29 "
Løvsjø/Stathelle	0.74	0.85	(0.03)	0.78	29 "

Sulfat og ammonium hadde de høyeste korrelasjonskoeffisientene. Svoveldioksyd og ammoniakk hadde ikke-signifikante korrelasjoner med unntak Løvsjø/Stathelle der SO₂ hadde høy korrelasjonskoeffisient.

Ås/Klyve/Rådhuset 1972

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x	
Ås/Klyve	0.51	0.35	(-0.00)	0.34	0.42	146 observasjoner
Ås/Rådhuset	0.53	0.34	(-0.06)	0.34		123 "
Klyve/Rådhuset	0.67	0.58	0.55	0.59		115 "

Ås/Klyve/Rådhuset 1973

	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x	
Ås/Klyve	0.37	(0.13)	(0.07)	(0.11)	(0.16)	73 observasjoner
Ås/Rådhuset	(0.23)	(0.16)	(0.05)	(0.12)		111 "
Klyve/Rådhuset	0.25	0.87	0.55	0.74		111 "

Klyve/Klyveåsen 1973

SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x	
0.53	0.77	(0.29)	0.92	0.93	32 observasjoner

En del fullstendige korrelasjonsmatriser samt middelerdi og standardavvik for konsentrasjoner er gjengitt i bilag 3-11.

Den romlige korrelasjonsanalysen ga for nabostasjoner resultater som liknet de en hadde for en enkelt stasjon. For stasjoner som lå på forskjellig side av de store kildeområdene som f.eks. Ås/Klyve og Ås/Rådhuset var korrelasjonskoeffisientene i hovedsak lavere.

4.3 Beregning av konsentrasjonsfordelinger for sulfat

En vil her beskrive nærmere de målingene av sulfat som er foretatt i området. Grunnen til dette er den økende oppmerksomhet, særlig i USA, sulfat har fått som en mulig årsak til halsirritasjoner og lungebesvær hos mennesker (15). Environmental Protection Agency i USA har gjennomført en større undersøkelse av disse forholdene (16). Denne undersøkelsen kaltes CHES-programmet (Community Health and Environmental Surveillance System). NILU planlegger en liknende undersøkelse i mindre format i Nedre Telemark (17).

Det er ennå ikke fastsatt normer for sulfat i hele USA, men to stater Missouri og Montana, har hatt normer i noen år. Grenseverdien er 4 µg/m³ som årsmiddelerdi, men det er tillatt med verdier større enn 12 µg/m³ inntil 1% av tiden (18). De foreløpige resultatene fra CHES-programmet indikerer også at en grenseverdi på ca 12 µg/m³ er nødvendig for å unngå helseplager. Dette ser ut til å gjelde både som korttids- og langtidsverdier (16). Figur 4 gjengir et sammendrag av noen resultater fra CHES-programmet.

BEST JUDGMENT ESTIMATES OF POLLUTANT THRESHOLDS FOR ADVERSE EFFECTS OF LONG-TERM EXPOSURES

Effect	Threshold (annual average), $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Sulfur dioxide (80) ^a	Total suspended particulates (75) ^a	Suspended sulfates (no standard) ^a
Increased prevalence of chronic bronchitis in adults	95	100	15
Increased acute lower respiratory disease in children	95	102	15
Increased frequency of acute respiratory disease in families	106	151	15
Decreased lung function of children	200	100	13

^aNational Primary Air Quality Standard. The particulate standard is a geometric mean; the equivalent arithmetic mean would be about $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

BEST JUDGMENT ESTIMATES OF POLLUTANT THRESHOLDS FOR ADVERSE EFFECTS OF SHORT-TERM EXPOSURES

Effect	Threshold, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Sulfur dioxide (365) ^a	Total suspended particulate (260) ^a	Suspended sulfates (no standard) ^a
Aggravation of cardiopulmonary symptoms in elderly	> 365	80-100	8-10
Aggravation of asthma	180-250	70	8-10

^aNational Primary Air Quality Standard.

HEALTH CONSEQUENCES OF SULFUR OXIDES

Figur 4: "Terskelverdier" for svoveldioksyd, svevestøv og partikulært sulfat (16).

Felles for alle målingene av sulfat som er foretatt i Nedre Telemark er at måleseriene ikke er komplette. Årsaken til dette er at en har lagt hovedvekten på gassformige forurensninger som SO_2 , NH_3 og NO_x . Disse er målt på døgnbasis. I tillegg har en målt NH_4^+ og SO_4^{--} på partikler på et antall døgn som tilsvarer 40 - 70% av tiden.

Det er da viktig å klarlegge om disse døgnene skiller seg ut fra de øvrige når det gjelder forurensningsnivå. Ifølge Stige er NH_4^+ og SO_4^{--} analysert i de periodene en hadde forurensning av betydning (7). Vurderingen av "forurensning av betydning" er da foretatt ut fra en skjønnsmessig vurdering av forurensningssituasjonen.

En slik vurdering er brukbar for å få et visst overblikk over situasjonen, og den kan være nødvendig dersom analysekapasiteten er begrenset, men den vanskeliggjør i noen grad statistisk bearbeiding av målingene. Dersom vurderingen var 100% riktig, noe den neppe blir, måtte en anta at alle dagene med analyse av NH_4^+ og SO_4^{--} hadde konsentrasjoner som var høyere enn de dagene en ikke hadde analysert.

En måte å estimere de sulfatverdiene som mangler, er å beregne dem fra verdiene på de stoffene som er målt daglig, nemlig NO_x , SO_2 og NH_3 . Av disse er sulfat best korrelert med NO_x . Nå er imidlertid ikke NO_x målt på alle stasjonene. En har derfor for alle stasjonene undersøkt hvilke andre stoffer som beskriver sulfatkonsentrasjonen best, og en har også i analysen tatt med stoffer på nabostasjonene. Nedenfor har en angitt de høyeste korrelasjonskoeffisientene for sulfat og henholdsvis én, to og tre av de stoffer som er målt daglig:

Korrelasjonskoeffisienter mellom sulfat og øvrige forurensningskomponenter

	Korrelasjons- koeffisient	Antall observasjoner
<u>Ås 1972</u>		
* NO _x Ås	0.75	172
NO _x Ås + NH ₃ Ås	0.78	"
NO _x Ås + NH ₃ Ås + SO ₂ Rådhuset	0.80	"
<u>Ås 1973</u>		
* NO _x Ås	0.73	123
NO _x Ås + NH ₃ Ås	0.74	"
NO _x Ås + NH ₃ Ås + NO _x Klyve	0.75	"
<u>Klyve 1972</u>		
SO ₂ Klyve	0.65	210
(NO _x Klyve	0.63)	"
* NO _x Klyve + SO ₂ Klyve	0.76	"
NO _x Klyve + SO ₂ Klyve + NH ₃ Rådhuset	0.77	"
<u>Klyve 1973</u>		
* NO _x Klyve	0.57	129
NO _x Klyve + NH ₃ Klyve	0.59	"
NO _x Klyve + NH ₃ Klyve + SO ₂ Ås	0.60	"
<u>Rådhuset 1972</u>		
NO _x Klyve	0.45	162
* NO _x Klyve + NH ₃ Klyve	0.56	"
NO _x Klyve + NH ₃ Rådhuset + SO ₂ Ås	0.56	"
<u>Rådhuset 1973</u>		
NO _x Klyve	0.47	114
* NO _x Klyve + NH ₃ Klyve	0.56	"
NO _x Klyve + NH ₃ Rådhuset + SO ₂ Ås	0.53	"

	Korrelasjons- koeffisient	Antall observasjoner
<u>Løvsjø 1972</u>		
SO ₂ Rådhuset	0.69	47
(NO _x Ås	0.68)	"
*NO _x Ås + SO ₂ Rådhuset	0.78	"
NO _x Ås + SO ₂ Rådhuset + SO ₂ Løvsjø	0.80	"
<u>Stathelle 1972</u>		
NO _x Ås	0.65	36
*NO _x Ås + NH ₃ Ås	0.70	"
NO _x Ås + NH ₃ Ås + SO ₂ Ås	0.74	"
<u>Klyveåsen 1973</u>		
*NO _x Klyveåsen	0.54	51
NO _x Klyveåsen + SO ₂ Ås	0.56	"
NO _x Klyveåsen + SO ₂ Ås + SO ₂ Klyveåsen	0.59	"

En ser at korrelasjonskoeffisienten øker dersom en tar med flere variable. I flere av tilfellene var imidlertid økningen liten. De uttrykkene merket med stjerne (*) ovenfor er valgt ut til å estimere sulfatkonsentrasjonen de dagene da målingene mangler. En har dels tatt med én variabel, dels to, men en har ikke funnet det hensiktsmessig å ta med tre variable. I bilag 12 er gjengitt de respektive regresjonslikningene.

På grunnlag av disse likningene har en estimert verdier for sulfat og undersøkt fordelingen statistisk. En har både undersøkt fordelingene med bare måledata og fordelingene som består både av måledata og estimerte data. Resultatet er gjengitt i bilag 13 side 95. I tillegg til målestedene nevnt tidligere har en i bilag 13 også tatt med Kåsa, som hadde en nærmest komplett måleserie med sulfat i tida 6.10-31.12.1972.

I bilag 13 er gjengitt middelvei og standardavvik samt antall verdier større enn $12 \mu\text{g SO}_4^{--}$ pr m^3 for de forskjellige målestedene. I tillegg er det beregnet hvor stor prosent av verdiene som er større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denne prosenten er beregnet på fire forskjellige måter og er gjengitt nedenfor i tabell 5.

Prosent a) gjelder bare måledata (ikke estimerte verdier), og den forutsetter at sulfatkonsentrasjonen har vært mindre enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på de dager det ikke er målt.

Prosent b) gjelder også bare måledata, og den forutsetter at det er relativt like mange verdier større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blant de som ikke er målt, som blant de som er målt.

Prosent c) forutsetter at det blant de dagene som ikke er målt eller estimert, ikke er verdier større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Prosent d) forutsetter at det er relativt like mange verdier større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blant de som ikke er målt eller estimert, som blant de som er målt eller estimert.

Av disse fire prosentene vil antakelig d) være den som ligger nærmest den virkelige.

Av tabell 5 ser en at det var høyere verdier for sulfat i 1972 enn i 1973. Dette kan skyldes lavere utslipp eller gunstigere meteorologiske forhold i 1973 enn i 1972, eller begge deler.

	a	b	c	d
Ås 1972	28.1	48.1	30.6	33.7
Klyve 1972	12.8	17.9	16.7	18.0
Rådhuset 1972	17.5	33.5	21.6	24.3
Løvsjø 1.1-30.6.1972	21.4	65.0	42.9	47.9
Stathelle 1.1-13.7.1972	13.8	65.9	33.8	36.7
Kåsa 6.10-31.12.1972	33.3	36.7	-	-
Ås 1973	26.6	44.7	27.9	32.7
Klyve 1.1-31.8.1973	6.1	9.0	6.6	6.7
Rådhuset 1973	5.2	11.0	5.2	7.6
Klyveåsen 12.7-31.12.1973	4.0	11.1	5.8	6.1

Tabell 5: Antall dager i prosent med sulfat-konsentrasjon større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Forklaring på prosentene a) - d) finnes i teksten.
Utregningen er vist i bilag 13.

De høyeste konsentrasjonene forekommer oftest ved lave temperaturer og stabil atmosfære. Da har en utslipp på grunn av husoppvarming i tillegg til industriutslippene og dessuten dårlige atmosfæriske ventilasjonsforhold. En har derfor undersøkt temperatur og stabilitet litt nærmere for de første månedene av 1972 og 1973.

Det var gjennomgående lavere temperaturer i de første månedene i 1972 enn i 1973. Dette er illustrert i tabell 6 der en har gjengitt middeltemperatur og minimumstemperatur på Knardalstrand for månedene januar - mars.

	1972			1973		
	jan	feb	mars	jan	feb	mars
Middeltemperatur (°C)	-5.7	-3.9	2.5	0.2	1.5	4.6
Minimumstemperatur (°C)	-10.3	-17.2	-11.0	-7.3	-6.6	-2.6

Tabell 6: Middeltemperatur og minimumstemperatur (timesmiddel) for månedene januar - mars 1972 og 1973 på Knardalstrand.

Det var også høyere frekvens av stabil atmosfære vinteren 1972 enn vinteren 1973. Dette er illustrert i tabell 7 der en har gjengitt frekvens av lett stabil og stabil atmosfære for de to tre-måneders periodene desember 1971 - februar 1972 og desember 1972 - februar 1973.

	Lett stabil	Stabil	Sum
Desember 1971 - februar 1972	19.4	34.4	53.8
Desember 1972 - februar 1973	13.9	19.6	33.5

Tabell 7: Frekvens (%) av lett stabil og stabil atmosfære vinteren 1971-72 og 1972-73, basert på temperaturredifferens Torsberg - Knardalstrand.

Av tabell 5 fremgår at de amerikanske normene som tillater at 1% av målingene kan være høyere enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overskrides betydelig på alle stasjonene. Overskridelsene var særlig store i 1972, men de var heller ikke ubetydelige i 1973. Av denne grunn er sulfat et av de stoffene en bør legge størst vekt på å måle fortsatt i Nedre Telemark.

4.4 Forurensningsdata/meteorologiske data

Hensikten med denne analysen er å undersøke i hvilken grad meteorologiske parametre kan brukes til å si noe om konsentrasjonen av forurensninger. Resultatet kan brukes til å varsle konsentrasjon av forurensninger dersom en har et varsel om meteorologiske forhold.

En forutsetning er at utslippsforholdene stort sett er de samme for den perioden en analyserer som for den perioden en bruker resultatene.

For undersøkelsen valgte en ut perioden 1.9 - 31.12.1973. Da hadde en i drift alle meteorologiske stasjonene som vist i tabell 3, side 14.

For å sammenlikne de meteorologiske målingene med døgnverdier av forurensninger, ble følgende meteorologiske parametre midlet til døgnverdier:

Relativ fuktighet:	Torsberg
Vindstyrke	: Herøya
Vindstyrke	: Lakollen

Dessuten tok en med temperaturene kl 13 og kl 01 på Knardalstrand og Lakollen. Herav beregnet en temperaturdifferansen Lakollen-Knardalstrand kl 13 og kl 01.

Som et mål på vindretningen ble det beregnet antall timer pr døgn vindretningen på Lakollen var mellom 60° og 240°, og antall timer mellom 240° og 60°. Dette angir antall timer vinden blåser opp henholdsvis ned hoveddalføret Brevik-Porsgrunn-Skien. Disse to variablene er ikke lineært uavhengige idet summen av den er lik 24 for hvert døgn. En har derfor bare tatt med den ene av disse i analysen.

En hadde da i alt 10 forskjellige meteorologiske variable pr døgn. Korrelasjonsmatrisen for disse er vist i bilag 14. Av bilag 14 ser en at enkelte av variablene er godt korrelert. Dette gjelder spesielt temperaturene. Korrelasjonskoeffisienten var 0.95 mellom temperaturene på Lakollen og Knardalstrand kl 13 og 0.91 mellom temperaturen på de samme målestedene kl 01. I den videre analysen valgte en derfor bare å ta med Knardalstrand som representativ for temperaturen i området. Temperaturdifferansen Lakollen-Knardalstrand ble imidlertid beholdt.

Følgende 8 meteorologiske variable ble brukt i den videre analysen:

1. Relativ fuktighet Torsberg (RHTO)
2. Vindstyrke Herøya (FFHE)
3. Vindstyrke Lakollen (FFLA)
4. Temperatur kl 13 Knardalstrand (T13K)
5. Temperatur kl 01 Knardalstrand (T01K)
6. Antall timer med vindretning ned hoveddalføret (240°-60°) Lakollen (TNLA)
7. Temperaturdifferens kl 13 Lakollen-Knardalstrand (DT13)
8. Temperaturdifferens kl 01 Lakollen-Knardalstrand (DT01).

Disse 8 meteorologiske variable ble korrelert med en etter en av de forurensningsdata en hadde for perioden 1.9-31.12.1973:

Ås	:	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺	NO _x
Klyveåsen	:	"	"	"	"	"
Rådhuset	:	"	"	"	"	"

De enkle korrelasjonskoeffisientene mellom forurensningsdata og meteorologiske data er gitt i bilag 15a. I bilag 15b har en bare tatt med de korrelasjonskoeffisientene som er signifikant forskjellig fra null på 1% nivå. Bare et fåtall koeffisienter kom med i bilag 15b. Også de signifikante korrelasjonskoeffisientene var oftest lave. Ved å se på fortegnet på korrelasjonskoeffisientene i bilag 15b kan en generelt slutte følgende: Forurensningene økte med avtakende vindhastighet og avtakende temperatur. Forurensningene økte med økende atmosfærisk stabilitet.

Programmet beregnet også korrelasjonskoeffisienter for kombinasjoner av flere meteorologiske variable. I bilag 16 er det for hvert stoff angitt de kombinasjonene med de to meteorologiske variable som ga høyest korrelasjon. Nedenfor er det redegjort nærmere for resultatene fra bilag 16.

Ås

En fikk best sammenheng med temperaturer og temperaturdifferanser. De høyeste konsentrasjonene hadde en ved lav temperatur og stabil atmosfære. Unntak fra dette var svovel-dioksyd der konsentrasjonen avtok med økende stabilitet, men her var også korrelasjonskoeffisienten svært lav og meget nær signifikansgrensen, jfr. bilag 16.

