

NILU OR: 5/89

NILU OR : 5/89  
REFERANSE: O-8847  
DATO : JANUAR 1989  
ISBN : 82-425-0005-3

SO<sub>2</sub>-UTSLIPP  
I ULIKE NORSKE LANDSDELER  
OG DERES BETYDNING FOR  
FORSURING I NORGE

Ø. Hov

## SAMMENDRAG

Det er etablert en modell for beregning av sannsynligheten for at utslipp fra ruter i Norge innenfor EMEP-rutenettet skal avsettes i utvalgte resipientområder. Beregningene omfatter tørr- og våtavsetning av svovel, og som resipientområder er valgt Øst-Finnmark og Aust-Agder.

Modellen er anvendt for 1987 med meteorologiske data for vind, blandingshøyde, nedbør og avsetningshastighet for  $\text{SO}_2$  levert fra EMEP-gruppen ved Det norske meteorologiske institutt. Det er brukt  $\text{SO}_2$ -utslippstall for 1985.

Modellberegningene viser at bare 1-2% av totalavsetningen av svovel i Øst-Finnmark-ruta og Aust-Agder-ruta stammer fra norske utslipp. I Øst-Finnmark-ruta er tørr- og våtavsetningen totalt sammenlignbare, mens i Aust-Agder-ruta dominerer våtavsetningen.

Av norske utslipp bidro Sulitjelma (som nå er borte) mest til svovelavsetningen i Øst-Finnmark-ruta, dernest bidro området øst for Øst-Finnmark-ruta, mens for Birkenes-ruta er Birkenes-ruta selv og Oslo-området viktigst for den norske delen av avsetningen.

## INNHOLD

	Side
SAMMENDRAG .....	1
1 INNLEDNING .....	3
2 MODELLBESKRIVELSE .....	4
3 RESULTATER .....	9
4 ETTERORD .....	12
5 REFERANSER .....	13
VEDLEGG .....	28

## SO<sub>2</sub>-UTSLIPP I ULIKE NORSKE LANDSDELER OG DERES BETYDNING FOR FORSURING I NORGE

### 1 INNLEDNING

NILU har hatt i oppdrag fra SFT å vurdere den relative betydning av SO<sub>2</sub>-utslipp i ulike norske landsdeler for avsetningen i to spesielt følsomme områder (Sørlandet og Finnmark). Oppgaven har vært å etablere en modell for beregning av sannsynligheten for at utslipp fra enhver rute i Norge innenfor OECDs anbefalte 50x50 km<sup>2</sup> rutenett skal avsettes i utvalgte resipientområder. Beregningene har omfattet tørr- og våtavsetning av svovel.

Oppgaven er løst ved å ta utgangspunkt i EMEP-rutenettet med 150x150 km<sup>2</sup>-ruter ved 60°N, se figur 1. Videre er benyttet SO<sub>2</sub>-utslippsdata for 1985 som rapportert til EMEP gjennom ECE (Eliassen et al., 1988). Meteorologiske data for EMEP-rutenettet er benyttet, med 1987 som basisår. Siden de meteorologiske data ikke har bedre oppløsning enn 150x150 km<sup>2</sup>, har det ikke vært ansett berettiget å beregne avsetning for ruter med en større detaljeringsgrad enn det EMEP-rutene har. Resultatene for våt- og tørravsetning av svovel for bestemte EMEP-ruter i Norge til de to valgte reseptorområdene på Sørlandet og i Finnmark, kan lett transformeres og gi et tilnærmet bilde av avsetningen fra 50x50 km<sup>2</sup> ruter.

Oppgaven å beregne avsetningen til to spesielt følsomme reseptorområder på Sørlandet og i Finnmark, er gjennomført i praksis ved å beregne avsetningen i rutene med midtpunkt gitt ved EMEP-koordinatene (15,5, 30,7), dvs. Øst-Finnmark, og (17,5, 19,7), dvs. Aust-Agder. Avsetningsberegningene er representative for et område av størrelse 150x150 km<sup>2</sup> omkring disse punktene. Videre er beregningene gjort for 1987, og resultatene for et annet års meteorologi kan adskille seg fra 1987-resultatene i betydelig grad (flere 10-talls prosent), selv om utslippene holdes uendret.

Beregningene er gjennomført med meteorologiske data fra Det norske meteorologiske institutt, data som i rutine arkiveres i forbindelse med værprognoseberegningene for bruk i EMEP.

## 2 MODELLBESKRIVELSE

For hver 6. time er vindfeltet i 925 mb-flaten benyttet for å beregne 96 h lange trajektorier til de to reseptorpunktene i Øst-Finnmark og Aust-Agder (baklengstrajektorier). Trajektoriene er allokert til sektorer (se figur 2) etter det kriterium som er vanlig i EMEP-sammenheng: Hvis mer enn 50% av koordinatene (koordinat-punkter hver annen time) mellom 150 og 1 500 km fra reseptorpunktet ligger innenfor en bestemt sektor, allokeres trajektorien til denne sektor, ellers allokeres trajektorien til ubestemt sektor (9).

Deretter ble midlere vindhastighet, nedbørintensitet, blandingshøyde og avsetningshastighet for  $\text{SO}_2$  beregnet for hver sektor og for hver 6. time, der midlingsområdet ble definert som den delen av hver sektor som lå mindre enn 1 500 km fra reseptorpunktet.

Transportsektor, midlere vindhastighet, nedbørintensitet, blandingshøyde og avsetningshastighet for  $\text{SO}_2$  for hver 6. time for transportsektoren til hvert reseptorområde, er vist i figur 3. Videre er vist nedbørintensiteten i reseptorpunktet. Avsetningshastigheten er beregnet etter en metode beskrevet av Hov et al. (1988) og Eliassen et al. (1988) der similaritetsteori er brukt for å beregne avsetningshastigheten i 50 m høyde ut fra data for varmeflukt og friksjonshastighet.

Avsetningen i reseptorområdene er beregnet ved å summere bidragene fra hver rute i den aktuelle transportsektor med transportavstand mindre enn 4 d (96 h). Transportavstanden er beregnet ved å bruke middelvinden for sektoren 48 h før det aktuelle ankomsttidspunkt. Alle ruter som har sentrum innenfor sektorgrensene, allokeres til vedkommende sektor.

Hver rute kan bestå av bidrag fra inntil 4 land, og det holdes rede på bidragene til avsetningen fra hvert enkelt land (tilsammen 29) og fra de 30 ruter som til sammen dekker Norge. I tabell 1 og 2 er spesifisert landenes nummerering samt rutene som til sammen dekker Norge.

Tabell 1: Nasjonale SO<sub>2</sub>-utslipp som spesifisert av Eliassen et al. (1988). Utslippene for 1985 er brukt i denne rapporten.