Klyveåsen

Relativ fuktighet på Torsberg og vindstyrken på Herøya ga best sammenheng. Forurensningene økte med økende relativ fuktighet og avtok med økende vindstyrke. Ammoniakk var unntak idet en også hadde økende konsentrasjon med avtakende stabilitet, men da var også korrelasjonskoeffisienten lav, jfr. bilag 16.

Rådhuset

Her var bildet mer uensartet. Svoveldioksyd ga økende konsentrasjon med avtakende temperatur og økende stabilitet. Sulfat ga økende konsentrasjon med økende relativ fuktighet og økende temperatur. Koeffisienten foran temperaturleddet var riktignok lav. Ammoniakk var ikke signifikant korrelert med meteorologiske variable. Ammonium ga økende konsentrasjon med økende relativ fuktighet og med avtakende vindstyrke på Lakollen.

Korrelasjonskoeffisientene i bilag 16 antas å være for lave til at et kvantitativt varsel av forurensningene kan gis. De høyeste korrelasjonskoeffisientene var ca 0.7, dvs. at ca 50% av variasjonene i forurensningskonsentrasjonene kunne forklares ved hjelp av de meteorologiske variable. Dersom en i tillegg får usikkerhet ved varsling av de meteorologiske variable, vil en ytterligere øke usikkerheten i beregningen av konsentrasjonene.

Ut fra dette vil slike varsler best kunne bli kvalitative, av typen "mulighet for økte forurensningskonsentrasjoner".

5 KILDEORIENTERTE MODELLBEREGNINGER

En vil i dette kapitlet beskrive det arbeid som er gjort for å beregne bakkekonsentrasjoner i området når utslippene og de meteorologiske forholdene er kjent.

5.1 Beskrivelse av program

En har benyttet et program, KILDER, som er en del av NILU's programsystem (4). Programmet er utviklet for bruk i Nedre Telemark, men det beskriver en generelt oppbygd modell og kan derfor uten videre brukes også for andre områder.

Programmet beregner spredning fra punktkilder (skorsteiner) og volumkilder (f.eks. byområder). Spredningen forutsettes "Gaussisk", dvs. konsentrasjonen er normalfordelt vertikalt og horisontalt vinkelrett på transportretningen.

En av fordelene med modellen er at den kan behandle et stort antall kilder samtidig og at den kan brukes til beregninger både av korttidsverdier (f.eks. timesverdier) og langtidsverdier (f.eks. døgn-, måneds- eller årsmidler). En ulempe er at hele området må være beskrevet av én vindhastighet og -retning og én stabilitetsklasse innen hvert tidsintervall. Videre forutsettes fullstendig utlufting mellom hvert tidsintervall. Det vil si at dersom vinden snur og forurensningene føres tilbake igjen, f.eks. ved land/sjøbris, vil modellen ikke kunne ta direkte hensyn til dette. For detaljert beskrivelse av modellen og programmet henvises til (4).

5.2 Representativitet for vind

En har hatt to målesteder for vindstyrke og vindretning gjennom hele 1972 og 1973. De to målestedene er Herøya og Lakollen.

For modellberegningene er det nødvendig at én vindstyrke og én vindretning representerer hele området i et tidsintervall. Både Lakollen og Herøya har fordeler og ulemper når det gjelder å representere vindforholdene over et større område.

Vindmåleren på Herøya er plassert relativt lavt (40 m.o.h.) dvs. i det nivået der forurensningene fra volumkildene spres. Imidlertid kan en lett få kanalisering av vinden på grunn av åssiden nordvest for Herøya.

Lakollen ligger høyt (230 m.o.h.) og vinden er derfor mindre representativ for forholdene i dalbunnen, men beliggenheten er slik at en ikke får kanalisering. Dette målestedet er best egnet til å beskrive spredningen fra de høyeste kildene.

Det er tidligere gjort noen beregninger for å finne ut hvilken av de to stasjonene som var best korrelert med døgnmiddelkonsentrasjonen (1). En fant blant annet at om vinteren var vindretningen på Lakollen best egnet til å beskrive NO_x -konsentrasjonen på Ås.

Om sommeren var vindretningen på Lakollen godt egnet til å beskrive konsentrasjonen på Breidablikk, men mindre godt egnet til å beskrive konsentrasjonen på Ås og Klyve. Heller ikke vindretningen på Herøya var godt egnet til å beskrive disse konsentrasjonene.

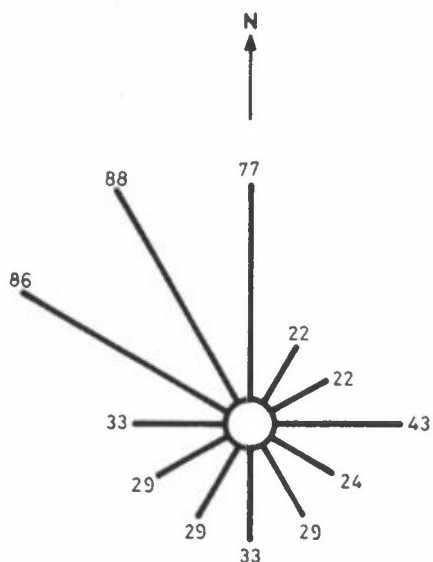
Ved korrelasjonsanalysene nevnt ovenfor var korrelasjonskoeffisientene nær og delvis under signifikansgrensen (jfr. bilag 1) slik at en må være varsom med å trekke sikre konklusjoner. I dette arbeidet har en valgt å bruke vinden på Lakollen som representativ for hele området.

For å få en indikasjon på konsentrasjonsfordeling når en bruker vinden på Lakollen, gjengis nedenfor halvtimesmålingene av NO_x på Ås, Klyveåsen og Nennset fordelt på vindretninger på Lakollen.

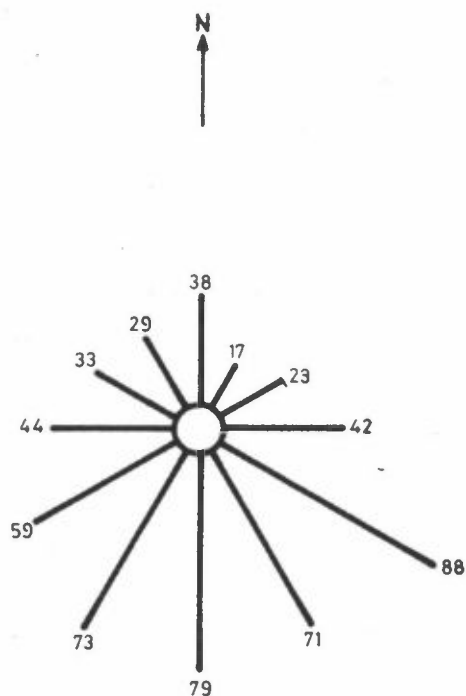
Figur 5 viser fordelingen på Ås i perioden 1.9.73 - 28.2.74. Lengden av linjene ut fra sentrum angir middelkonsentrasjonen i $\mu\text{g NO}_2$ pr m^3 . Middelkonsentrasjonen er også angitt med tall på figuren. Linjens orientering angir retningen vinden blåser fra. Av figur 5 ser en at en fikk de høyeste konsentrasjonene ved vind fra nord, nordvest og vest-nordvest på Lakollen.

Figur 6 viser det samme for Klyveåsen i perioden 1.12.73 - 28.2.74. Her ser en at en fikk høyest konsentrasjon ved vind mellom sørøst og sørvest.

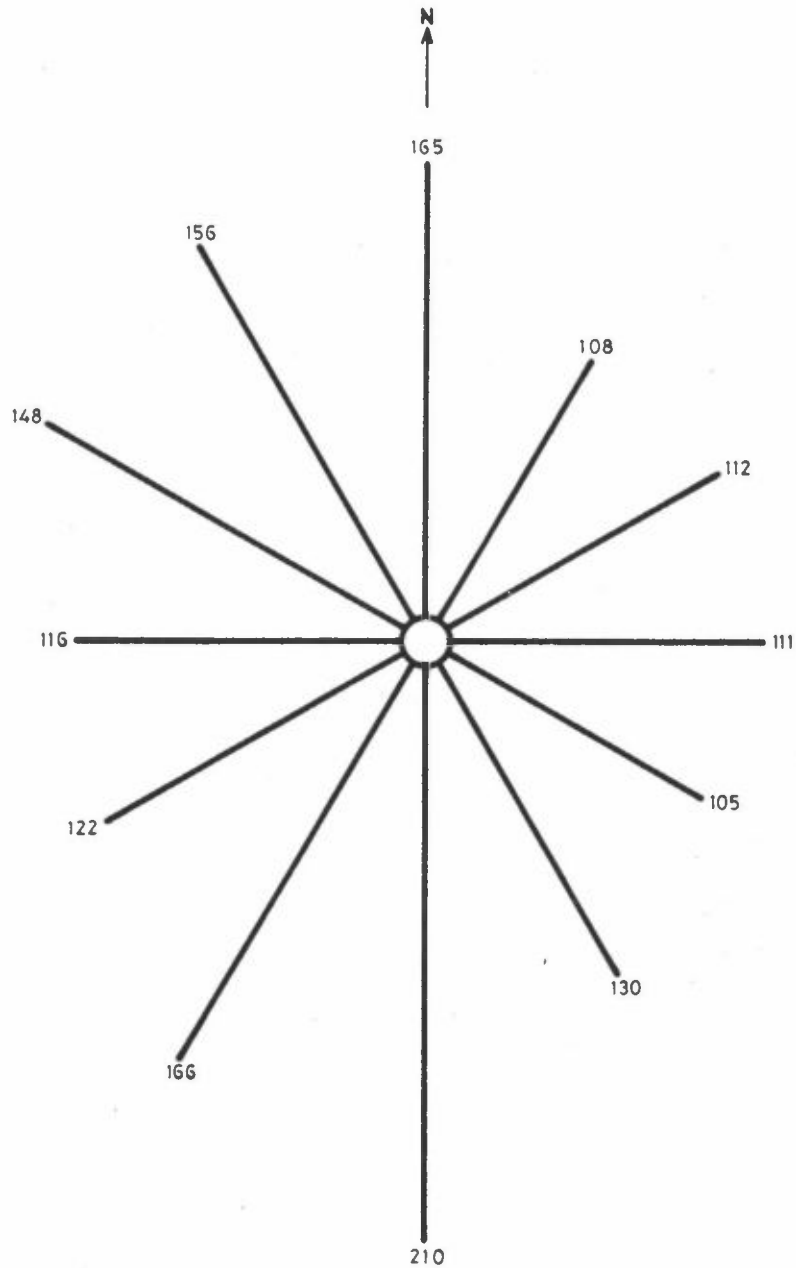
Figur 7 viser det samme for Nennset i perioden 1.9.73 - 28.2.74. Denne figuren er noe overraskende på to måter. For det første var konsentrasjonene klart høyere enn på Ås og Klyveåsen. For det andre var det liten variasjon i konsentrasjonene fordelt på vindretning. En kjenner til at det er betydelige NO_x -kilder sør for Nennset. Nord for Nennset er det enkelte mindre kilder, mens det er svært små kilder øst og vest for målestedet. Det kan derfor synes som om vinden på Lakollen er mindre godt egnet til å beskrive konsentrasjonen på Nennset. Målingene på Nennset er nærmere omtalt under punkt 5.3.1 og 5.3.2.



Figur 5: Middelkonsentrasjoner av NO_x på Ås
1.9.73 - 28.2.74 fordelt på vindretninger.
Stolpene peker dit vinden blåser fra.
Benevning: µg/m³ som NO₂.



Figur 6: Middelkonsentrasjoner av NO_x på Klyveåsen
11.12.73 - 25.2.74 fordelt på vindretninger.
Stolpene peker dit vinden blåser fra.
Benevning: µg/m³ som NO₂.



Figur 7: Middelkonsentrasjoner av NO_x på Nennset 1.9.73 - 28.2.74 fordelt på vindretninger. Stolpene peker dit vinden blåser fra. Benevning: µg/m³ som NO₂.

5.3 Eksempler på bruk av modellen

Nedenfor er vist eksempler på bruk av spredningsmodellen. En har da antatt at utslippene fra punktkildene ikke endrer seg med årstiden. Disse utslippene er fra industri. Volumkildenes utslipp har en antatt at endrer seg med temperaturen og tid på døgnet. Disse utslippene er fra byområder.

En har utslippsdata for svoveldioksyd og nitrogenoksyder. Oversikt over utslipp fra punktkildene finnes i (1). Data for de utslippene som er brukt i denne rapporten er også gjengitt i bilag 17*).

Oversikt over folketall fordelt på ruter er gjengitt i (1). Rutenes folketall danner basis for beregning av utslippene som skyldes husoppvarming og trafikk. Folketallsfordelingen er gjengitt i bilag 18.

På basis av salgstall for fyringsolje og bensin har en estimert totalutslippene av SO₂ og NO_x. For NO_x-beregningen har en brukt følgende utslippsfaktorer:

Husoppvarming:	1.5	kg	NO ₂	pr	m ³	olje	(20)
Bensin	:	15	"	"	"	"	bensin (21)
Dieselolje	:	23	"	"	"	"	dieselolje (21)

I forprosjektet (1) benyttet en en høyere utslippsfaktor for NO_x fra husoppvarming. Denne ble da satt til ca 10 kg NO₂ pr tonn olje. Referanse (20) som er den nyeste en har funnet, satte utslippet betydelig lavere.

*) Koordinatene i bilag 17 refererer seg til rutenettet vist i bilag 18.

Ved hjelp av salgstallene for olje og bensin gjengitt i (1) og utslippsfaktorene ovenfor samt oppgaver over svovelinnhold i ulike oljetyper, kom en fram til følgende utslippstall på årsbasis:

	SO ₂	NO ₂	
Husoppvarming	205	65	} tonn/år
Trafikk	72	680	

Dette utslippet vil fordele seg ujevnt over året avhengig av lufttemperatur og tid på døgnet. Hvordan dette er tatt hensyn til er vist i bilag 19. Fremgangsmåten er den samme som den som ble brukt i NILU's Oslo-undersøkelse (22).

5.3.1 Beregning av langtidsmidler

En skal her vise eksempler på beregning av sesongmiddelverdier. En har brukt tre perioder som hver består av tre måneder:

Sommer 1972	(juni, juli, august)
Vinter 1972-73	(desember, januar, februar)
Høst 1973	(september, oktober, november)

På grunnlag av data for vind og temperaturdifferens, har en beregnet vind/stabilitet frekvensfordelinger. Disse fordelingene er gjengitt i bilag 20 - 22.

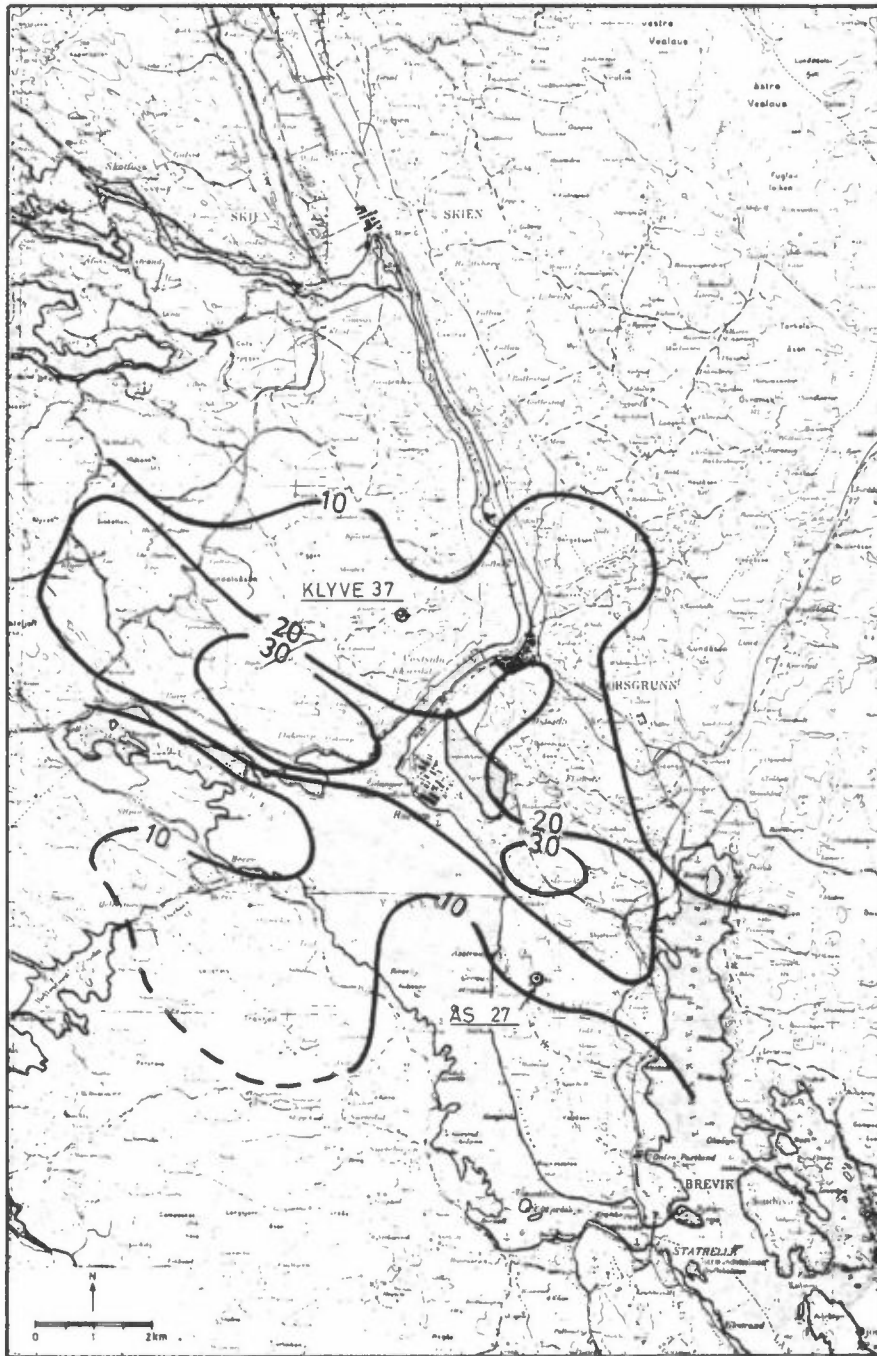
Ved hjelp av modellen har en beregnet konsentrasjoner i et rutenett med sidekant 1 km. I figur 8 - 13 har en tegnet opp konsentrasjonskurver for svoveldioksyd og nitrogenoksyder for de tre periodene. På figurene har en også gitt måleresultater for de samme periodene.