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1990
Albania AL		[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	
Austria AT	<u>187</u>	(182)	<u>177</u>	(155)	(134)	<u>112</u>	<u>91</u>	<u>85</u>	(80)	(75)	<u>60</u>
Belgium BE		(400)	<u>400</u>	(359)	(317)	(276)	<u>234</u>	(234)	(241)	(244)	<u>253</u>
Bulgaria BG		(517)	<u>517</u>	(517)	(570)	<u>570</u>	(570)	(570)	(570)	(570)	
Czechoslovakia CS		(1550)	<u>1550</u>	(1550)	(1575)	(1575)	(1575)	<u>1575</u>	<u>1511</u>	<u>1450</u>	<u>1375</u>
Denmark DK		(219)	<u>219</u>	(208)	(197)	(185)	(174)	<u>163</u>	(159)	(155)	<u>143</u>
Finland FI		(292)	<u>292</u>	(255)	(217)	<u>179</u>	<u>180</u>	<u>185</u>	<u>162</u>	<u>162</u>	<u>155</u>
France FR		(1779)	<u>1779</u>	(1549)	(1318)	<u>1088</u>	<u>996</u>	<u>923</u>	(923)	(923)	
German Dem. Rep. DD		(2500)	<u>2500</u>	(2500)	(2500)	(2500)	(2500)	(2500)	<u>2500</u>	(2500)	
Germany Fed. Rep of DE		(1600)	<u>1600</u>	(1525)	<u>1450</u>	<u>1375</u>	<u>1400</u>	<u>1200</u>	<u>1100</u>	(1022)	<u>550</u>
Greece GR	<u>350</u>	(200)	<u>200</u>	(200)	(180)	<u>180</u>	(180)	(180)	(180)	(180)	
Hungary HU		(817)	<u>817</u>	(795)	(774)	(752)	<u>730</u>	<u>710</u>	(710)	(710)	<u>700</u>
Iceland IS		(3)	<u>3</u>	(3)	(3)	(3)	<u>3</u>	<u>3</u>	(3)	(3)	
Ireland IE		(110)	<u>110</u>	(100)	(90)	(80)	<u>70</u>	<u>69</u>	(77)	(84)	<u>107</u>
Italy IT		(1900)	<u>1900</u>	(1792)	(1683)	<u>1575</u>	<u>1328</u>	<u>1252</u>	(1252)	(1252)	
Luxembourg LU		(11)	<u>11</u>	(10)	(8)	<u>6</u>	(6)	<u>7</u>	(7)	(6)	<u>5</u>
Netherlands NL		(244)	<u>244</u>	(215)	(187)	<u>158</u>	(148)	<u>138</u>	<u>138</u>	<u>141</u>	<u>141</u>
Norway NO		(70)	<u>70</u>	(64)	(59)	<u>53</u>	<u>49</u>	<u>50</u>	(50)	(50)	
Poland PL		(2050)	<u>2050</u>	(2050)	(2150)	<u>2150</u>	(2150)	<u>2150</u>	(2210)	(2270)	<u>2450</u>
Portugal PT		(133)	<u>133</u>	(140)	(146)	<u>153</u>	(144)	(134)	(125)	(116)	<u>87</u>
Romania RO		(100)	<u>100</u>	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	
Spain ES		(1625)	<u>1625</u>	<u>1625</u>	<u>1625</u>	1625	(1614)	(1603)	(1592)	(1581)	<u>1527</u> <sup>1</sup>
Sweden SE		(242)	<u>232</u>	(209)	(176)	<u>143</u>	<u>132</u>	<u>135</u>	<u>122</u>	(116)	<u>97</u> <sup>2</sup>
Switzerland CH		(63)	<u>63</u>	(59)	(56)	(52)	<u>48</u>	<u>48</u>	<u>32</u>	(31)	<u>29</u>
Turkey TR		(138)	(138)	(138)	(138)	(138)	<u>138</u>	<u>161</u>	<u>177</u>	(177)	
Soviet Union* SU		(6400)	<u>6400</u>	<u>6300</u>	<u>6100</u>	<u>5900</u>	<u>5700</u>	<u>5550</u>	<u>5450</u>	<u>5100</u>	<u>4800</u>
United Kingdom GB		<u>2600</u>	<u>2335</u>	<u>2150</u>	<u>2000</u>	<u>1850</u>	<u>1770</u>	<u>1780</u>	<u>1870</u>	<u>1840</u>	
Yugoslavia YU		(588)	<u>588</u>	(588)	(588)	(588)	(588)	(588)	(588)	(588)	
Sum		26358	26078	25181	24366	23391	22643	22118	21954	21471	

\* European part of USSR, within EMEP area of calculation.

1) 1992, 2) 1993.

Data that have been officially submitted are underlined. Interpolated data are shown by a paranthesis. Data are estimated by MSC-W/CCC are given in square brackets. The table includes corrections received at the ECE Secretariat up to 1 May 1988, and a few corrections received later. Submitted emission predictions for future years are also shown.

Tabell 2: SO<sub>2</sub>-utslipp i kt(S)/a for 1985 for ruter som dekker Norge, med angivelse av bidragene fra de ulike land (eller hav, som har "land"-nummer 29 og kodebetegnelse RE), hvis det er flere land i ruten.

Nr.	( X, Y)	Land	Utslipp	Land	Utslipp	Land	Utslipp
1	(14,27)	18 NO	1,0	29 RE	1,0*		
2	(14,28)	18 NO	1,0	29 RE	1,0		
3	(14,29)	18 NO	0,0	29 RE	1,0		
4	(14,30)	18 NO	0,0	29 RE	1,0		
5	(15,21)	18 NO	2,0	29 RE	1,0		
6	(15,22)	18 NO	1,0	29 RE	1,0		
7	(15,23)	18 NO	0,0	29 RE	1,0		
8	(15,24)	18 NO	0,0	29 RE	1,0		
9	(15,25)	18 NO	3,0	23 SE	0,0	29 RE	1,0
10	(15,26)	18 NO	6,0	23 SE	0,0		
11	(15,27)	18 NO	0,0	23 SE	0,0		
12	(15,28)	7 FI	0,0	18 NO	0,0	23 SE	2,0
13	(15,29)	7 FI	0,0	18 NO	1,0		
14	(15,30)	7 FI	0,0	18 NO	0,0		
15	(15,31)	18 NO	0,0	29 RE	1,0		
16	(16,20)	18 NO	5,0	29 RE	1,0		
17	(16,21)	18 NO	2,0				
18	(16,22)	18 NO	0,0				
19	(16,23)	18 NO	2,0	23 SE	0,0		
20	(16,24)	18 NO	1,0	23 SE	0,0		
21	(16,25)	18 NO	0,0	23 SE	0,0		
22	(16,30)	7 FI	0,0	18 NO	1,0	26 SU	44,0
23	(17,19)	18 NO	1,0	29 RE	1,0		
24	(17,20)	18 NO	1,0				
25	(17,21)	18 NO	6,0				
26	(17,22)	18 NO	1,0	23 SE	0,0		
27	(17,23)	18 NO	0,0	23 SE	0,0		
28	(18,20)	6 DK	0,0	18 NO	3,0	29 RE	1,0
29	(18,21)	18 NO	10,0	23 SE	1,0	29 RE	1,0
30	(18,22)	18 NO	0,0	23 SE	4,0		

\* Utslippet fra hav er satt til 1 kt(S)/a for den delen av DMS-utslippet som gir sulfat etter kjemisk omvandling.

Kontinuitetsligningene for SO<sub>2</sub> og SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> har samme form som i EMEP-modellen (Eliassen et al., 1988).

$$(1) \quad \frac{D[\text{SO}_2]}{dt} = \frac{Q}{H} (1 - \alpha - \beta) - \left( \frac{v_{d2}}{H} + k_{w2} + k_t \right) [\text{SO}_2]$$

der  $Q$  er emisjonen av SO<sub>2</sub>,  $H$  blandingshøyden,  $v_{d2}$  tørravsetningshastigheten for SO<sub>2</sub>,  $k_{w2}$  våtavsetningen og  $k_t$  transformasjonshastigheten til sulfat.  $\alpha$  er andelen av utslippet av SO<sub>2</sub> som avsettes lokalt (15%) og  $\beta$  er sulfat-andelen av utslippet (5%). I praksis i modellen er

dette formulert slik at for ankomstpunktene (15,5, 30,7) og (17,5, 19,7) antas det at 15% i EMEP-rutene med sentrum (15, 30) og (17, 19), avsettes lokalt.

$$(2) \quad \frac{D[\text{SO}_4^{2-}]}{dt} = k_t [\text{SO}_2] + \frac{\beta Q}{H} - \left( \frac{v_{d4}}{H} + k_{w4} \right) [\text{SO}_4^{2-}]$$

der  $v_{d4}$  er tørravsetningshastigheten for sulfat,  $k_{w4}$  våtavsetningen av sulfat.

Transformasjonshastigheten  $k_t$  er uttrykt som

$$(3) \quad k_t(\tau) = 3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} + 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \sin\left(2\pi \frac{\tau}{T} + \theta\right)$$

der  $T$  er 1 år,  $\theta$  er valgt slik at  $k_t$  har sitt maksimum ved sommersonhverv og  $\tau$  er dagen i året (talt fortløpende fra nyttår).

Våtavsetningen er uttrykt ved

$$(4) \quad k_{w2} = \frac{W_2 P_6}{H}$$

$$(5) \quad k_{w4} = \frac{W_4 P_6}{H}$$

der  $W_2$  og  $W_4$  er utvaskningsforhold for  $\text{SO}_2$  og  $\text{SO}_4$  (henholdsvis  $2 \times 10^5$  og  $7 \times 10^5$ ),  $P_6$  er midlere nedbørintensitet.

Tørravsetningshastigheten for  $\text{SO}_2$  er gitt en årstids- og breddegrads-variasjon som beskrevet av Eliassen et al. (1988). Verdiene vist i figur 3 er representative for  $60^\circ \text{N}$ .  $v_{d4} = 0,1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  hele året.

Avsetningen av  $\text{SO}_2$  og sulfat i ankomststrutene er beregnet ved hjelp av uttrykkene

$$(6) \quad D_{2,d} = \int_{T-3h}^{T+3h} v_{d2} [\text{SO}_2] dt$$

$$(7) \quad D_{2,w} = \int_{T-3h}^{T+3h} W_2 P_{r,6} [\text{SO}_2] dt$$



$$(8) \quad D_{4,d} = \int_{T-3h}^{T+3h} v_{d4} [SO_4^{2-}] dt$$

$$(9) \quad D_{4,W} = \int_{T-3h}^{T+3h} W_4 P_{r,6} [SO_4^{2-}] dt$$

der  $T$  er tiden det tar å flytte en luftpakke fra kilderuta til ankomstruta, og  $P_{r,6}$  er nedbørintensiteten i ankomstruta.  $P_{r,6}$  inngår også i uttrykkene for  $[SO_2]$  og  $[SO_4^{2-}]$  i integralene (6)-(9), mens midlere nedbørintensitet for transportsektoren inngår i løsningen av ligningene (1) og (2). Avsetningen i ankomstruta beregnes ut fra konsentrasjonene i luftpakken de 3 siste timene før og de 3 første timene etter "ankomst" ( $T$ ). Dermed dekkes hele tidsperioden mellom hver "trajektorieankomst".

Løsning av integralene (6)-(9) for en bestemt tidsperiode, f.eks. ett år, gir tørr- og våtavsetningen av  $SO_2$  og sulfat i perioden. I praksis vil beregningen bli ufullstendig fordi i en del av tiden er sektoren ubestemt (9). For 1987 gjaldt dette ca. 10% av tiden for Øst-Finnmark og ca. 15% for Aust-Agder. I tillegg var tilgjengeligheten av meteorologiske data ca. 89% for 1987, slik at avsetningsberegningen dekker ca. 78% av året i Øst-Finnmark og ca. 72% for Aust-Agder.

Emisjoner for 1985 er benyttet i beregningene. De nasjonale utslipp er gitt i tabell 1 (Eliassen et al., 1988), mens ruteutslippene med landspesifikasjon for rutene som dekker Norge, er gitt i tabell 2. Utslippene er gitt en årstidsvariasjon slik at utslippene midt på vinteren er ca. 30% høyere enn årsmidlet, mens sommerutslippene på tilsvarende måte er ca. 30% lavere enn årsmidlet.

Modellberegningene gir som resultat bl.a. tørr- og våtavsetningen av svovel i de to reseptorområder fra hver EMEP-rute i Norge for det meste av 1987. Hvis  $a_1, \dots, a_{30}$  er avsetningen i reseptorområde A fra henholdsvis EMEP-rute  $A_1, \dots, A_{30}$ , og  $e_1, \dots, e_{30}$  er de norske  $SO_2$ -emisjonene i disse rutene, så er

$$\frac{a_1}{e_1}, \dots, \frac{a_{30}}{e_{30}}$$

uttrykk for den relative sannsynligheten for at utslipp i rutene  $A_1, \dots, A_{30}$  skal avsettes i reseptorområde A.

### 3 RESULTATER

Beregningene omfatter bare den delen om avsetningen som lar seg tilbakeføre til SO<sub>2</sub>-utslipp i de foregående 4 døgn før ankomst i reseptorområdet. Den "ubestemte" delen av avsetningen er altså ikke med i disse beregningene.

I tabell 3 er angitt beregnet tørr-, våt- og totalavsetning for 1987 for Øst-Finnmark-ruta og Aust-Agder-ruta. Også vist er EMEP-beregningene for rute (15,30) og (17,19) for 1987 (Saltbones, privat meddelelse). Beregningsresultatene kan ikke sammenlignes direkte fordi reseptorpunktene ikke er helt sammenfallende, (15,5, 30,7) og (17,5, 19,7), sammenlignet med (15,30) og (17,19), og bruken av sektor-midlete verdier tillater ikke beregning utført når sektoren er ubestemt (9), ca. 10% av tiden i Øst-Finnmark og ca. 15% for Aust-Agder i 1987. I tillegg kommer manglende beregning for juli måned i denne rapporten.

Sammenligning av beregningsresultatene viser en ganske god overensstemmelse mellom EMEP-modellen og sektor-fremgangsmåten.

Tabell 3: Tørr-, våt- og totalavsetning av svovel (mg (S)/m<sup>2</sup> a) for 1987 i Øst-Finnmark-ruta og Aust-Agder-ruta. Til sammenligning er også gitt EMEP-resultatet for 1987 og en rekke tidligere år (Saltbones, privat meddelelse). EMEP-resultatene gjelder for rutene (15,30) og (17,19), og den ubestemte andelen av totalavsetningen er utelatt (30-47% av totalen for Aust-Agder, 50-77% av totalen i Øst-Finnmark).

	Øst-Finnmark	Aust-Agder
1987, tørravsetning	89,0	138,2
våtavsetning	94,3	558,7
totalt	183,3	696,9
1987, totalt EMEP (bare bestemte bidrag)	195,0	1 165,0
1986	124,0	950,0
1985	102,0	810,0
1984	132,0	958,0
1983	127,0	671,0
1982	72,0	905,0
1981	98,0	651,0
1980	100,0	766,0
1979	141,0	959,0

Tabell 4 viser at norske utslipp bare bidrar med ca. 1% av totalavsetningen av svovel i Øst-Finnmark-ruta og snaut 2% i Aust-Agder-ruta, de norske utslippene bidrar forholdsvis mer til tørravsetningen enn til våtavsetningen. Det er følgelig svært lite å vinne i redusert svovelavsetning over Øst-Finnmark-ruta eller Aust-Agder-ruta ved å redusere norske SO<sub>2</sub>-utslipp. Det ble nevnt i modellbeskrivelsen at lokalavsetningen av SO<sub>2</sub> på 15% i reseptorpunktene (15,5, 30,7) og (17,5, 19,7) i praksis er formulert slik at det er 15% av utslippene i rutene (15, 30) og (17, 19) som avsettes lokalt. Dette betyr f.eks. at ruta (16, 30) der utslippene er høye, ikke bidrar til lokalavsetningen i Øst-Finnmark-ruta slik modellen og datagrunnlaget er spesifisert.

Tabell 4: Norske utslippsbidrag til svovelavsetningen i Øst-Finnmark-ruta og Aust-Agder-ruta (mg (S)/m<sup>2</sup>) for 1987.

	Øst-Finnmark	Aust-Agder
Avsetning av utenlandske utslipp	181,4	685,5
Avsetning av norske utslipp	1,9	11,4
Total avsetning	183,3	696,9

I figur 4 er vist tørr-, våt- og totalavsetning for hver 6. time når transportsektor var definert, for Øst-Finnmark- og Aust-Agder-ruta, likeledes akkumulert avsetning over året. Episodisiteten, spesielt i våtavsetningen, er fremtredende.

I tabell 5 er vist det prosentvise bidraget fra norske EMEP-ruter til avsetningen av norske utslipp i Øst-Finnmark- og Aust-Agder-ruta. Sammenholdt med figur 1 går det fram av tabell 5 at utslippene i Sulitjelma var det viktigste norske bidraget til S-avsetningen i Øst-Finnmark ut i fra 1985-utslipp (men utgjorde bare 0,2% av totalavsetningen i Øst-Finnmark-ruta), naboruta i øst (16,30) var nest viktigst. For Aust-Ager-ruta var det viktigste bidraget lokalt, mens bidraget fra (18,21), dvs. Oslo-området, og (16,20), Stavanger-området, fulgte deretter.

I tabell 6 er vist sannsynligheten for at et norsk utslipp i en norsk EMEP-rute skal avsettes i Øst-Finnmark-ruta eller Aust-Agder-ruta.

I vedlegget er gjengitt tabeller for tørr- og våtavsetning i Øst-Finnmark og Aust-Agder fordelt på opphavsland og EMEP-ruter i Norge, og tabeller over prosentvis bidrag til totalavsetningen for de ulike land.

Tabell 5: Prosentvis bidrag fra norske EMEP-ruter til avsetningen av norske utslipp i Øst-Finnmark og Aust-Agder.