I de figurene som viser konsentrasjonen av SO_2 har en oppgitt måleresultater for summen av svoveldioksyd og sulfat, fordi begge disse skriver seg fra utslipp av svoveldioksyd og modellen ikke har med oksydasjon av svoveldioksyd til sulfat. Denne summen har en i figurene kalt SO_x beregnet som $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 . For nitrogenoksyder har en oppgitt både utslipp og bakke-konsentrasjoner som totale nitrogenoksyder regnet som NO_2 .

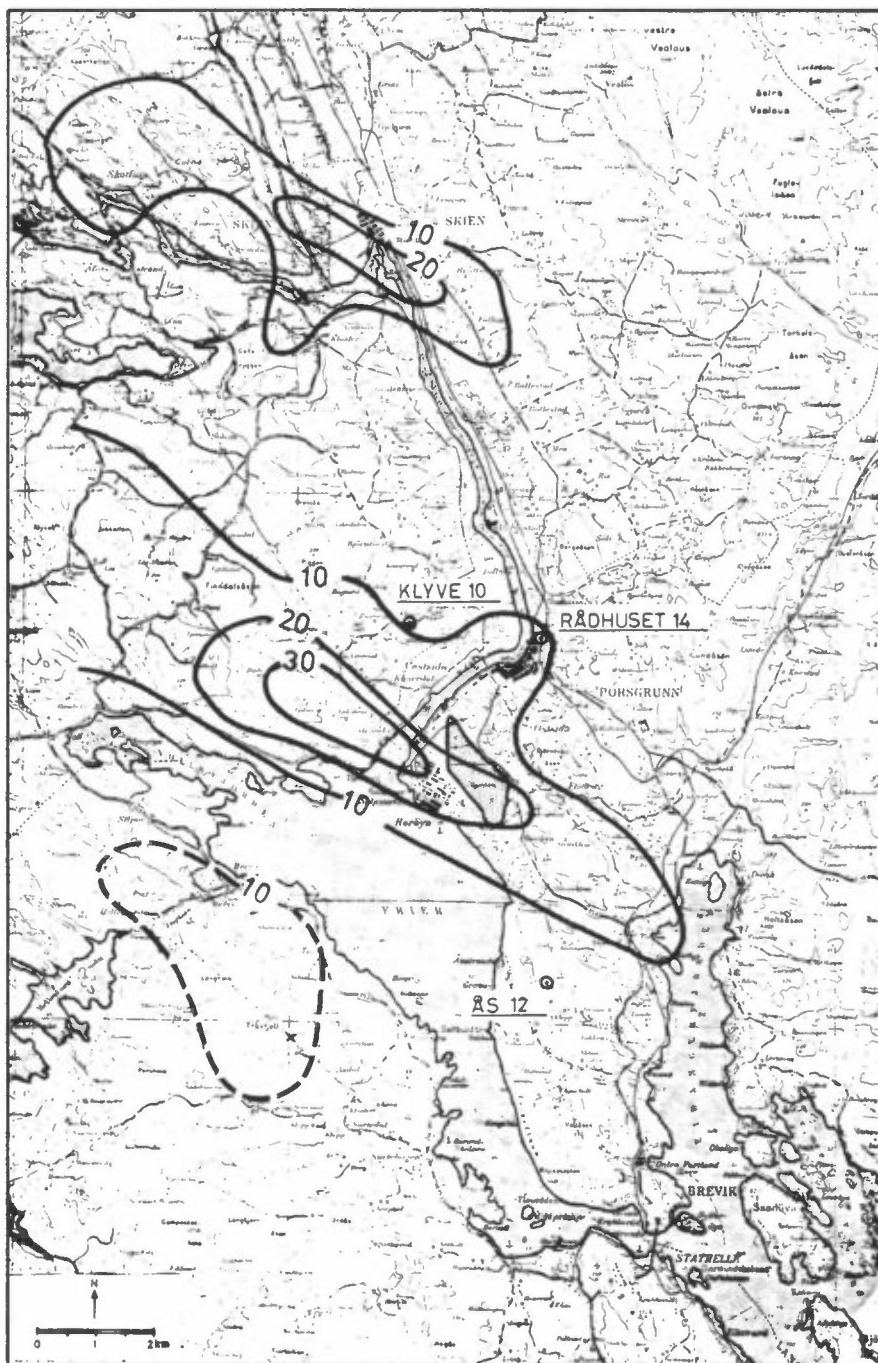
De målte verdiene var oftest noe høyere enn de beregnete. Dette kan skyldes at vindhastigheten på Lakollen ofte er høyere enn ellers i området. For høy vindhastighet gir oftest for lav beregnet konsentrasjon. Videre er vindretningen på Lakollen ofte mer øst/vest enn ellers i området. Dette fører til at områdene med høy konsentrasjon i virkeligheten ville vært orientert mer nord/sør.

I figur 12 har en tatt med målte verdier fra Imcometer på Ås og Nennset. Tallene er merket med stjerne *. Særlig på Nennset er den målte verdien langt høyere enn den beregnete. Her er avviket så stort at enten målingen eller beregningen må være feil. Dette vil en komme tilbake til i punkt 5.3.2.

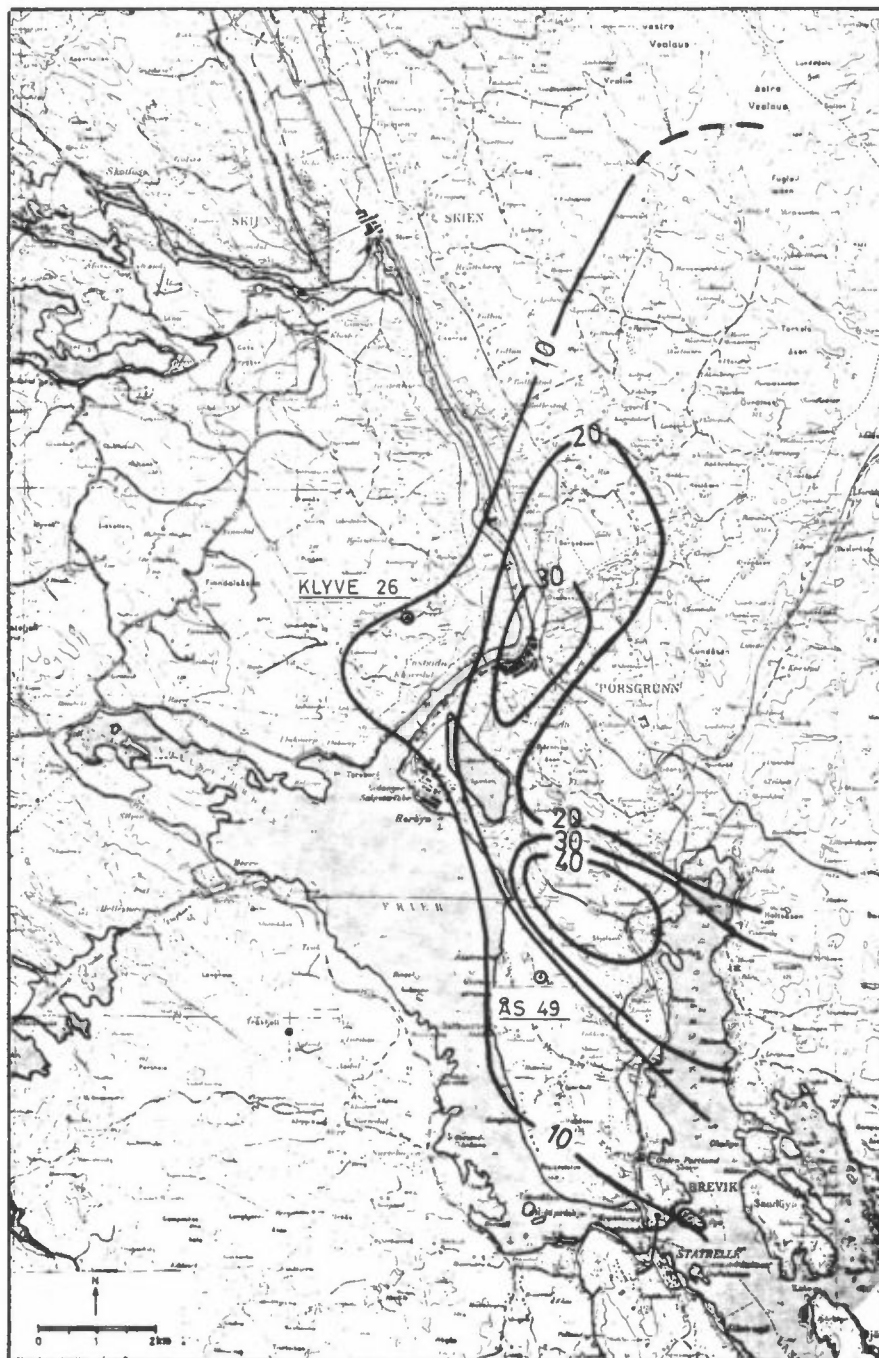
En vil konkludere med at modellens evne til å beregne langtidsmiddelverdier er rimelig god. En kan få avvik fra det en måler, men disse avvikene er vanligvis ikke større enn det en kan vente.



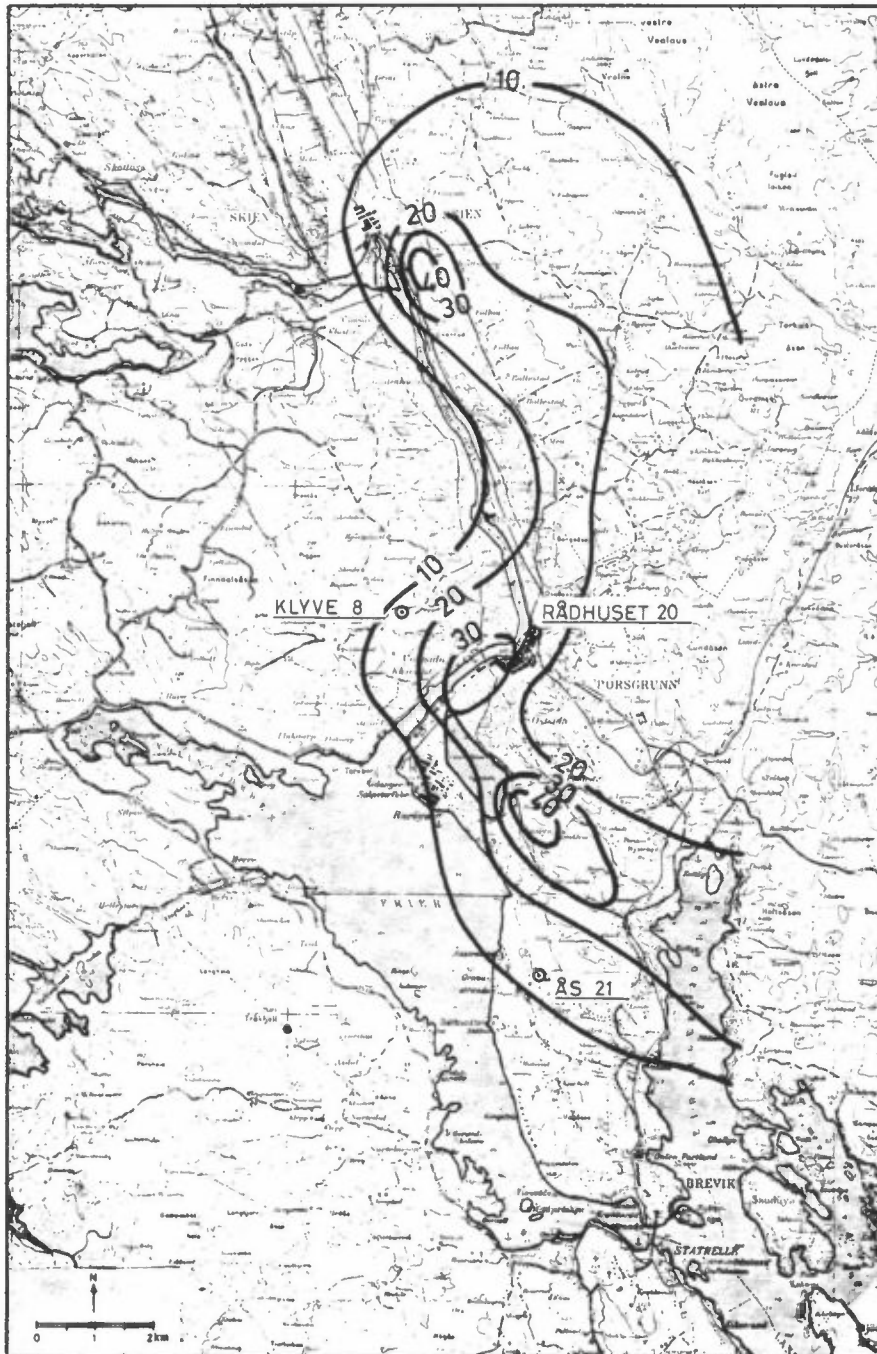
Figur 8: Fordeling av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO₂) sommeren 1972.



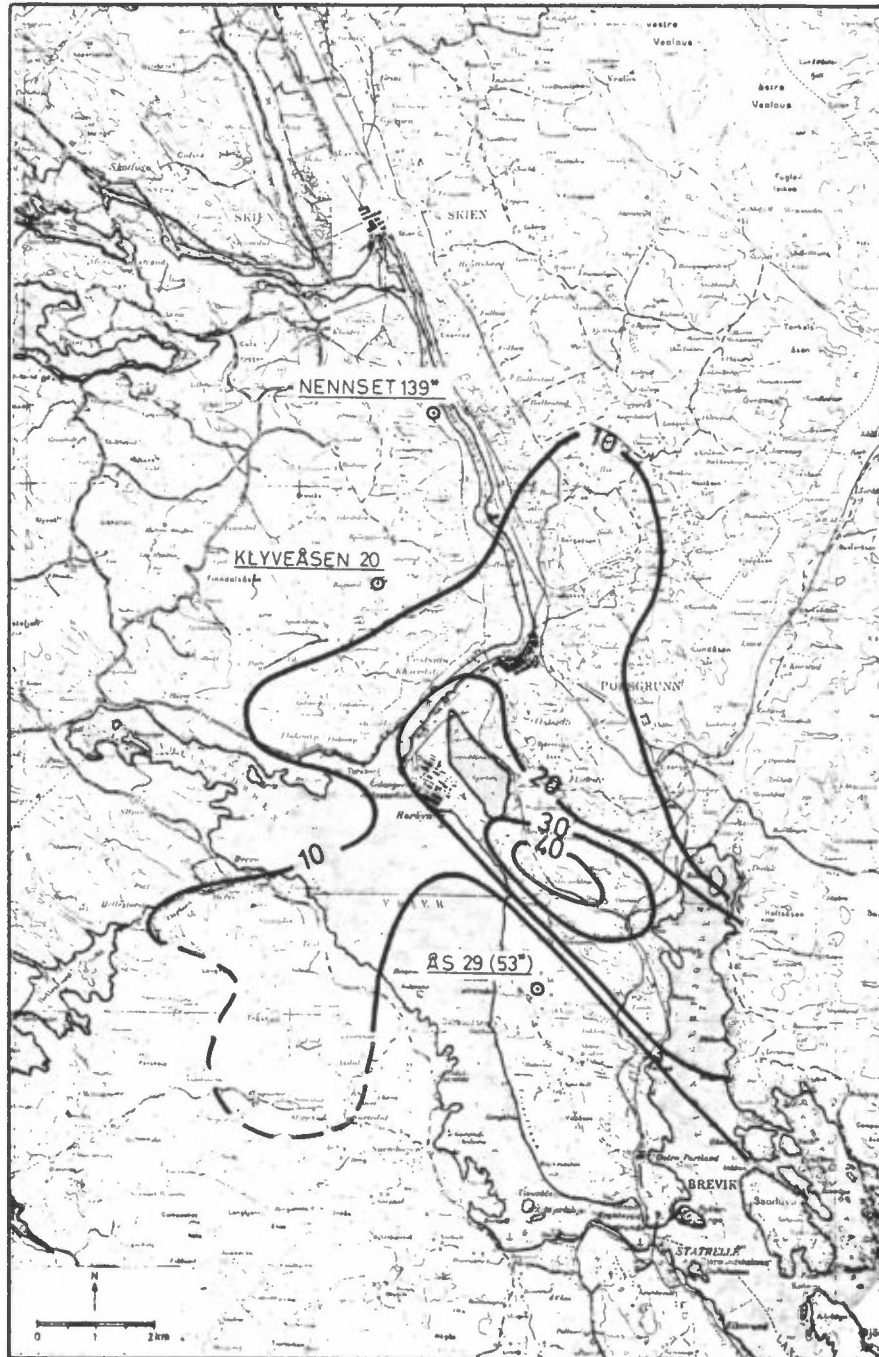
Figur 9: Fordeling av SO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som SO₂) sommeren 1972.