( X , Y )	Nr .	Øst-Finnmark	Rangering	Aust-Agder	Rangering
(14,27)	1	4,2	8	0,1	15
(14,28)	2	5,8	6	0,1	
(14,29)	3	0,1		0,0	
(14,30)	4	0,1		0,0	
(15,21)	5	1,6	14	1,8	8
(15,22)	6	1,0		0,5	13
(15,23)	7	0,0		0,0	
(15,24)	8	0,0		0,0	
(15,25)	9	6,7	5	0,6	12
(15,26)	10	21,6	1	1,1	9
(15,27)	11	0,0		0,0	
(15,28)	12	0,1		0,0	
(15,29)	13	11,2	3	0,1	
(15,30)	14	2,8		0,0	
(15,31)	15	0,2		0,0	
(16,20)	16	3,1	9	9,1	3
(16,21)	17	1,6	13	1,9	6
(16,22)	18	0,0		0,0	
(16,23)	19	2,6	10	0,9	11
(16,24)	20	1,7	12	0,4	14
(16,25)	21	0,0		0,0	
(16,30)	22	19,6	2	0,1	
(17,19)	23	0,5		45,5	1
(17,20)	24	0,6		1,8	7
(17,21)	25	4,6	7	8,8	4
(17,22)	26	1,0	15	1,0	10
(17,23)	27	0,0		0,0	
(18,20)	28	1,8	11	6,2	5
(18,21)	29	7,4	4	20,0	2
(18,22)	30	0,0		0,0	

Tabell 6: Sannsynlighet for at et norsk utslipp av SO<sub>2</sub> i rute (X,Y) avsettes i Øst-Finnmark eller Aust-Agder (midd<sup>2</sup>el for 1987).

( X, Y )	Øst-Finnmark	Aust-Agder
(14,27)	$2,4 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-4}$
(14,28)	$3,3 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-4}$
(14,29)	$4,8 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-4}$
(14,30)	$5,6 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-4}$
(15,21)	$4,2 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$
(15,22)	$5,4 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-3}$
(15,23)	$7,0 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$
(15,24)	$9,2 \times 10^{-4}$	$9,5 \times 10^{-3}$
(15,25)	$1,2 \times 10^{-3}$	$7,4 \times 10^{-4}$
(15,26)	$1,7 \times 10^{-3}$	$5,8 \times 10^{-4}$
(15,27)	$2,5 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$
(15,28)	$3,8 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-4}$
(15,29)	$6,3 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-4}$
(15,30)	0,15	$2,2 \times 10^{-4}$
(15,31)	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-4}$
(16,20)	$3,3 \times 10^{-4}$	$6,1 \times 10^{-3}$
(16,21)	$4,2 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-3}$
(16,22)	$5,4 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-3}$
(16,23)	$6,9 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$
(16,24)	$9,2 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$
(16,25)	$1,2 \times 10^{-3}$	$8,7 \times 10^{-4}$
(16,30)	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-4}$
(17,19)	$2,5 \times 10^{-4}$	0,15
(17,20)	$3,2 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-3}$
(17,21)	$4,1 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-3}$
(17,22)	$5,2 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-3}$
(17,23)	$6,7 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-3}$
(18,20)	$3,1 \times 10^{-4}$	$6,9 \times 10^{-3}$
(18,21)	$3,9 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-3}$
(18,22)	$4,9 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-3}$

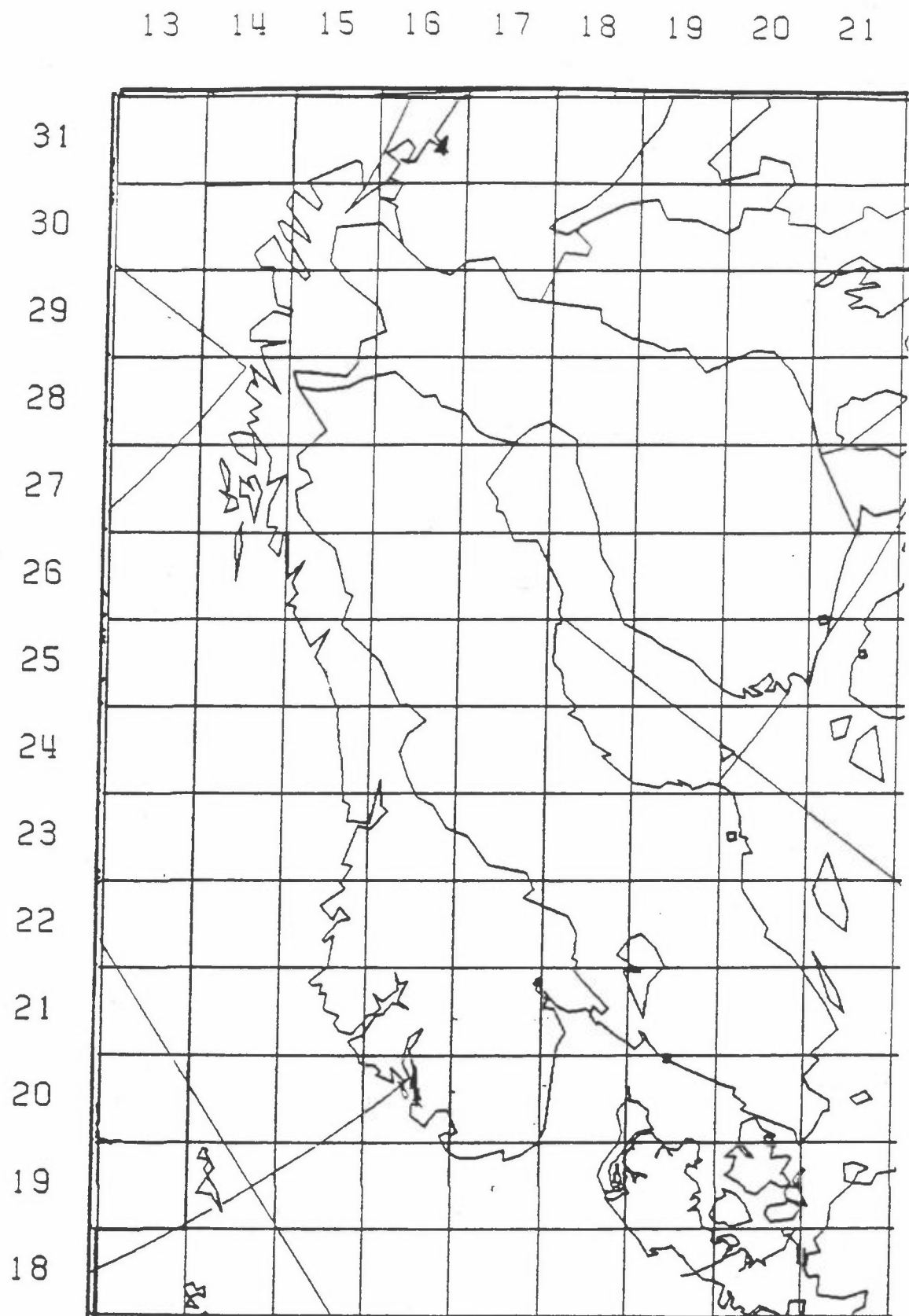
#### 4 ETTERORD

De meteorologiske data for 1987 er stilt til rådighet fra EMEP-gruppen ved Det norske meteorologiske institutt (DNMI). Modellen som er utviklet i dette prosjektet, er basert på erfaringer fra arbeidet med NOx- og oksidantmodell i EMEP. Anton Eliassen, Jørgen Saltbones, Thor Erik Nordeng, Trond Iversen og Hilde Sandnes ved forskningsavdelingen, DNMI, har bidratt til data- og programgrunnlaget for dette prosjektet.

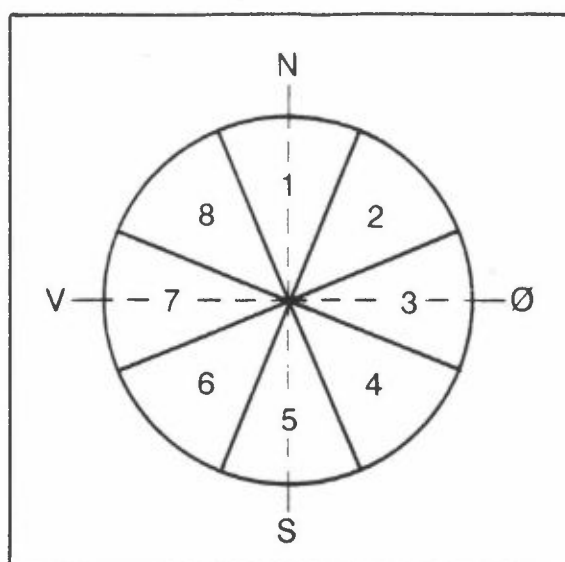
## 5 REFERANSER

Eliassen, A., Hov, Ø., Iversen, T., Saltbones, J. og Simpson, D. (1988) Estimates of airborne transboundary transport of sulphur and nitrogen over Europe. Oslo, DNMI (EMEP/MSC-W 1/88).

Hov, Ø., Eliassen, A. og Simpson, D. (1988) Calculation of the distribution of NO<sub>x</sub> compounds in Europe. In: Tropospheric ozone. Regional and global scale interactions. Ed. by I.S.A. Isaksen. Dordrecht, Reidel, pp.239-261.

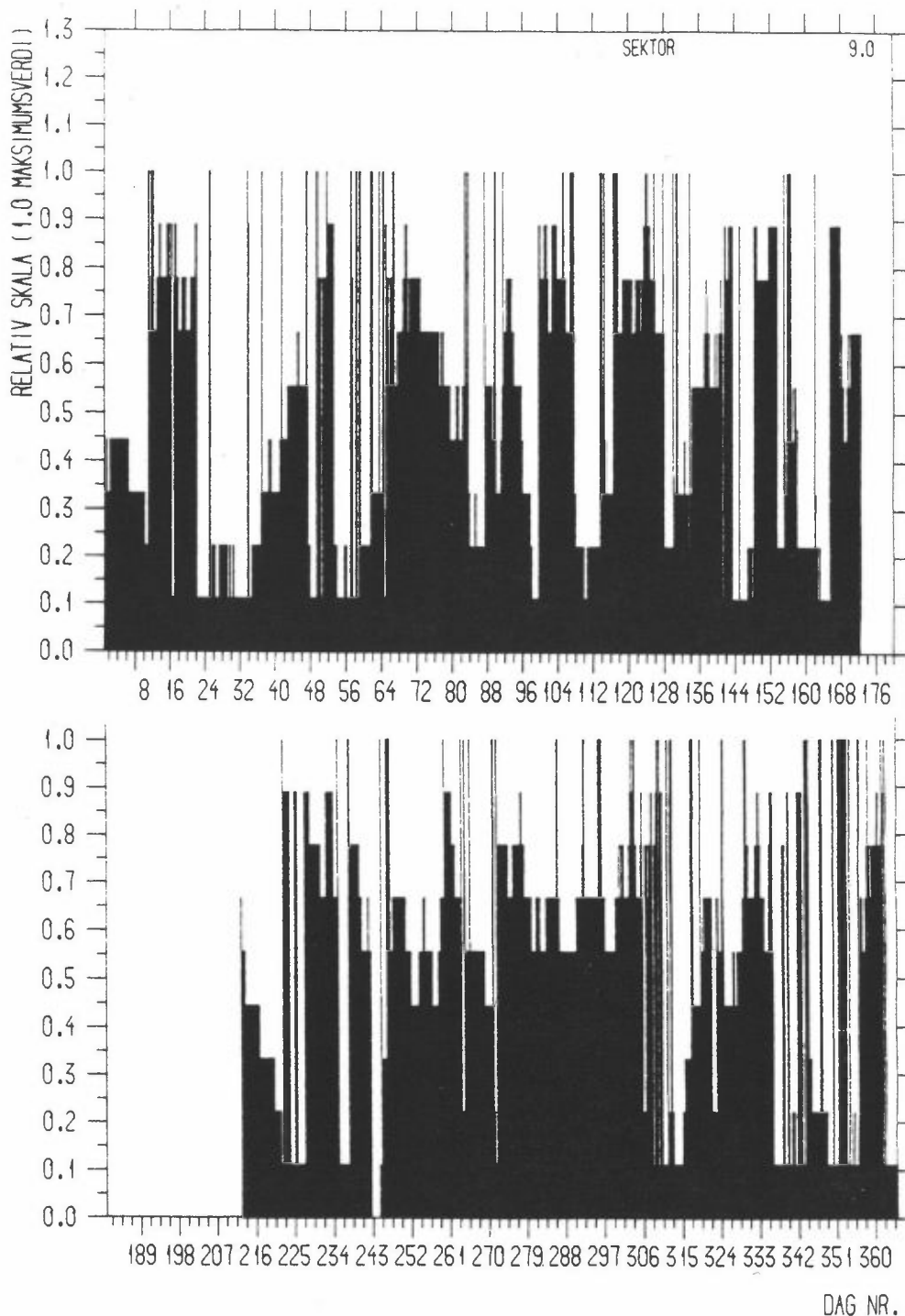


Figur 1: Utsnitt av EMEP-gridrutenettet over Skandinavia.



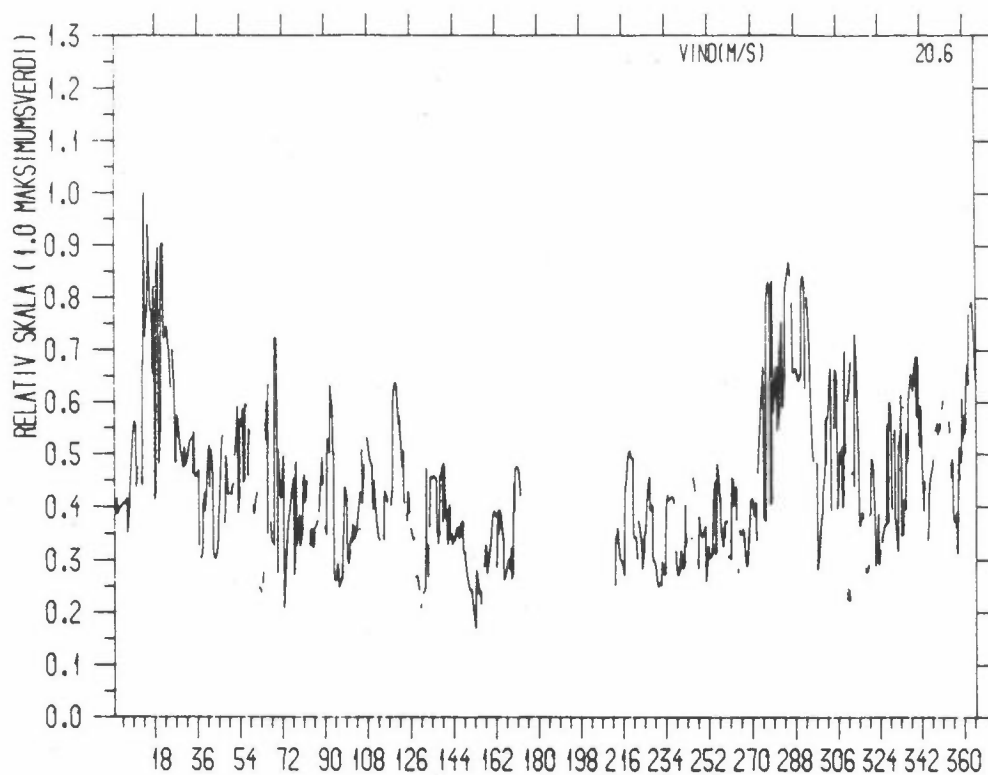
Figur 2: Definisjon av transportsektornummer.