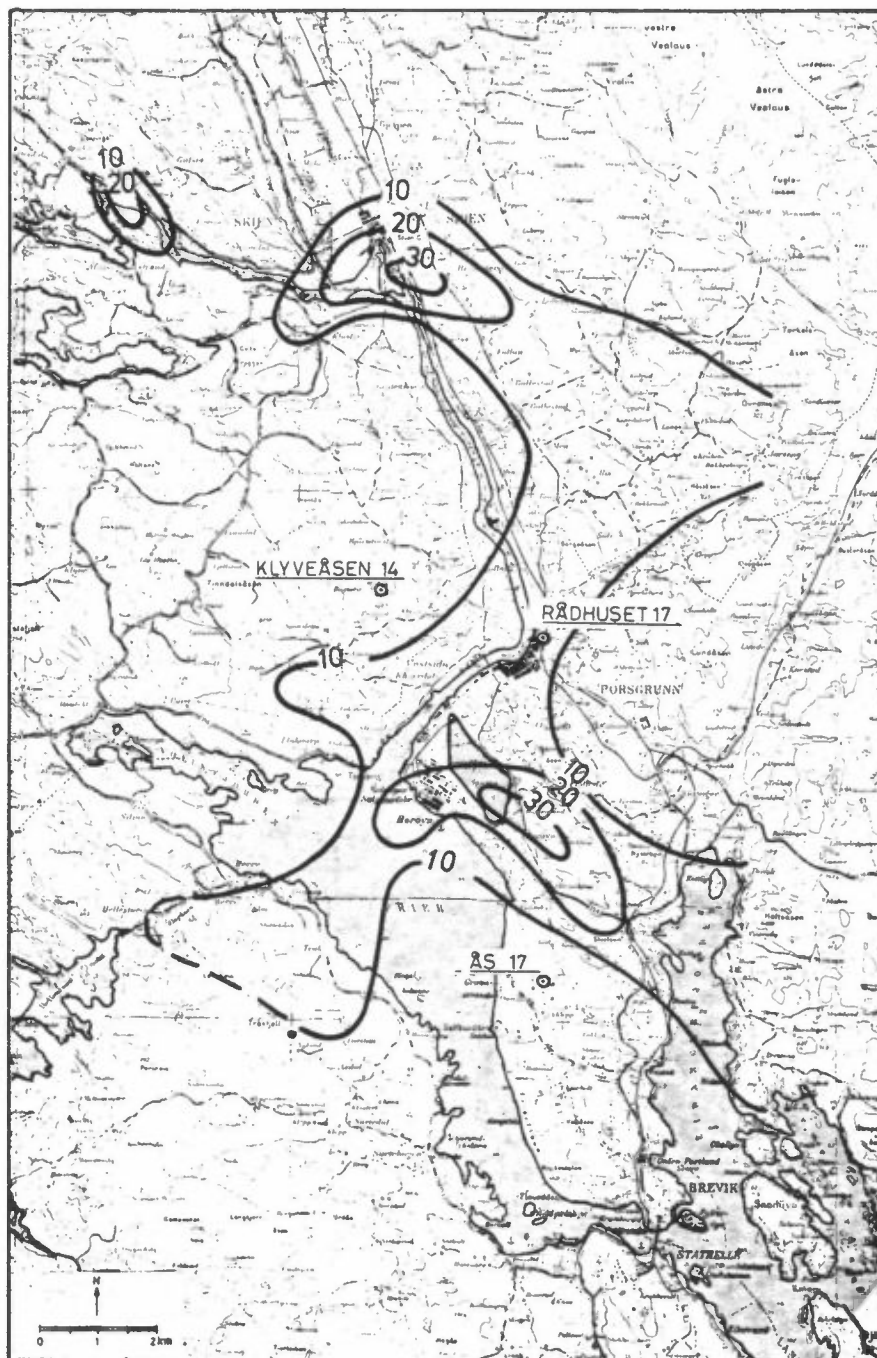
Figur 10: Fordeling av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO_2) vinteren 1972-73.



Figur 11: Fordeling av SO_x (µg/m³ som SO₂) vinteren 1972-73.

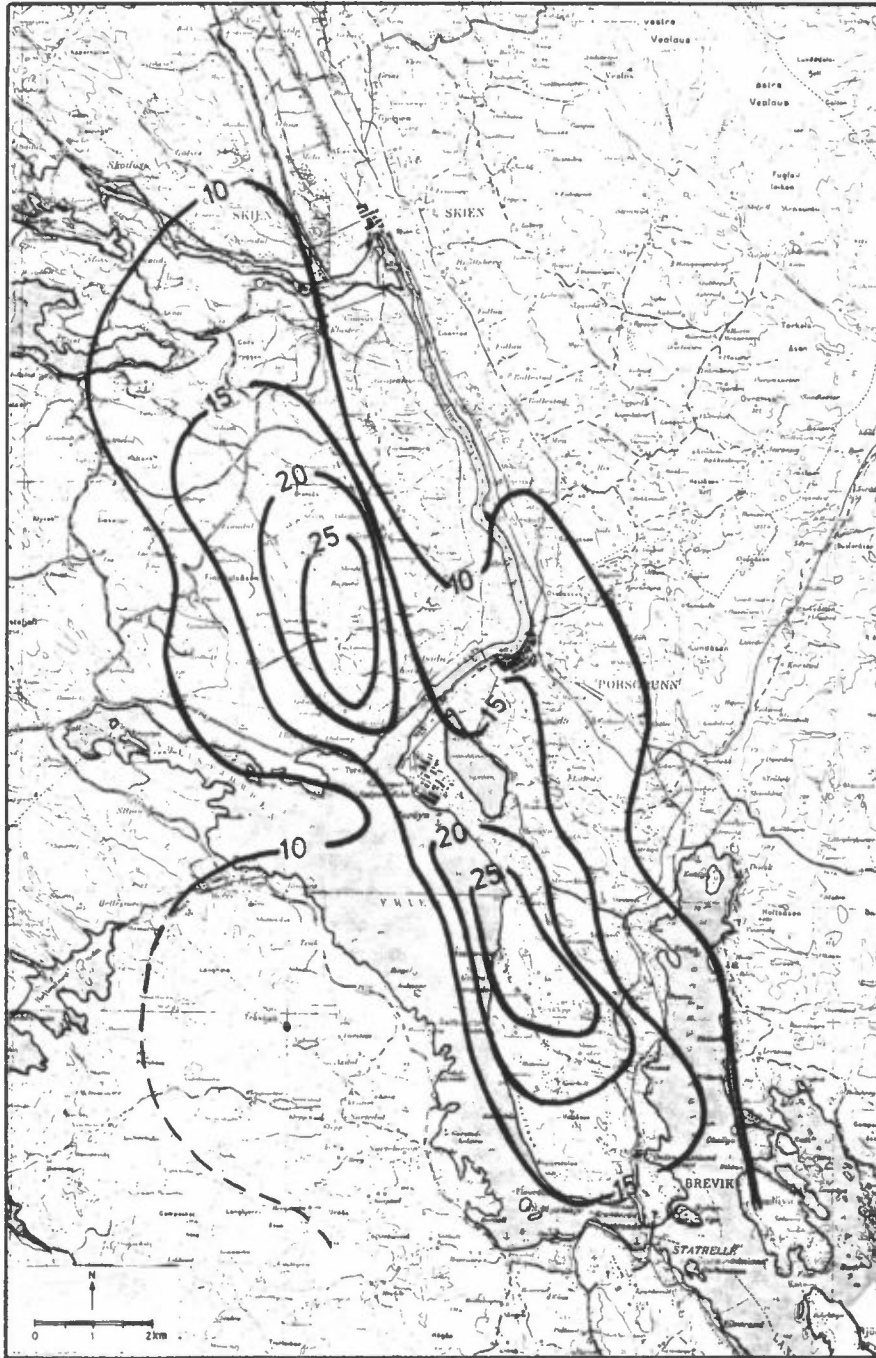


Figur 12: Fordeling av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO₂) høsten 1973.

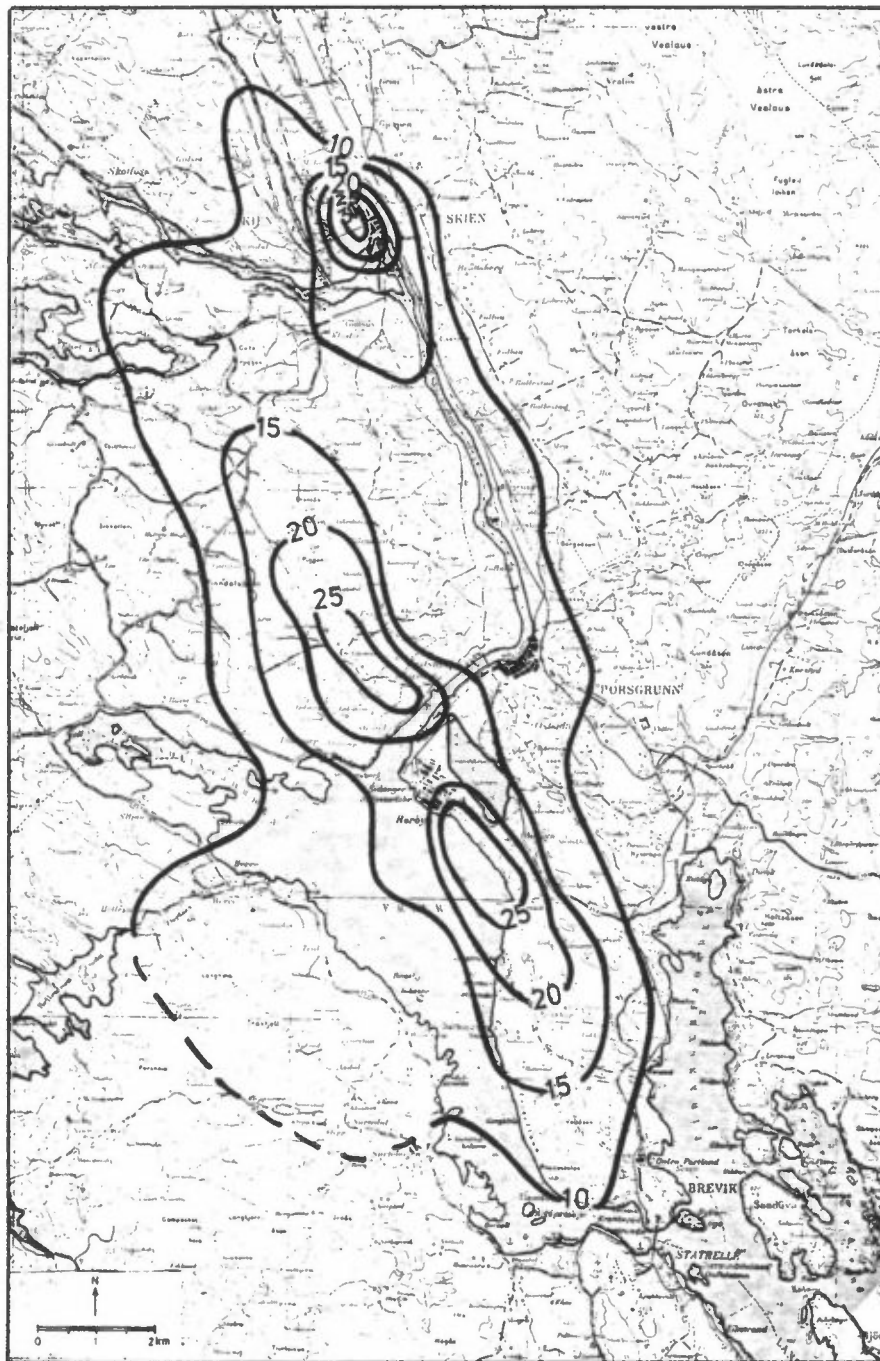


Figur 13: Fordeling av SO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som SO_2) høsten 1973.

Hva er så en "normal" utbredelse av SO_2 og NO_2 i Nedre Telemark? Dette kan beregnes dersom en har en "normal" vind/stabilitetsfordeling som er representativ for hele området. En slik fordeling er estimert av Sivertsen (25). Den er basert på vindobservasjoner en rekke steder i området samt fotografier av røyk i spesielle episoder og er gjengitt som frekvensfordeling i bilag 23. Konsentrasjonskart basert på denne fordelingen og alle utslippene er vist i figur 14 og 15. Her kan en ikke sammenlikne direkte med målinger, da en ikke har slike for et "normal-år".



Figur 14: Fordeling av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO_2) for et "normalår".



Figur 15: Fordeling av SO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som SO_2) for et "normalår".

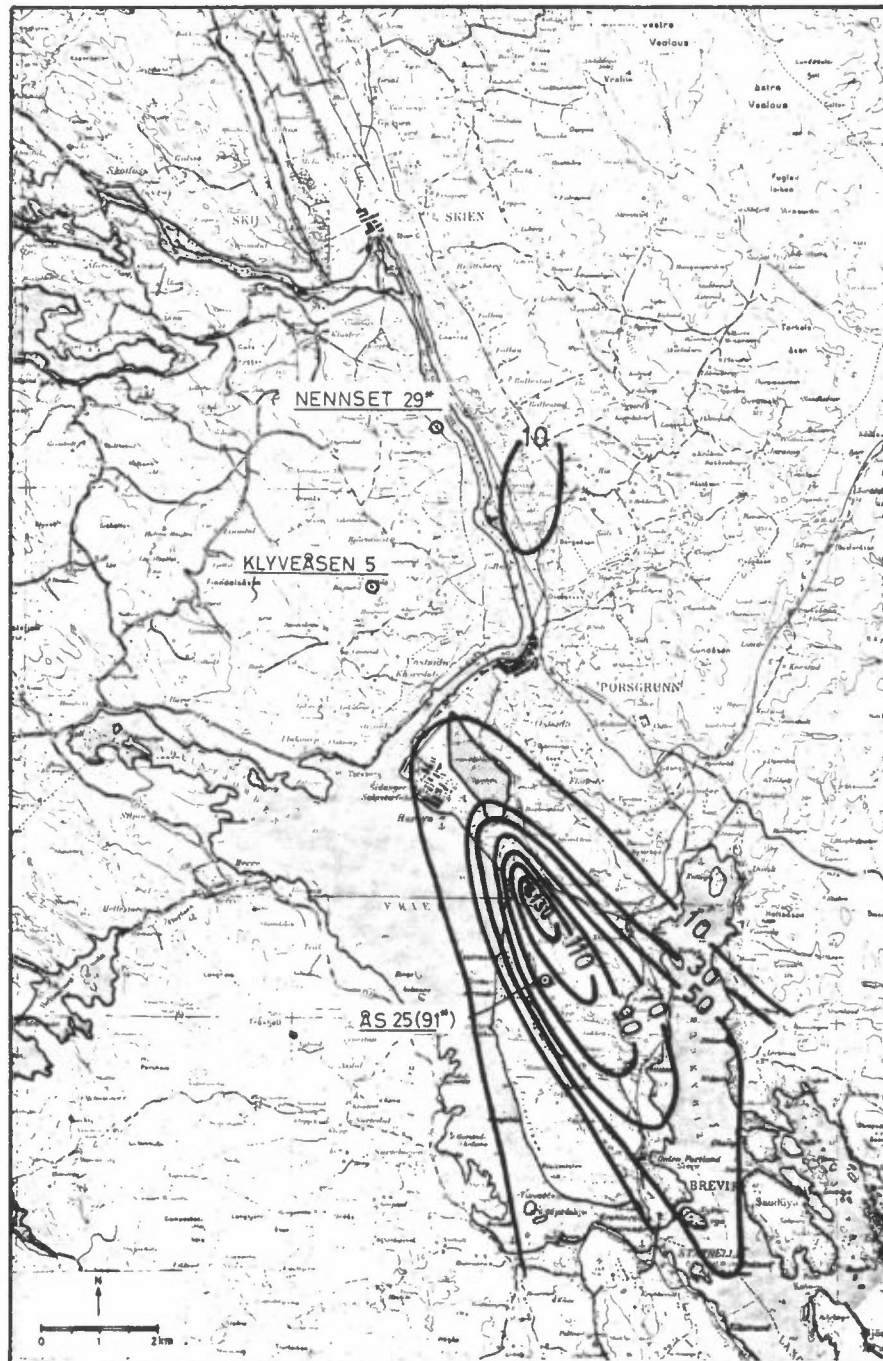
En har beregnet byområdenes bidrag til bakkekonsentrasjonene vinteren 1972-73. Dette ble gjort ved å kjøre modellen uten industriutslippene gitt i bilag 17, men med bidragene fra husoppvarming og trafikk. En fant at verken for SO_2 eller for NO_2 var den beregnede konsentrasjonen høyere enn $6 \mu g/m^3$. Sør for Herøya var byområdenes bidrag mindre enn 10% av den totale konsentrasjonen. Nord for Herøya var byområdenes bidrag 10 - 30% og større for NO_2 enn for SO_2 . Bidraget skyldtes vesentlig biltrafikken.