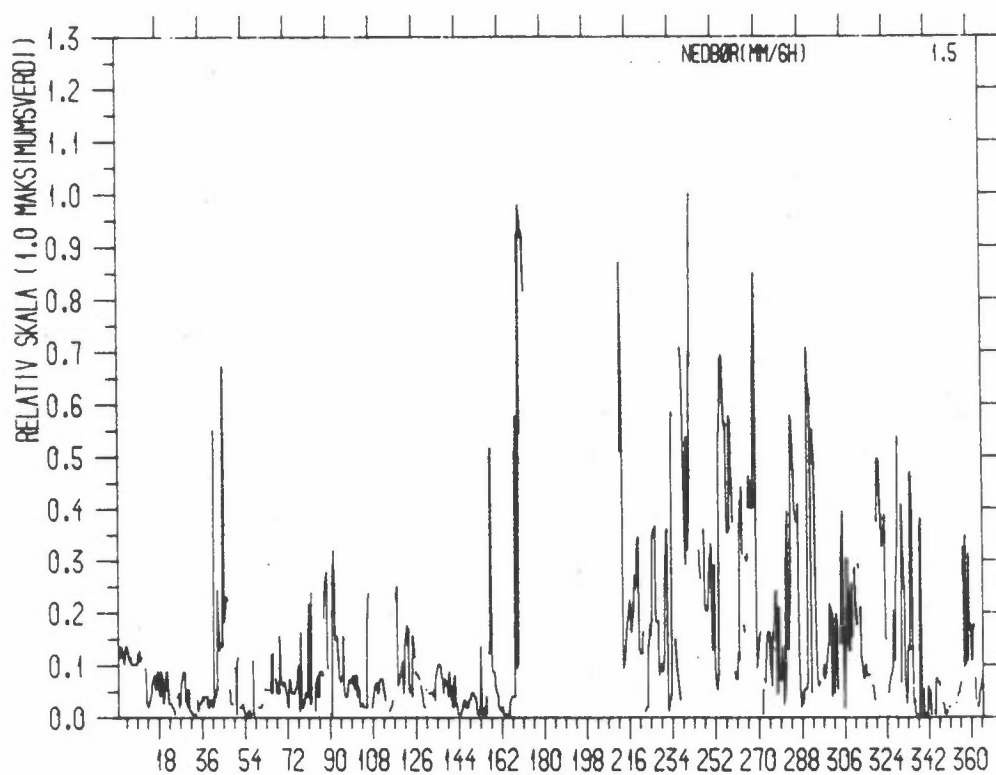


Figur 3: Transportsektor og meteorologiske data for hver 6. time for transport til Øst-Finmark og Aust-Agder i 1987. Transportsektor = 9 er ubestemt, og da er heller ikke de meteorologiske data bestemt (vind, nedbør midlet over transportsektoren, nedbør i ankomstpunktet, avsetningshastighet for  $SO_2$  midlet over transportsektoren, blandingshøyde). Alle figur<sup>2</sup>erene er framstilt med ordinat i relativ skala, og med maksimumsverdien = 1, med absoluttverdi angitt øverst til høyre.

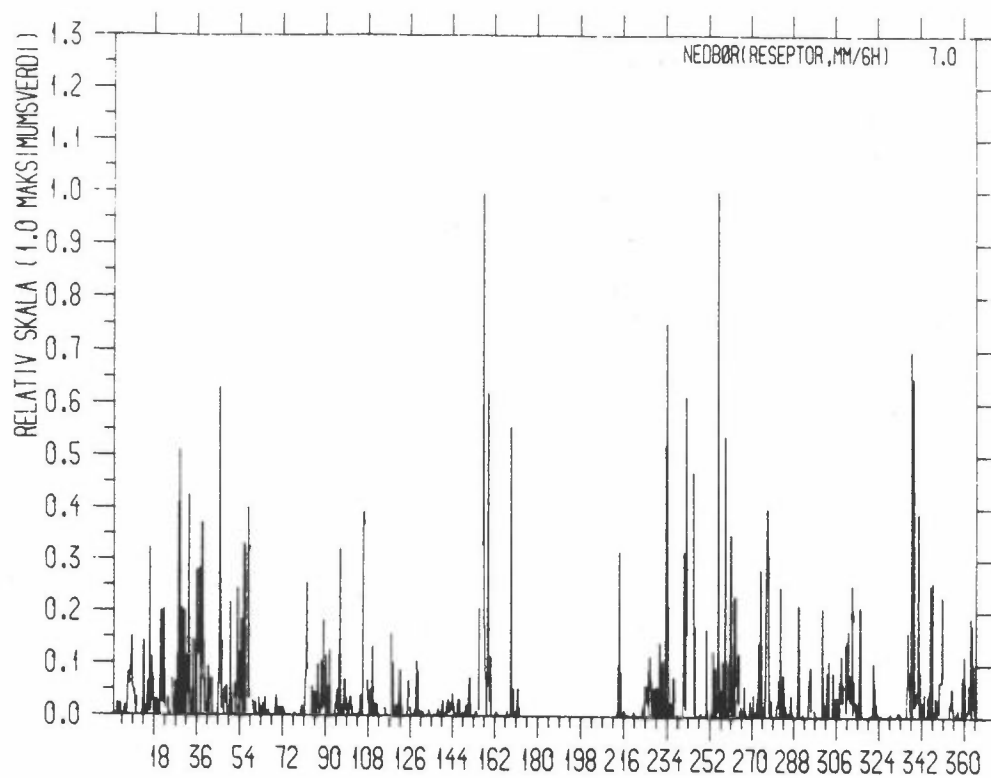
Figur 3a og 3b: Transportsektor til Øst-Finmark.



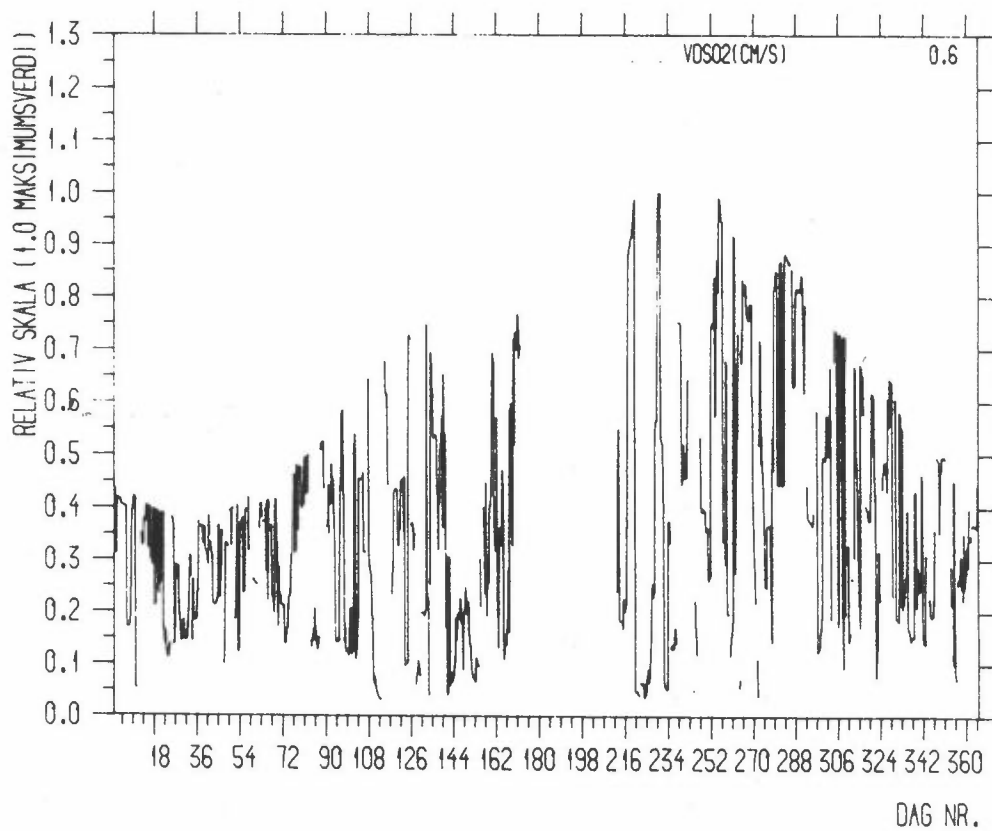
Figur 3c: Vind midlet over transportsektor til Øst-Finnmark.