I trafikerte gater kan imidlertid konsentrasjonene lokalt bli langt høyere. Målinger av Stige (7) i 1972 ga som resultat at i en trafikert gate i Skien var midlere konsentrasjon 300 - 400 $\mu g/m^3$ om dagen.

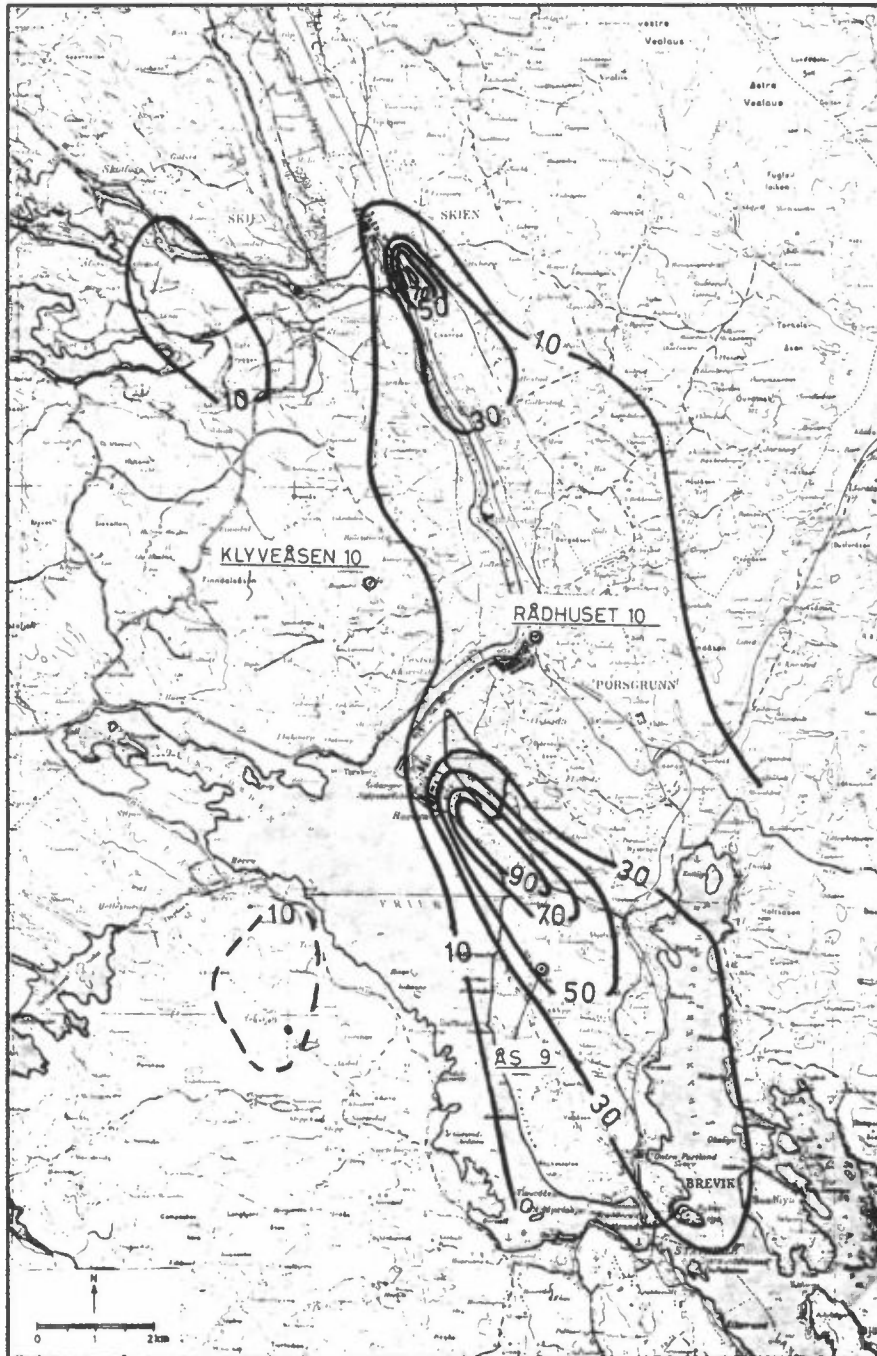
5.3.2 Beregning av korttidsverdier

For å beregne timesverdier av svoveldioksyd og nitrogenoksyder har en valgt ut to døgn høsten 1973. Det ene av disse, 10. - 11. september, hadde middels høye målte konsentrasjoner. Det andre, 26. - 27. november, hadde høye målte konsentrasjoner. Vind- og stabilitetsforhold for de to døgnene er gitt i bilag 24 og 25.

Figur 16 viser den beregnede konsentrasjonsfordelingen av NO_2 10. - 11.9.73, mens figur 17 viser SO_2 -fordelingen samme døgn. De målte verdiene er også inntegnet på figurene. Beregninger og målinger stemmer dårligere overens enn tilfellet var for årstidsmidler.



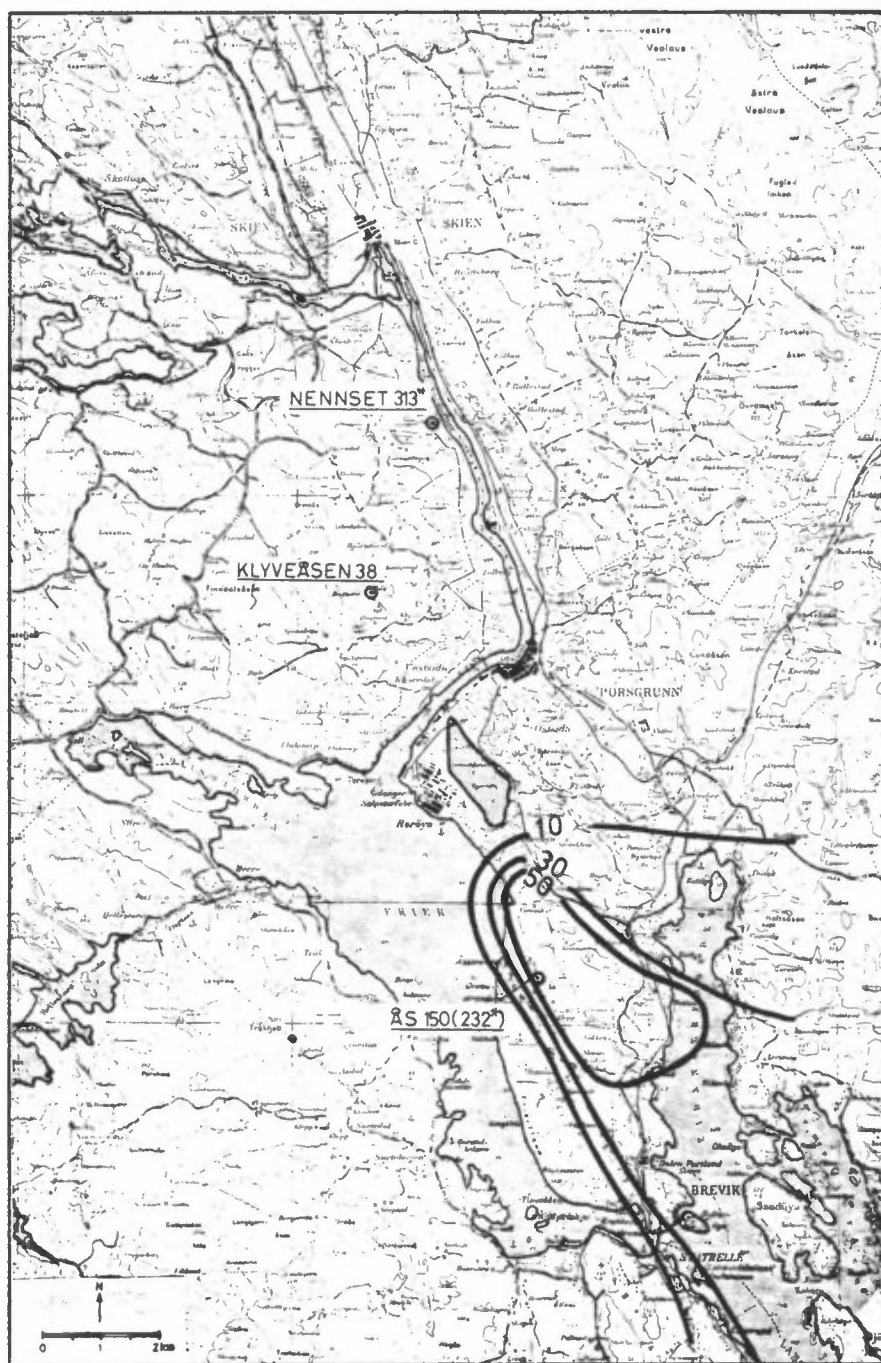
Figur 16: Fordeling av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO_2)
10. - 11.9.1973.
Målinger med Imcometer er merket
med stjerne *.



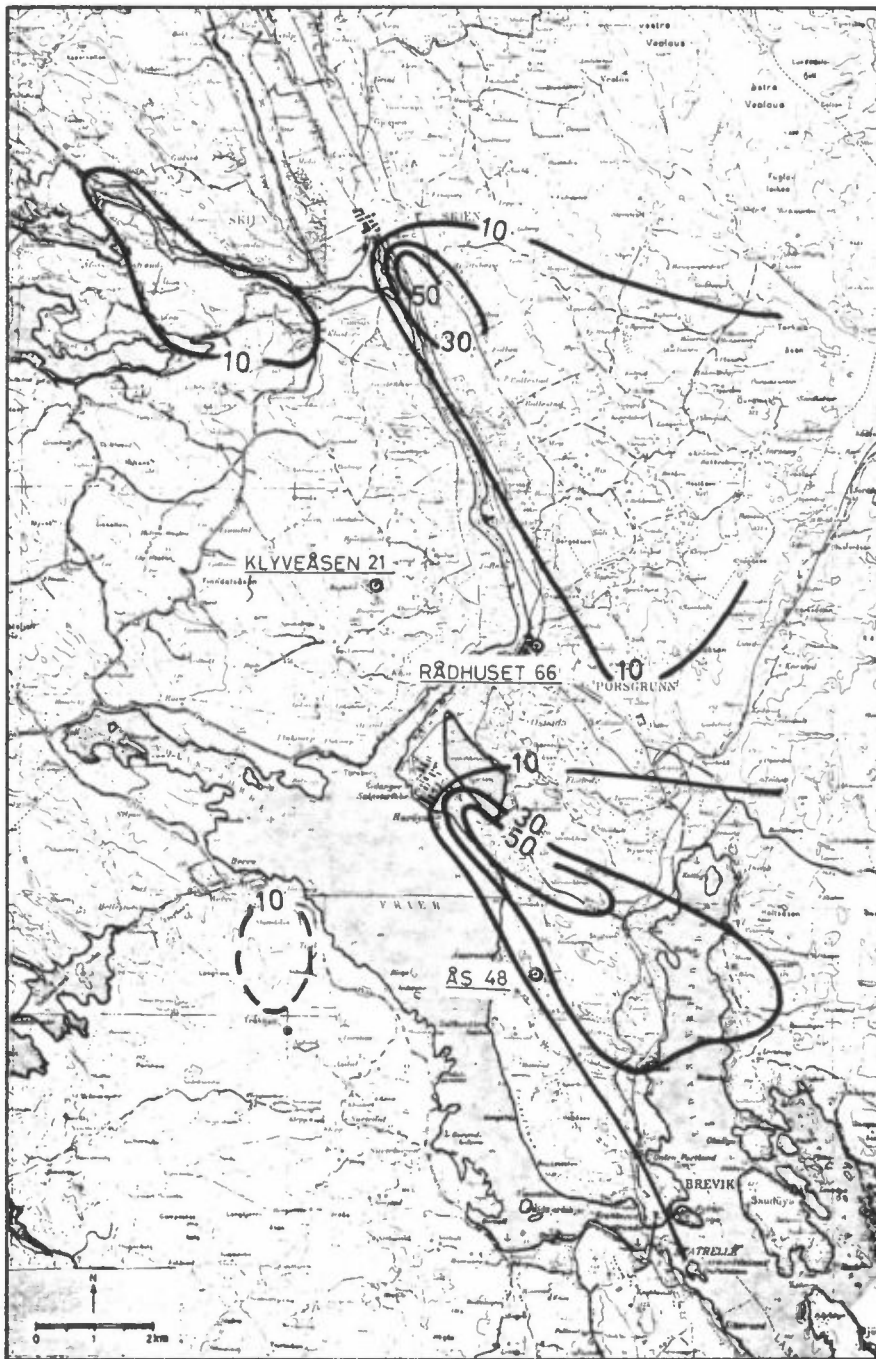
Figur 17: Fordeling av SO_x (µg/m³ som SO₂)
10. - 11.9.1973.

Figur 18 og 19 viser beregnet konsentrasjonsfordeling for NO_2 og SO_2 26. - 27.11.73. Også her stemte målinger og beregninger relativt dårlig overens. Mens de beregnete verdiene oftest var lavere enn de målte den 10. - 11.9, var tilfellet motsatt den 26. - 27.11. Særlig var det på Nennset målt en mye høyere verdi enn beregningene skulle tilsi.

I punkt 4.2 ble det nevnt at konsentrasjonsmålingene på Nennset viste en uventet sammenheng med vindretningen på Lakollen. En har også sett at det er stort avvik mellom beregnete og målte verdier på Nennset. Prinsipielt kan dette avviket skyldes enten at utslipp eller meteorologiske parametre er galt estimert, at modellen er ufullstendig eller at målingene er feil. For nærmere å fastslå dette har NILU anbefalt at målinger av nitrogenoksyder på nytt foretas med kontinuerlig registrerende instrument i området mellom Skien og Porsgrunn (3). Samtidig bør modellstudiene videreføres.



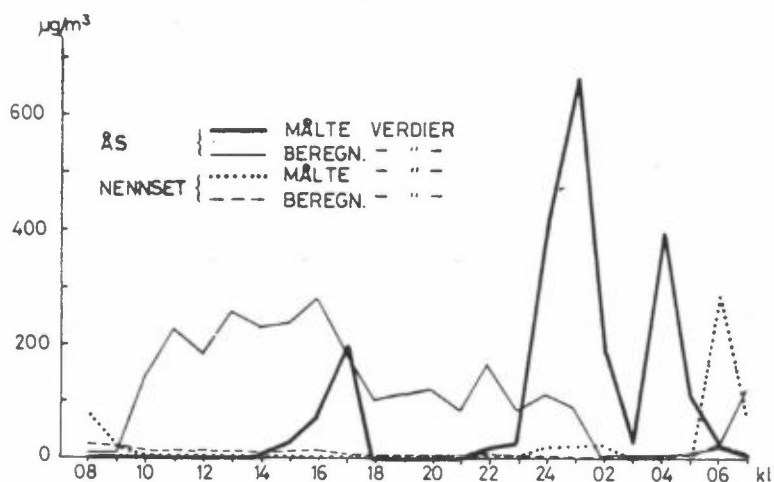
Figur 18: Fordeling av NO_x (µg/m³ som NO₂)
26. - 27.11.1973.
Målinger med Imcometer er merket
med stjerne *.



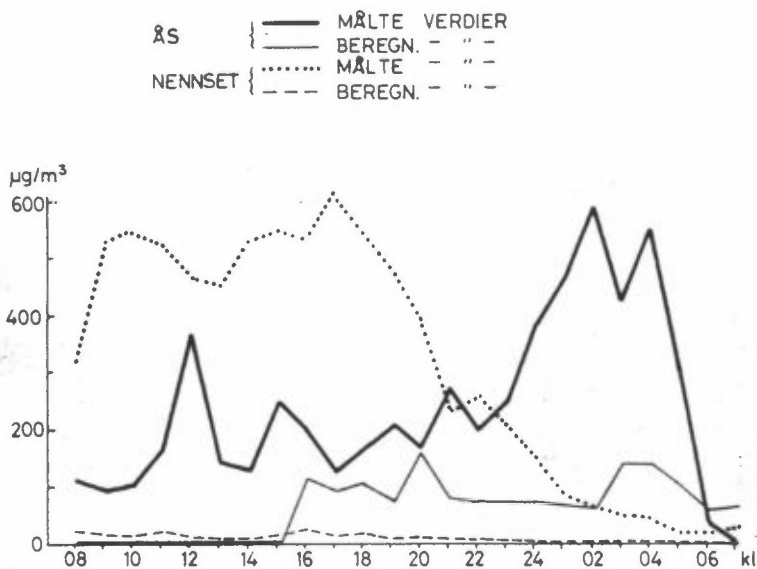
Figur 19: Fordeling av SO_x (µg/m³ som SO₂)
26. - 27.11.1973.

I de to døgnene har en også beregnet konsentrasjonen på Ås og Nennset fra time til time og sammenliknet med målinger. Dette er vist i figur 20 (10. - 11.9.73) og figur 21 (26. - 27.11.73). En ser at målinger og beregninger stemmer relativt dårlig overens.

Det ser altså ut til at modellen ikke er egnet til å beregne korttidskonsentrasjoner. Dette kan skyldes at modellen forutsetter fullstendig utlufting av området mellom hvert tidsintervall. Akkumulering av forurensninger fra time til time kan modellen ikke ta hensyn til. Beregningen av bakkekonsentrasjoner er også følsom for endringer i overhøyde, spredningsparametre og vindretning. Disse svakhetene er felles for alle modeller som baserer seg på spredningsformler av Gaussisk type, og usikkerheten i beregningene øker med avtakende midlings-tid (24).



Figur 20: Målte og beregnete verdier av NO_x (uttrykt som NO₂) på Ås og Nennset 10. - 11.9.1973.



Figur 21: Målte og beregnete verdier av NO_x (uttrykt som NO₂) på Ås og Nennset 26. - 27.11.1973.

6 REFERANSER

- (1) Grønskei, K.E.,
Schjoldager, J.,
Stige, L. Plan for undersøkelse av luftforurensningene i Nedre Telemark i perioden 1.7.73 - 30.6.74. Rapport om arbeidet med utvikling av luftforurensningsmodeller i Nedre Telemark. NILU Oppdragsrapport nr 56/73, juni 1973.
- (2) Ottar, B. Samarbeidsavtale Tilsynsutvalget - NILU. NILU-referanse 21872.
- (3) Grønskei, K.E.,
Schjoldager, J.,
Sivertsen, B. LUFTFORURENSNINGER I NEDRE TELEMAR. Rapport om samarbeidet mellom Tilsynsutvalget for luftforurensningene i Nedre Telemark og Norsk Institutt for Luftforskning. NILU Oppdragsrapport nr 3/75, januar 1975.
- (4) Schjoldager, J. PROGRAM KILDER. Beregning av spredning fra punktkilder og volumkilder. Programbeskrivelse og brukerveiledning. NILU Teknisk notat nr 2/75, november 1974.
- (5) Grønskei, K.E. A Three-dimensional Transport Model for Air Pollution in an Urban Area with Application to SO₂ concentrations in Oslo. NILU Oppdragsrapport nr 41/72, juli 1972.
- (6) Prosjektplan. Modeller for beskrivelse av fotokjemisk smog. Vedlegg til brev fra NILU til Statens Forurensningstilsyn 1.4.1975.
- (7) Stige, L. Kontrollaboratoriet for Luftforurensninger i Nedre Telemark. Årsrapporter 1969, 1970, 1971, 1972 og 1973.
- (8) Grønskei, K.E. En bearbeidelse av meteorologiske data fra Porsgrunnområdet 1/5 1969 - 31/12 1970. NILU Oppdragsrapport nr 29/71, juli 1971.

- (9) Grønskei, K.E. Sammenhengen mellom Norsk Hydro's meteorologiske målinger i Porsgrunn-området og målinger ved værstasjonene i omegnen. NILU Oppdragsrapport nr 26/71, juni 1971.
- (10) Dovland, H.,
Sivertsen, B. Meteorologiske observasjoner fra Nedre Telemark i perioden 1/12 1970 - 29/2 1972. NILU Teknisk notat nr 42/72, oktober 1972.
- (11) Gram, F. PROGRAM MULREG. Midlertidig programbruksbeskrivelse (CDC 3600). NILU Teknisk notat nr 22/72, februar 1972.
- (12) Saltzman, B.E. Colorimetric Microdetermination of Nitrogen Dioxide in the Atmosphere. Anal. Chem., vol. 26 (1954), s 1949-1955.
- (13) Mulik, J.,
Fuerst, R.,
Guyer, M.,
Meeker, J.,
Sawicki, E. Development and Optimization of Twenty-Four Hour Manual Methods for the Collection and Colorimetric Analysis of Atmospheric NO₂. Intern. J. Environ. Anal. Chem., 1974, vol. 3, s 333-348.
- (14) Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides. Environmental Protection Agency Publication No. AP-84, Washington D.C. 1971.
- (15) Shy, C.M.
Finklea, J.F. Air Pollution affects community health. Env. Sci. & Technol., vol. 7 (1973) no. 3, s 204-208.
- (16) Health Consequences of sulfur oxides: A report from CHESS, 1970-1971. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park 1974.

- (17) Luftforurensninger og befolkningens helsetilstand i Porsgrunn/Skien området. Forslag fra NILU i samarbeid med lokale helsemyndigheter i Porsgrunn/Skien området.
NILU 11. desember 1974.
- (18) Stern, A. C. Air Pollution Vol. III.
Academic Press, New York 1968.
- (19) Spiegel, M.R. SCHAUM's Outline of Theory and Problems of Statistics.
Mc Graw-Hill, New York 1972.
- (20) Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 2nd Ed.
Publication No AP-42.
U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina 1972.
- (21) Bang, J.R. Statens Teknologiske Institutt.
Privat meddelelse, oktober 1973.
- (22) Grønskei, K.E.,
Joranger, E.,
Gram, F. Assessment of Air Quality in Oslo, Norway. Appendix D to the NATO/CCMS Air Pollution Document "Guidelines to Assessment of Air Quality (Revised) SO_x, TSP, CO, HC, NO_x and Oxidants",
Bruxelles 1973.
- (23) Halpern, P.,
Simon, C.,
Randall, L. Source Emissions and the Vertically Integrated Mass Flux of Sulphur Dioxide Across the New York City Area.
Journ. Appl. Met., Vol. 10 (1971), s 715-720.
- (24) Air Quality Display Model.
U.S. Department of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration, Washington D.C.,
November 1969.
- (25) Sivertsen, B. Spredningsmønster ved lokal luftforurensning i Grenland-regionen.
NILU Oppdragsrapport nr 6/75, mars 1975.

BILAG 1 SIGNIFIKANS FOR KORRELASJONSKOEFFISIENTER

I tabellen er korrelasjonskoeffisienter mindre enn r ved en viss N ikke signifikant forskjellig fra null ved et signifikansnivå på 1%. Tabellen er basert på:

$$r = \frac{t}{\sqrt{v + t^2}} \quad \text{der } v = N - 2.$$

Dette uttrykket er en omskrivning av

$$t = \frac{r \sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (19)$$

Verdiene for t er hentet fra (19), s. 344.

N	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240
$t_{0.995}$	2.88	2.76	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.63	2.62	2.61	2.60	2.59	2.58	2.58	2.58	2.58
r	0.56	0.46	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16

BILAG 2

Koeffisienter i regresjonslikningen

$$[SO_4^{--}] = a [NH_4^+] + b$$

Enheter:

$[SO_4^{--}]$: $\mu g/m^3$ som SO_2 .

$[NH_4^+]$: $\mu g/m^3$ som NH_3 .

r = korrelasjonskoeffisient

N = antall observasjoner

Sted og tid	a	b	r	N
Ås 1972	1.31	1.5	0.97	199
Klyve 1972	1.20	1.1	0.86	249
Rådhuset 1972	1.35	2.3	0.79	190
Løvsjø 1.1.-30.6.1972	1.25	5.7	0.92	56
Stathelle 1.1.13.7.1972	1.29	6.1	0.91	41
Ås 1973	1.35	0.5	0.96	213
Klyve 1.1.-31.8.1973	0.90	0.0	0.87	144
Rådhuset 1973	1.23	0.1	0.85	171
Klyveåsen 12.7.-31.12.1973	0.64	1.9	0.64	62
Ås 1.1.-30.6.1972	1.27	3.4	0.96	82
Ås 15.5.-15.9.1972	0.87	2.7	0.83	38
Klyve 15.5.-15.9.1972	1.01	1.6	0.77	111
Rådhuset 15.5.-15.9.1972	1.14	4.2	0.61	46
Ås 15.11.1972-15.3.1973	1.41	0.3	0.99	92
Klyve 15.11.1972-15.3.1973	0.87	1.4	0.89	61
Rådhuset 15.11.1972-15.3.1973	0.74	2.0	0.71	68

BILAG 3

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA ÅS/KLYVE 1972

146 observasjoner.

	NOXA	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK
Middelerdi	56.26	7.12	14.77	13.63	10.44	7.75	5.90	5.37	4.12	36.04
Standard- avvik	53.69	5.11	18.56	50.08	13.66	9.25	6.26	5.22	4.34	30.86

KORRELASJONSMATRISE

NOXA	1.00									
SFLA	(.20)	1.00								
SFIA	.77	(.19)	1.00							
NFLA	.21	(-.07)	.36	1.00						
NFIA	.80	(.14)	.97	.35	1.00					
SFLK	.38	.51	.38	(-.05)	.35	1.00				
SFIK	.38	.27	.35	(-.05)	.35	.69	1.00			
NFLK	(.01)	-.26	(-.10)	(-.00)	(-.04)	-.22	(-.05)	1.00		
NFIK	.36	(.13)	.30	(-.06)	.34	.47	.88	(.15)	1.00	
NOXK	.42	(.10)	.28	(-.02)	.29	.43	.68	(.09)	.70	1.00
	NOXA	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK

NOXA	NO _x	Ås	µg/m ³	som NO ₂
SFLA	SO ₂	"	"	
SFIA	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLA	NH ₃	"	"	
NFIA	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
SFLK	SO ₂	Klyve	"	
SFIK	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLK	NH ₃	"	"	
NFIK	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXK	NO _x	"	"	som NO ₂

BILAG 4

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA ÅS/RÅDHUSET 1972

132 observasjoner

	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR
Middelverdi	16.20	7.87	13.21	11.21	58.70	18.87	7.12	5.19	3.75
Standard- avvik	19.36	5.60	52.49	14.20	54.72	16.46	4.84	3.40	2.78

KORRELASJONSMATRISE

SFIA	1.00								
SFLA	(.15)	1.00							
NFLA	.36	(-.08)	1.00						
NFIA	.97	(.08)	.34	1.00					
NOXA	.78	(.17)	(.20)	.81	1.00				
SFLR	.43	.50	(.05)	.34	.39	1.00			
SFIR	.36	.23	(-.03)	.31	.34	.46	1.00		
NFLR	(-.18)	(-.17)	(-.06)	(-.13)	(-.13)	(-.15)	(-.09)	1.00	
NFIR	.37	(.17)	(-.03)	.36	.23	.33	.83	(.01)	1.00
	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR

SFIA	SO ₄ ⁻⁻	Ås	µg/m ³ som SO ₂
SFLA	SO ₂	"	"
NFLA	NH ₃	"	"
NFIA	NH ₄ ⁺	"	" som NH ₃
NOXA	NO _x	"	" som NO ₂
SFLR	SO ₂	Rådhuset	"
SFIR	SO ₄ ⁻⁻	"	" som SO ₂
NFLR	NH ₃	"	"
NFIR	NH ₄ ⁺	"	" som NH ₃

BILAG 5

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA KLYVE/RÅDHUSET 1972

171 observasjoner.

	SFIK	SFLK	NFLK	NFIK	NOXK	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR
Middelverdi	6.19	7.51	5.18	4.02	35.83	15.43	6.94	5.29	3.48
Standard- avvik	5.85	8.60	4.94	4.19	28.07	14.16	4.60	3.23	2.68

KORRELASJONSMATRISE

SFIK	1.00								
SFLK	.67	1.00							
NFLK	(-.03)	(-.18)	1.00						
NFIK	.87	.47	(.16)	1.00					
NOXK	.70	.46	(.12)	.73	1.00				
SFLR	.42	.67	-.30	.26	.31	1.00			
SFIR	.57	.37	(.00)	.57	.45	.44	1.00		
NFLR	(-.04)	(-.16)	.53	(.04)	(.05)	(-.12)	(-.06)	1.00	
NFIR	.51	.30	(.03)	.59	.37	.39	.80	(.03)	1.00
	SFIK	SFLK	NFLK	NFIK	NOXK	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR

SFIK	SO ₄ ⁻⁻	Klyve	µg/m ³	som SO ₂
SFLK	SO ₂	"	"	
NFLK	NH ₃	"	"	
NFIK	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
SFLR	SO ₂	Rådhuset	"	
SFIR	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLR	NH ₃	"	"	
NFIR	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃

BILAG 6

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA ÅS/LØVSJØ 1.1. - 30.6.1972

52 observasjoner.

	SFIL	SFLL	NFLL	NFIL	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	NOXA
Middelverdi	16.33	14.60	4.22	8.60	11.29	19.16	8.51	11.64	69.21
Standard- avvik	14.32	10.52	2.70	10.60	8.94	18.46	10.14	14.25	60.92

KORRELASJONSMATRISE

SFIL	1.00								
SFLL	(.11)	1.00							
NFLL	(-.09)	-.47	1.00						
NFIL	.92	(.10)	(-.07)	1.00					
SFLA	(.10)	(.33)	(-.06)	(.03)	1.00				
SFIA	.81	(.25)	(-.13)	.81	(.12)	1.00			
NFLA	(.04)	(-.18)	(.25)	(.00)	(.16)	.38	1.00		
NFIA	.76	(.18)	(-.08)	.83	(-.00)	.96	.37	1.00	
NOXA	.69	(.20)	(-.18)	.75	(-.05)	.85	(.27)	.87	1.00
	SFIL	SFLL	NFLL	NFIL	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	NOXA

SFIL	SO ₄ ⁻⁻	Løvsjø	µg/m ³	som SO ₂
SFLL	SO ₂	"	"	
NFLL	NH ₃	"	"	
NFIL	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
SFLA	SO ₂	Ås	"	
SFIA	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLA	NH ₃	"	"	
NFIA	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXA	NO _x	"	"	som NO ₂

BILAG 7

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA ÅS/STATHELLE 1.1. - 13.7.1972

35 observasjoner

	SFIS	SFLS	NFLS	NFIS	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	NOXA
Middelverdi	11.73	7.69	4.16	4.30	12.84	23.43	8.83	14.21	80.89
Standard- avvik	6.92	3.30	5.65	4.85	8.05	20.47	11.81	16.20	66.39

KORRELASJONSMATRISE

SFIS	1.00								
SFLS	.16	1.00							
NFLS	.06	-.35	1.00						
NFIS	.91	-.05	.12	1.00					
SFLA	.07	.17	-.10	.12	1.00				
SFIA	.72	.20	.03	.61	.04	1.00			
NFLA	-.09	-.23	.08	-.05	.04	.42	1.00		
NFIA	.68	.10	.12	.61	-.10	.96	.40	1.00	
NOXA	.63	.06	.08	.50	-.18	.82	.29	.85	1.00
	SFIS	SFLS	NFLS	NFIS	SFLA	SFIA	NFLA	NFIA	NOXA

SFIS	SO ₄ ²⁻	Stathelle	µg/m ³	som SO ₂
SFLS	SO ₂	"	"	
NFLS	NH ₃	"	"	
NFIS	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
SFLA	SO ₂	Ås	"	
SFIA	SO ₄ ²⁻	"	"	som SO ₂
NFLA	NH ₃	"	"	
NFIA	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXA	NO _x	"	"	som NO ₂

BILAG 8

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA FRA ÅS/KLYVE 1.1. - 31.8.1973

73 observasjoner.

	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK
Middelverdi	9.59	6.17	9.85	7.44	45.67	5.23	5.03	6.87	5.14	37.14
Standard-avvik	9.06	3.62	9.91	6.10	45.89	3.00	4.18	4.83	4.19	20.54

KORRELASJONSMATRISE

SFIA	1.00									
SFLA	(.15)	1.00								
NFLA	.35	(.02)	1.00							
NFIA	.93	(.24)	.37	1.00						
NOXA	.73	(.25)	(.28)	.72	1.00					
SFLK	.32	.37	(.12)	.36	.32	1.00				
SFIK	(.13)	(-.20)	(.09)	(.11)	(-.13)	(.04)	1.00			
NFLK	(-.23)	(-.17)	(.07)	(-.16)	-.33	(-.03)	.31	1.00		
NFIK	(.09)	(-.17)	(.11)	(.11)	(-.13)	(.13)	.94	.41	1.00	
NOXK	(.24)	(.05)	(.18)	(.25)	(.16)	(.25)	.51	(.24)	.57	1.00
	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK

SFIA	SO ₄ ²⁻	Ås	µg/m ³	som SO ₂
SFLA	SO ₂	"	"	
NFLA	NH ₃	"	"	
NFIA	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXA	NO _x	"	"	som NO ₂
SFLK	SO ₂	Klyve	"	
SFIK	SO ₄ ²⁻	"	"	som SO ₂
NFLK	NH ₃	"	"	
NFIK	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXK	NO _x	"	"	som NO ₂

BILAG 9

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA FRA ÅS/RÅDHUSET 1973

111 observasjoner.