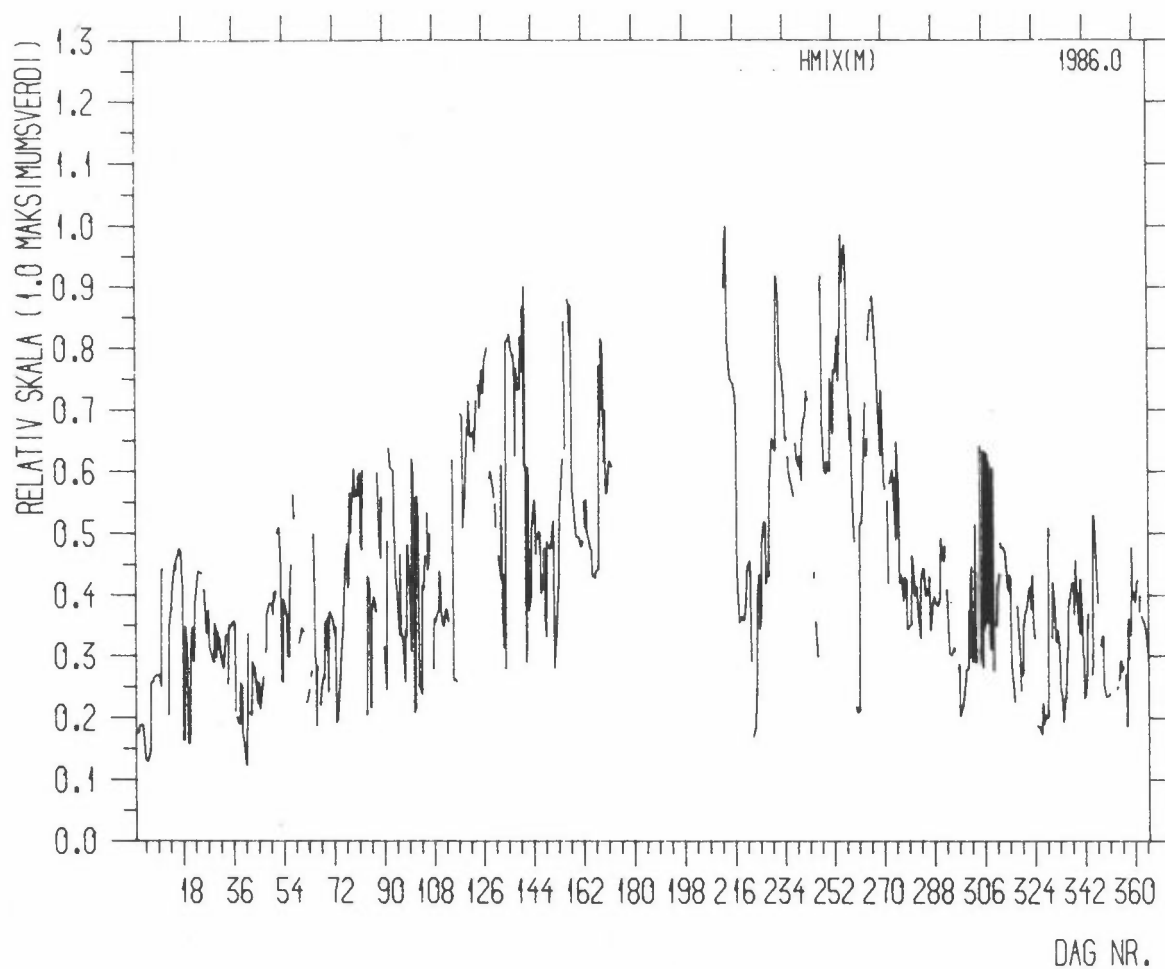
Figur 3d: Nedbør midlet over transportsektor til Øst-Finnmark.



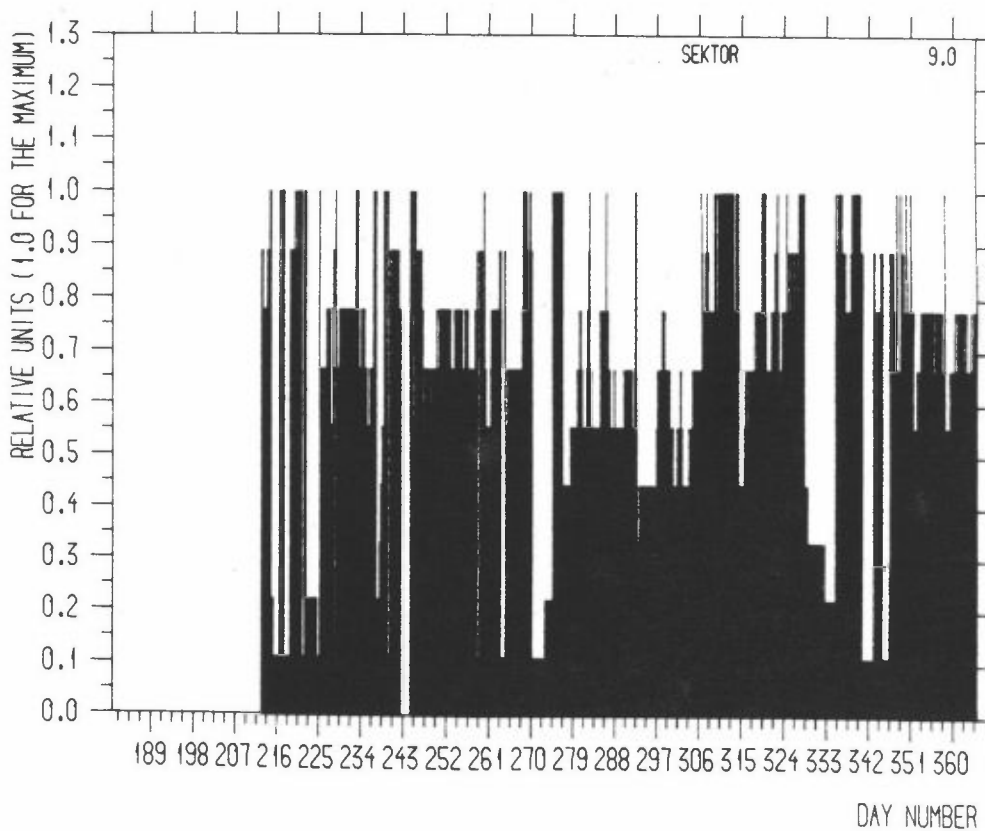
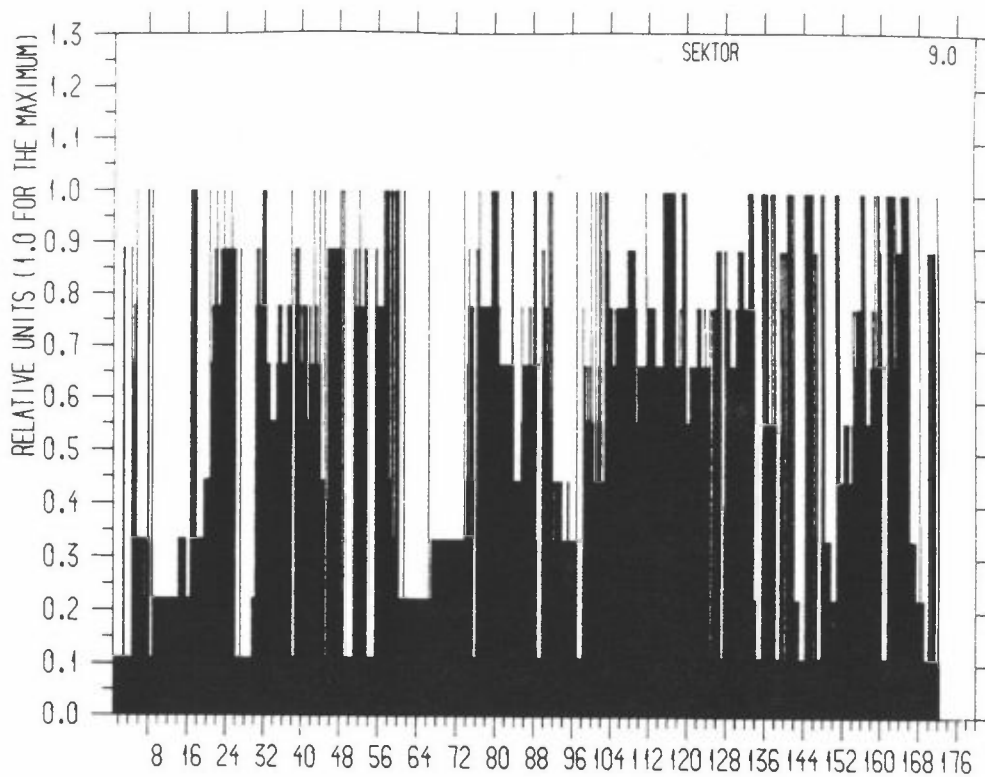
Figur 3e: Nedbør i Øst-Finmark.