	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR
Middelverdi	11.51	5.96	9.75	8.49	41.29	13.06	5.18	6.56	4.08
Standard- avvik	9.97	3.32	9.46	7.08	43.33	9.76	3.70	3.04	2.60

KORRELASJONSMATRISE

SFIA	1.00								
SFLA	(.09)	1.00							
NFLA	.38	(.08)	1.00						
NFIA	.95	(.10)	.37	1.00					
NOXA	.71	.24	.32	.73	1.00				
SFLR	.38	(.23)	(.02)	.42	.46	1.00			
SFIR	(.16)	(-.07)	(.03)	(.13)	(.04)	(-.04)	1.00		
NFLR	(-.17)	(-.12)	(.05)	(-.11)	(-.22)	(.06)	(.16)	1.00	
NFIR	(.11)	(.01)	(.01)	(.12)	(.09)	(-.00)	.87	(.12)	1.00
	SFIA	SFLA	NFLA	NFIA	NOXA	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR

SFIA	SO ₄ ⁻⁻	Ås	µg/m ³	som SO ₂
SFLA	SO ₂	"	"	
NFLA	NH ₃	"	"	
NFIA	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXA	NO _x	"	"	som NO ₂
SFLR	SO ₂	Rådhuset	"	
SFIR	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLR	NH ₃	"	"	
NFIR	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃

BILAG 10

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA FRA KLYVE/RÅDHUSET 1.1. - 31.8.1973

111 observasjoner.

	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR
Middelverdi	5.38	4.77	7.61	5.22	35.89	9.71	5.03	5.90	4.27
Standard- avvik	3.47	4.02	4.76	3.78	22.42	6.83	3.63	2.37	2.60

KORRELASJONSMATRISE

SFLK	1.00								
SFIK	(.22)	1.00							
NFLK	(.10)	.35	1.00						
NFIK	(.21)	.90	.49	1.00					
NOXK	.40	.54	.34	.58	1.00				
SFLR	.25	(-.12)	-.43	-.27	(.01)	1.00			
SFIR	(.12)	.87	.32	.78	.48	(-.03)	1.00		
NFLR	(.03)	.25	.55	.35	.24	(-.08)	.26	1.00	
NFIR	(.09)	.76	.26	.74	.47	(.09)	.87	.24	1.00
	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK	SFLR	SFIR	NFLR	NFIR

SFLK	SO ₂	Klyve	µg/m ³	
SFIK	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLK	NH ₃	"	"	
NFIK	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXK	NO _x	"	"	som NO ₂

SFLR	SO ₂	Rådhuset	"	
SFIR	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLR	NH ₃	"	"	
NFIR	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃

BILAG 11

STATISTIKK PÅ MÅLEDATA KLYVE/KLYVEÅSEN 12.7. - 31.8.1973

32 observasjoner.

	SFIY	SFLY	NFLY	NFIY	NOXY	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK
Middelverdi	3.82	6.18	8.95	3.74	23.06	2.75	3.65	8.12	4.47	22.16
Standard- avvik	3.02	3.50	4.23	2.58	17.43	1.38	3.62	2.43	3.21	12.13

KORRELASJONSMATRISE

SFIY	1.00									
SFLY (.21)		1.00								
NFLY (.06) (.21)			1.00							
NFIY .65 .45 (.26)				1.00						
NOXY (.38) .46 .53 .71					1.00					
SFLK (.25) .53 .45 (.34) .46						1.00				
SFIK .77 .53 .09 .88 .56 (.31)							1.00			
NFLK (.24) .59 (.29) .59 .62 (.21) .60								1.00		
NFIK .63 (.30) (.24) .92 .59 (.25) .82 .47									1.00	
NOXK (.43) (.41) .47 .64 .93 (.39) .57 .52 .55										1.00
SFIY	SFLY	NFLY	NFIY	NOXY	SFLK	SFIK	NFLK	NFIK	NOXK	

SFIY	SO ₄ ⁻⁻	Klyveåsen	µg/m ³	som SO ₂
SFLY	SO ₂	"	"	
NFLY	NH ₃	"	"	
NFIY	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXY	NO _x	"	"	som NO ₂
SFLK	SO ₂	Klyve	"	
SFIK	SO ₄ ⁻⁻	"	"	som SO ₂
NFLK	NH ₃	"	"	
NFIK	NH ₄ ⁺	"	"	som NH ₃
NOXK	NO _x	"	"	som NO ₂

BILAG 12

REGRESJONSLIKNINGER FOR ESTIMERING AV SULFATKONSENTRASJONER
PÅ DAGER DA MÅLINGER MANGLER (Benevning for konsentrasjoner:
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For SO_4^{--} : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som SO_2 , for NH_4^+ : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NH_3)

Ås_1972 (172 observasjoner)

$$\text{SFIA} = 0.249 \text{ NOXA} + 0.357 \quad r = 0.750$$

Ås_1973 (123 observasjoner)

$$\text{SFIA} = 0.166 \text{ NOXA} + 2.10 \quad r = 0.728$$

Klyve_1972 (210 observasjoner)

$$\text{SFIK} = 0.082 \text{ NOXK} + 0.313 \text{ SFLK} + 0.540 \quad r = 0.764$$

Klyve_1973 (129 observasjoner)

$$\text{SFIK} = 0.101 \text{ NOXK} + 1.02 \quad r = 0.572$$

Rådhuset_1972 (162 observasjoner)

$$\text{SFIR} = 0.057 \text{ NOXK} + 0.105 \text{ SFLR} + 3.45 \quad r = 0.558$$

Rådhuset_1973 (114 observasjoner)

$$\text{SFIR} = 0.065 \text{ NOXK} + 0.142 \text{ NFLK} + 1.70 \quad r = 0.509$$

Løvsjø_1972 (47 observasjoner)

$$\text{SFIL} = 0.104 \text{ NOXA} + 0.335 \text{ SFLR} - 0.605 \quad r = 0.776$$

Stathelle_1972 (36 observasjoner)

$$\text{SFIS} = 0.077 \text{ NOXA} - 0.174 \text{ NFLA} + 6.89 \quad r = 0.705$$

Klyveåsen_1973 (51 observasjoner)

$$\text{SFIY} = 0.089 \text{ NOXY} + 2.22 \quad r = 0.535$$

BILAG 13

MÅLINGER AV SULFAT I NEDRE TELEMAR 1972-73

Målested og perioder	Måledata	Måledata og estimerte data	Periode-lengde (dager) PL	Antall døgn-verdier AD	Middel-verdi	Standard-avvik	Antall døgn-verdier større enn $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ AS	$\frac{AS}{PL} \cdot 100$	$\frac{AS}{AD} \cdot 100$
					$\mu\text{g SO}_4$ pr m^3				
Ås 1972	x		366	214	19.8	24.5	103	28.1	48.1
		x		332	15.2	21.0	112	30.6	33.7
Klyve 1972	x		366	263	8.1	7.6	47	12.8	17.9
		x		339	8.1	6.9	61	16.7	18.0
Rådhuset 1972	x		366	191	10.3	6.7	64	17.5	33.5
		x		325	10.0	5.4	79	21.6	24.3
Løvsjø 1.1 - 30.6.1972	x		182	60	24.0	20.4	39	21.4	65.0
		x		163	16.1	15.5	78	42.9	47.9
Stathelle 1.1 - 13.7.1972	x		195	41	16.8	10.0	27	13.8	65.9
		x		180	12.9	5.9	66	33.8	36.7
Kåsa 6.10 - 31.12.1972	x		87	80	14.7	19.2	30	34.5	37.5
Ås 1973	x		365	217	17.1	18.2	97	26.6	44.7
		x		312	13.9	15.9	102	27.9	32.7
Klyve 1.1 - 31.8.1973	x		212	145	6.4	5.6	13	6.1	9.0
		x		208	5.9	4.9	14	6.6	6.7
Rådhuset 1973	x		365	172	7.2	5.2	19	5.2	11.0
		x		250	6.7	4.5	19	5.2	7.6
Klyveåsen 12.7 - 31.12.1973	x		173	63	6.6	4.8	7	4.0	11.1
		x		164	6.0	3.3	10	5.8	6.1

BILAG 14

STATISTIKK PÅ METEOROLOGISKE DATA (DØGNVERDIER) 1.9 - 31.12.1973

86 observasjoner.

	RHTO	FFHE	FFLA	T13L	T01L	T13K	T01K	TNLA	DT13	DT01
Middelverdi	76.59	3.41	4.24	3.71	1.41	5.48	1.35	16.26	-1.77	.06
Standard- avvik	12.84	1.23	1.21	7.23	5.80	7.64	6.76	7.37	2.30	2.77

KORRELASJONSMATRISE

RHTO	1.00									
FFHE	(-.26)	1.00								
FFLA	(-.27)	.70	1.00							
T13L	-.49	(.09)	(-.05)	1.00						
T01L	(-.27)	(.07)	(-.01)	.87	1.00					
T13K	-.54	(.20)	(.04)	.95	.84	1.00				
T01K	(-.21)	.29	(.13)	.78	.91	.79	1.00			
TNLA	-.33	(.24)	(.13)	-.28	-.46	(-.23)	-.48	1.00		
DT13	(.25)	-.38	-.29	(-.03)	(-.06)	-.33	(-.15)	(-.12)	1.00	
DT01	(-.06)	-.54	-.32	(-.10)	(-.14)	(-.17)	-.53	(.21)	(.25)	1.00
	RHTO	FFHE	FFLA	T13L	T01L	T13K	T01K	TNLA	DT13	DT01

RHTO	Relativ fuktighet Torsberg (%)
FFHE	Vindstyrke Herøya (m/s)
FFLA	Vindstyrke Lakollen (m/s)
T13L	Temperatur kl 13 Lakollen (°C)
T01L	Temperatur kl 01 Lakollen (°C)
T13K	Temperatur kl 13 Knardalstrand (°C)
T01K	Temperatur kl 01 Knardalstrand (°C)
TNLA	Antall timer med vindretning 240° - 60° på Lakollen (timer)
DT13	T13L - T13K (°C)
DT01	T01L - T01K (°C)

BILAG 15a

KORRELASJONSKOEFFISIENTER FORURENSNINGSDATA/METEOROLOGISKE DATA
1.9 - 31.12.1973

	Stoff	Antall obs.	Rel. fukt. Torsberg RH _{T0}	Vindst. Herøya FFHE	Vindst. Lakollen FFLA	Temp. kl 13 Knar T13K	Temp. kl 01 Knar T01K	Timer ned Lakollen TNLA	Temp. diff. kl 13 DT13	Temp. diff. kl 01 DT01
Ås	SO ₂	78	(.12)	(.02)	(-.05)	(-.13)	(-.04)	(.10)	(-.04)	(-.22)
	SO ₄ ⁻⁻	61	(.30)	-.43	(-.28)	-.61	-.55	(-.24)	.48	.53
	NH ₃	78	(.20)	(-.28)	(-.05)	(-.23)	(-.20)	(-.08)	.35	.36
	NH ₄ ⁺	61	(.27)	-.38	(-.23)	-.53	-.50	(.23)	.43	.48
	NO _x	79	(.19)	-.36	(-.07)	-.55	-.63	(-.26)	.42	.46
Klyveåsen	SO ₂	77	(.26)	-.32	(-.28)	(-.20)	(-.21)	(.08)	.29	(.24)
	SO ₄ ⁻⁻	18	(.55)	(-.24)	(-.27)	(-.12)	(-.08)	(.37)	(-.27)	(.08)
	NH ₃	76	(.22)	(-.15)	(-.00)	(-.15)	(-.07)	(-.20)	(-.11)	(-.19)
	NH ₄ ⁺	18	(.48)	(-.23)	(-.19)	(-.16)	(-.14)	(-.32)	(-.16)	(.21)
	NO _x	77	.42	-.53	-.35	-.35	-.32	(-.17)	.44	.30
Rådhuset	SO ₂	77	.23	(-.26)	(-.02)	-.67	-.61	.30	.35	.30
	SO ₄ ⁻⁻	27	.56	(-.25)	(-.24)	(.00)	(.21)	(-.46)	(.03)	(-.16)
	NH ₃	74	(-.02)	(-.12)	(-.07)	(.08)	(.15)	(-.08)	(-.12)	(-.01)
	NH ₄ ⁺	27	.49	(-.35)	(-.36)	(-.07)	(-.12)	(.36)	(-.05)	(-.15)

Korrelasjonskoeffisienter som ikke er signifikant forskjellig fra null på 1% nivå, er satt i parentes, jfr. bilag 1.

BILAG 15b

KORRELASJONSKOEFFISIENTER FORURENSNINGSDATA/METEOROLOGISKE DATA
1.9 - 31.12.1973

	Stoff	Antall obs.	Rel. fukt. Torsberg RHTO	Vindst. Herøya FFHE	Vindst. Lakollen FFLA	Temp. kl 13 Knar T13K	Temp. kl 01 Knar T01K	Timer ned Lakollen TNLA	Temp. diff. kl 13 DT13	Temp. diff. kl 01 DT01
Ås	SO ₂	78								
	SO ₄ ⁻⁻	61		-.43		-.61	-.55		.48	.53
	NH ₃	78							.35	.36
	NH ₄ ⁺	61		-.38		-.53	-.50		.43	.48
	NO _x	79		-.36		-.55	-.63		.42	.46
Klyveåsen	SO ₂	77		-.32					.29	
	SO ₄ ⁻⁻	18								
	NH ₃	76								
	NH ₄ ⁺	18								
	NO _x	77	.42	-.53	-.35	-.35	-.32		.44	.30
Rådhuset	SO ₂	77	.23			-.67	-.61	.30	.35	.30
	SO ₄ ⁻⁻	27	.56							
	NH ₃	74								
	NH ₄ ⁺	27	.49							

Korrelasjonskoeffisienter som ikke er signifikant forskjellig fra null på 1% nivå, er ikke tatt med, jfr. bilag 1.

BILAG 16

REGRESJONSLIKNINGER MED TILHØRENDE KORRELASJONSKOEFFISIENTER
FOR DØGNKONSENTRASJONER OG TO METEOROLOGISKE VARIABLE.

<u>Ås</u>	r	N
SFLA = -0.08 T01K - 0.32 DT01 + 5.0	0.29	79
SFIA = -1.33 T13K + 1.88 DT01 + 19.8	0.69	61
NFLA = 1.67 DT13 + 0.99 DT01 + 13.5	0.44	78
NFIA = -0.87 T13K + 1.34 DT01 + 13.3	0.62	61
NOXA = -3.13 T01K + 8.24 DT13 + 52.8	0.73	79
 <u>Klyveåsen</u>		
SFLY = 0.07 RHTO - 1.00 FFHE + 5.4	0.37	77
SFIY = 0.24 RHTO - 3.09 FFHE - 6.0	0.73	18
NFLY = -2.08 FFHE - 1.02 DT01 + 21.4	0.36	76
NFIY = 0.12 FHTO - 1.58 FFHE - 1.9	0.65	18
NOXY = 0.32 RHTO - 4.53 FFHE + 9.9	0.61	77
 <u>Rådhuset</u>		
SFLR = -1.34 T13K + 1.35 DT01 + 26.9	0.71	77
SFIR = 0.21 RHTO + 0.11 T01K - 11.0	0.59	27
NFLR = -0.74 FFHE + 0.15 T01K + 10.0	(0.22)	74
NFIR = 0.08 RHTO - 0.41 FFLA - 0.7	0.54	27

BILAG 17

UTSLIPPSDATA FOR PUNKTKILDENE

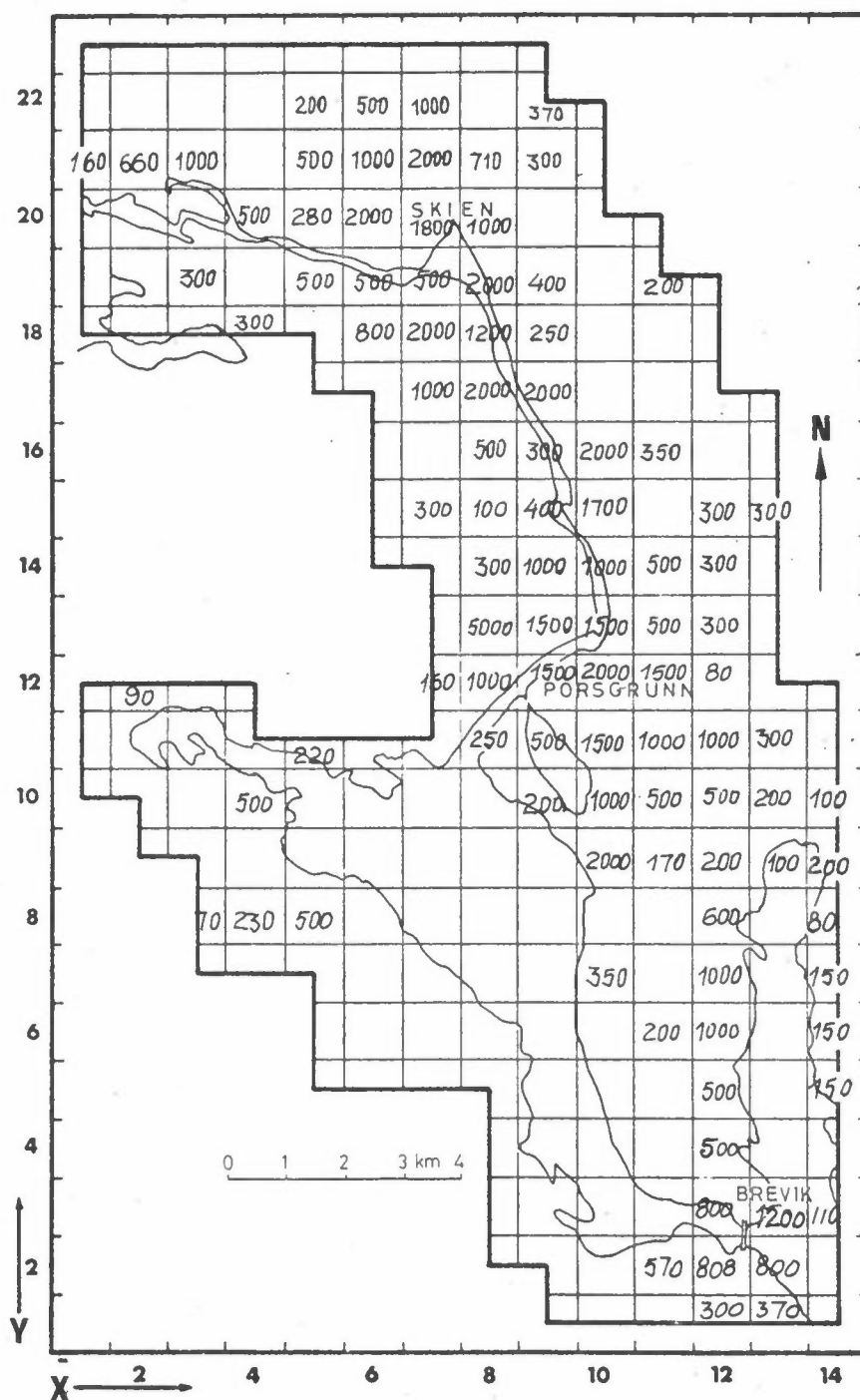
Fabrikk		Koordinater (x,y)	Pipe- høyde (m)	Pipe- diameter (m)	Temp- eratur °C	Gass- hastighet m/s	SO ₂ kg/h	NO ₂ kg/h
NORCEM, DALEN	Ovn 3	12.1, 3.8	50	4.0	133	3.5	54	25
	" 4	"	50	4.0	188	2.3	36	16
	" 5	"	50	4.0	150	3.5	53	25
	" 6	"	50	4.0	177	6.5	98	46
BAMBLE CELLULOSE	Mesaovn	4.1, 8.3	20	0.6	135	18.0	9	6
	Sodahus	"	36	1.6	145	5.3	10	6
	Steam- blokk	5.0, 8.6	15	0.6	150	15.0	13	7
ELKEM,PEA		8.2, 11.2	35	0.4			42	
BORGESTAD		9.4, 15.0	30	0.6	130	5.8	10	2
UNION	Skot- foss	2.7, 20.2	42	1.5	100	6.4	72	15
	Skien, Fyrhus	7.5, 19.1	48.5	2.2	80	4.0	86	18
	Skien, Syretårn	7.4, 19.5	40	0.25	20	3.6	19	
NORSK HYDRO, PORSGRUNN FABRIKKER	1B	8.6, 9.9	42	1.7	150	8.6	58	26
	1C	"	55	1.0	350	12.0	19	9
	3	8.9, 10.0	35	1.4	210	12.7	16	12
	4	8.7, 10.1	32	1.2	120	7.1	2	9
	5	8.5, 10.3	35	2.0	200	11.0	12	22
	6	"	60	1.2	50	13.0	10	7
	7	8.5, 10.6	80	3.2	70	3.0	12	
	2 NI	8.4, 10.8	50	1.2	20	14.0	142	
	10 NII	8.3, 10.9	80	2.5	200	24.0	300 ¹	68
	Nitrose	8.5, 10.0	100	3.0	20	14.0		1193 ²
	Full- gjødse	"	59	0.9	12	17.0		32
"	"	83	1.3	12	15.0		32	

1) Denne kilden hadde ikke SO₂-utslipp i 1974.

2) Basert på 9 tonn N pr døgn. Utslippet er redusert siden 1973.

BILAG 18

INNBYGGERTALLET INNEN HVER KM² I OMRÅDET (1970)



BILAG 19

ESTIMERING AV UTSLIPP FRA BYOMRÅDER AVHENGIG AV TEMPERATUR
OG TID PÅ DØGNET

På grunnlag av oppgitt årlig utslipp skjer denne beregningen i to trinn:

1. Beregning av midlere utslipp i et aktuelt døgn.
2. Beregning av utslipp i en aktuell time på døgnet.

1. En antar at fyring kun er nødvendig når døgnets middeltemperatur er mindre enn en terskelverdi, som her er satt til 18°C. Et døgns graddagstall G er lik differansen mellom denne terskelverdien og døgnets middeltemperatur t, dersom $t < 18^{\circ}\text{C}$:

$$G = \begin{cases} 18 - t & \text{for } t \leq 18 \\ 0 & \text{for } t > 18 \end{cases}$$

En beregner så summen ΣG av alle døgns graddagstall over hele året.

En antar videre at bare en viss fraksjon α av utslippet er direkte avhengig av temperaturen. Resten av utslippet kommer fra andre aktiviteter som varierer over døgnet, men som er uavhengig av utetemperaturen.

Dersom midlere utslipp er lik Q tonn/år, blir utslippet Q_d i et døgn med middeltemperatur t:

$$Q_d = Q \left[\alpha \frac{G}{\Sigma G} + (1-\alpha)/365 \right] \quad \text{tonn/døgn}$$

I eksemplene vist i denne rapporten har en brukt:

$\Sigma G = 3200$ beregnet for 1971.

$$\alpha = \begin{cases} 0.7 & \text{for husoppvarming} \\ 0.0 & \text{for trafikk} \end{cases}$$

2. Midlere utslipp i et døgn multipliseres med en faktor f_i som knytter seg til aktiviteten i den aktuelle time på døgnet. En må ha at

$$\sum_{i=1}^{24} f_i = 24$$

Utslipet Q_t i en aktuell time i blir da:

$$Q_t = Q_d \frac{1000}{24} f_i \quad (\text{kg/h})$$

I denne rapporten er det brukt verdier for f_i oppgitt i tabellen nedenfor. Disse er hentet fra (23), men er noe forenklet.

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Husoppvarming	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.7
Trafikk	0.1	0	0	0.1	0.2	1.1	1.2	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.6	1.9	2.3	1.5	1.4	1.1	1.0	0.7	0.7	0.5	0.2

Dersom en beregner sesongmiddelverdier basert på frekvensfordeling av vind og stabilitet, settes alle $f_i = 1.0$. Graddagstallet G beregnes da ut fra middeltemperaturen for perioden.

VIND/STABILITETSFORDELING SOMMER 1972

FREKVENSFORDELING (%)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Sum
	1	2	3	4	
30	1.5	.8	3.9	1.7	7.8
60	.8	1.2	2.9	1.1	6.0
90	.6	.8	2.6	.9	4.9
120	6.8	4.4	10.6	4.7	26.5
150	2.2	1.8	2.6	.6	7.1
180	1.2	.9	2.8	.6	5.6
210	2.6	1.7	2.9	.9	8.1
240	.9	.6	1.8	.8	4.2
270	.4	.7	.6	.8	2.6
300	5.1	2.4	6.8	3.3	17.6
330	1.0	1.0	3.0	1.6	6.6
360	.3	.5	1.5	.7	3.0
Total	23.4	16.9	42.0	17.7	100.0

MIDDELVINDSTYRKE (m/s)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Middel
	1	2	3	4	
30	4.3	4.7	4.1	3.6	4.1
60	3.7	4.2	3.5	2.9	3.6
90	3.9	3.7	3.3	2.8	3.3
120	4.7	4.7	4.1	3.8	4.3
150	3.8	3.9	3.9	3.1	3.8
180	3.2	5.1	4.7	5.1	4.5
210	3.2	3.5	3.7	4.1	3.5
240	3.6	2.7	3.2	3.2	3.2
270	2.8	3.4	2.3	2.5	2.8
300	3.8	3.9	3.7	3.5	3.7
330	3.9	3.9	4.1	3.0	3.8
360	4.3	4.9	4.1	2.5	3.9
Middel	4.0	4.2	3.9	3.4	3.9

MIDDELTEMPERATUR: 15.4°C (Torsberg)

Datagrunnlag : Vind : Lakollen
 Stabilitet: Lakollen - Torsberg

BILAG 21

VIND/STABILITETSFORDELING VINTER 1972-73

FREKVENSFORDELING (%)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Sum
	1	2	3	4	
30	.0	.2	.5	.0	.7
60	.0	.0	.3	.0	.3
90	.0	.0	.8	.0	.8
120	.0	.8	2.6	.3	3.8
150	.2	4.7	1.3	.0	6.2
180	.2	2.8	1.3	.3	4.6
210	1.0	15.8	3.6	2.6	23.0
240	.2	1.8	3.6	3.8	9.3
270	.3	2.4	2.9	.8	6.5
300	.7	16.3	12.7	8.0	37.7
330	.2	4.2	2.0	.2	6.5
360	.0	.7	.0	.0	.7
Total	2.6	49.8	31.6	16.0	100.0

MIDDELVINDSTYRKE (m/s)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Middel
	1	2	3	4	
30	-	1.0	2.3	-	2.2
60	-	-	2.5	-	2.5
90	-	-	1.9	-	1.9
120	-	5.2	3.5	5.5	4.0
150	5.7	7.3	4.3	-	6.6
180	3.7	5.8	3.2	4.6	4.9
210	6.9	5.3	2.5	4.3	4.8
240	6.2	4.8	3.4	3.6	3.8
270	4.1	4.2	2.8	3.2	3.4
300	3.9	4.2	3.5	4.2	4.0
330	4.4	3.2	2.7	.7	3.0
360	-	1.7	-	-	1.7
Middel	5.3	4.9	3.2	4.0	4.2

MIDDELTEMPERATUR: 1.1°C (Knardalstrand)

Datagrunnlag : Vind : Lakollen
 Stabilitet: Lakollen - Knardalstrand

VIND/STABILITETSFORDELING HØST 1973

FREKVENSFORDELING (%)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Sum
	1	2	3	4	
30	2.1	7.1	1.9	.3	11.4
60	1.0	2.9	1.2	.5	5.6
90	.5	1.5	.3	.3	2.6
120	2.3	3.1	.9	.1	6.4
150	1.4	1.3	.8	.2	3.7
180	1.2	1.3	1.5	.3	4.3
210	3.8	2.8	2.4	1.5	10.5
240	1.4	1.7	1.9	1.1	6.2
270	2.4	1.7	1.7	1.3	7.1
300	9.6	7.8	10.6	8.5	36.4
330	1.2	.6	.9	1.9	4.6
360	.0	.5	.2	.4	1.1
Total	26.9	32.4	24.4	16.4	100.0

MIDDELVINDSTYRKE (m/s)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Middel
	1	2	3	4	
30	5.4	5.2	3.8	2.5	4.9
60	3.6	4.3	3.2	3.1	3.8
90	3.8	3.9	1.8	2.6	3.5
120	5.2	5.1	2.1	2.4	4.6
150	3.8	3.3	2.6	2.3	3.3
180	4.4	3.3	3.2	2.5	3.5
210	4.0	3.5	3.3	3.7	3.7
240	4.7	3.5	3.6	2.9	3.7
270	4.9	3.7	3.4	2.9	3.9
300	5.0	4.0	4.1	4.3	4.3
330	3.8	2.8	3.6	4.0	3.7
360	1.3	1.7	1.5	3.4	2.2
Middel	4.7	4.2	3.6	3.8	4.1

MIDDELTEMPERATUR: 5.1°C (Knardalstrand)

Datagrunnlag : Vind : Lakollen
 Stabilitet: Lakollen - Knardalstrand

BILAG 23

VIND/STABILITETSFORDELING VED HERØYA "MODELLÅR"

FREKVENSFORDELING (%)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Sum
	1	2	3	4	
30	0.3	4.1	3.6	2.0	10.0
60	0.2	3.4	2.4	1.0	6.1
90	0.3	2.0	1.3	0.4	4.0
120	0.2	3.6	1.9	0.3	6.0
150	0.3	7.0	5.0	0.7	13.0
180	0.1	1.8	0.9	0.2	3.0
210	0.2	3.6	1.8	0.4	6.0
240	0.3	3.0	2.5	0.2	6.0
270	0.3	1.5	1.8	0.2	3.8
300	1.1	5.0	2.3	0.6	9.0
330	0.8	9.5	7.0	3.7	21.0
360	0.3	5.0	4.0	2.7	12.0
Total	4.4	49.5	34.5	12.4	100.0

MIDDELVINDSTYRKE (m/s)

Vindretning	Stabilitetsklasser				Sum
	1	2	3	4	
30	5.1	5.0	3.7	2.8	4.1
60	3.0	3.4	2.7	1.6	3.3
90	4.2	3.3	2.6	1.6	3.0
120	2.9	3.1	2.8	2.3	3.0
150	3.6	3.4	3.4	2.5	3.5
180	2.6	3.6	3.1	2.4	3.3
210	4.0	3.9	3.1	1.9	3.5
240	5.0	4.2	3.1	2.7	3.7
270	5.0	4.4	3.0	1.9	3.7
300	4.1	4.6	3.5	2.3	4.1
330	6.1	5.4	4.0	3.4	4.6
360	5.1	4.7	2.8	2.3	4.1
Middel	4.6	5.0	3.3	2.7	4.3

MIDDELTEMPERATUR: 7°C

Datagrunnlag : Vindstatistikk og røykspredningsfoto.

BILAG 24

METEOROLOGISKE DATA 10. - 11. SEPTEMBER 1973

Obser- vasjons- nummer	Tid kl.	Lakollen		Lakollen temperatur °C	Knardalstrand temperatur °C	Stabilitet
		Vindhastighet m/s	Vindretning grader			
1	08	4.0	315.0	8.0	5.0	Stabilt
2	09	3.2	315.0	10.0	7.0	Stabilt
3	10	2.8	315.0	10.5	10.0	Lett stabilt
4	11	2.8	315.0	11.0	11.0	Nøytralt
5	12	2.9	315.0	14.0	12.0	Lett stabilt
6	13	3.3	315.0	14.0	15.0	Nøytralt
7	14	3.7	315.0	14.0	15.0	Nøytralt
8	15	3.6	315.0	15.0	15.0	Nøytralt
9	16	3.0	315.0	14.0	15.0	Nøytralt
10	17	4.7	315.0	13.0	15.0	Nøytralt
11	18	5.5	315.0	13.0	12.5	Lett stabilt
12	19	6.5	315.0	10.0	11.0	Nøytralt
13	20	6.6	315.0	9.0	10.0	Nøytralt
14	21	6.0	315.0	9.0	8.5	Lett stabilt
15	22	4.5	315.0	8.0	8.0	Nøytralt
16	23	6.2	315.0	7.5	6.0	Lett stabilt
17	24	4.5	315.0	7.0	5.0	Lett stabilt
18	01	4.7	337.5	6.5	5.0	Lett stabilt
19	02	4.8	337.5	6.5	4.0	Stabilt
20	03	5.2	337.5	6.5	3.0	Stabilt
21	04	4.0	337.5	6.0	2.5	Stabilt
22	05	3.6	337.5	6.0	1.5	Stabilt
23	06	2.9	337.5	5.5	2.5	Stabilt
24	07	2.7	337.5	5.5	4.0	Lett stabilt

BILAG 25

METEOROLOGISKE DATA 26. - 27. NOVEMBER 1973

Observasjonsnummer	Tid kl.	Lakollen		Lakollen temperatur °C	Knardalstrand temperatur °C	Stabilitet
		Vindhastighet m/s	Vindretning grader			
1	08	4.8	292.5	-8.5	-12.0	Stabilt
2	09	5.3	292.5	-8.5	-12.0	Stabilt
3	10	5.2	292.5	-7.5	-10.0	Stabilt
4	11	3.6	292.5	-6.5	-9.0	Stabilt
5	12	3.4	292.5	-6.0	-7.0	Lett stabilt
6	13	4.0	292.5	-6.0	-7.0	Lett stabilt
7	14	4.3	292.5	-6.0	-7.0	Lett stabilt
8	15	3.2	292.5	-6.0	-7.0	Lett stabilt
9	16	2.5	315.0	-6.0	-8.0	Lett stabilt
10	17	3.9	315.0	-6.0	-8.0	Lett stabilt
11	18	3.0	315.0	-6.5	-8.0	Lett stabilt
12	19	4.4	315.0	-6.5	-7.0	Lett stabilt
13	20	4.5	315.0	-7.0	-7.0	Nøytralt
14	21	5.6	315.0	-7.0	-9.0	Lett stabilt
15	22	6.6	315.0	-7.0	-9.0	Lett stabilt
16	23	6.3	315.0	-7.0	-9.0	Lett stabilt
17	24	6.7	315.0	-7.0	-9.0	Lett stabilt
18	01	7.0	315.0	-7.0	-9.0	Lett stabilt
19	02	6.7	315.0	-6.0	-7.0	Lett stabilt
20	03	5.5	315.0	-6.0	-5.0	Nøytralt
21	04	5.5	315.0	-5.5	-4.0	Nøytralt
22	05	7.7	315.0	-5.0	-3.0	Nøytralt
23	06	6.0	315.0	-5.0	-2.0	Ustabilt
24	07	5.5	315.0	-5.0	-2.0	Ustabilt