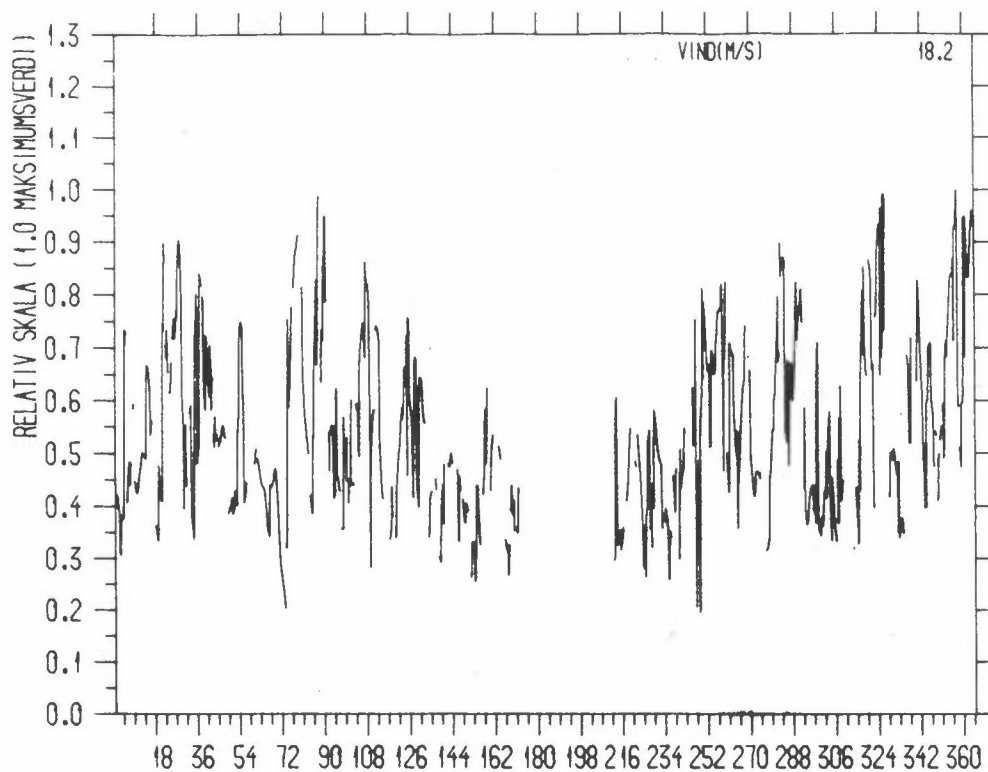
Figur 3f: Avsetningshastighet for  $\text{SO}_2$  midlet over transportsektor til Øst-Finmark.



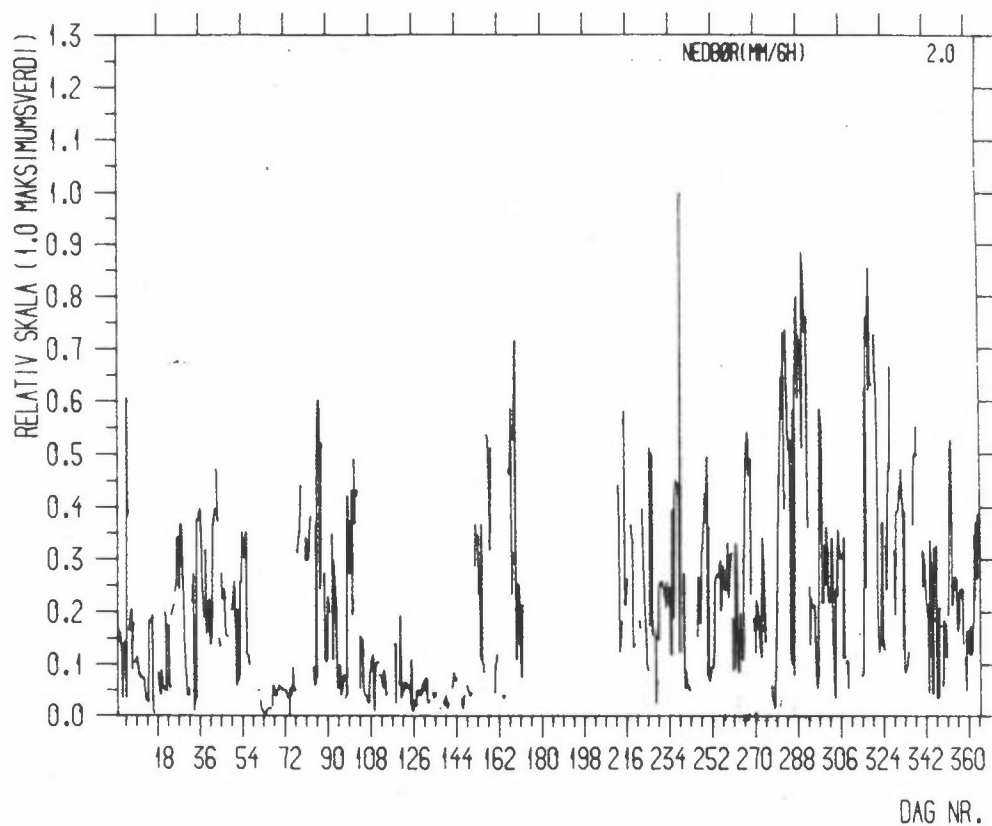
Figur 3g: Blandingshøyde midlet over transportsektor til Øst-Finnmark.



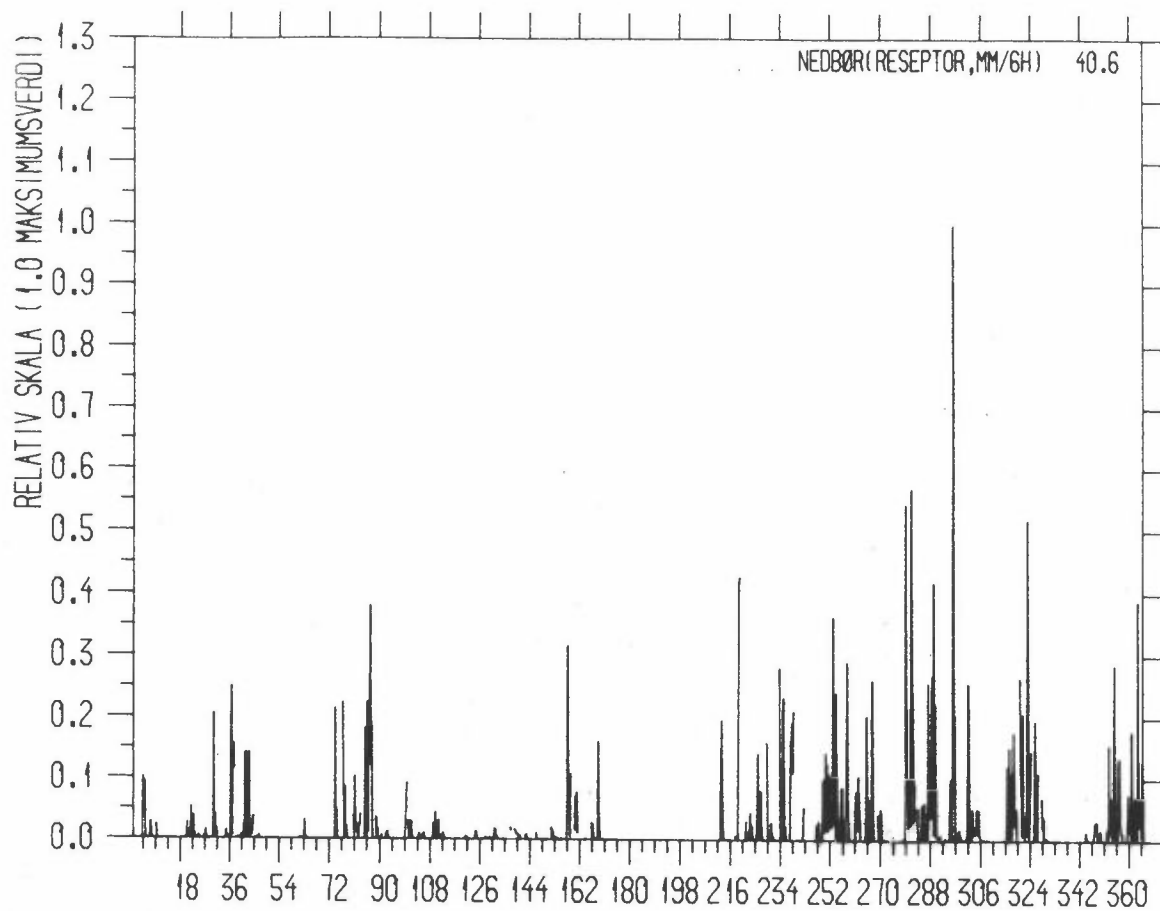
Figur 3h og 3i: Transportsektor til Aust-Agder.



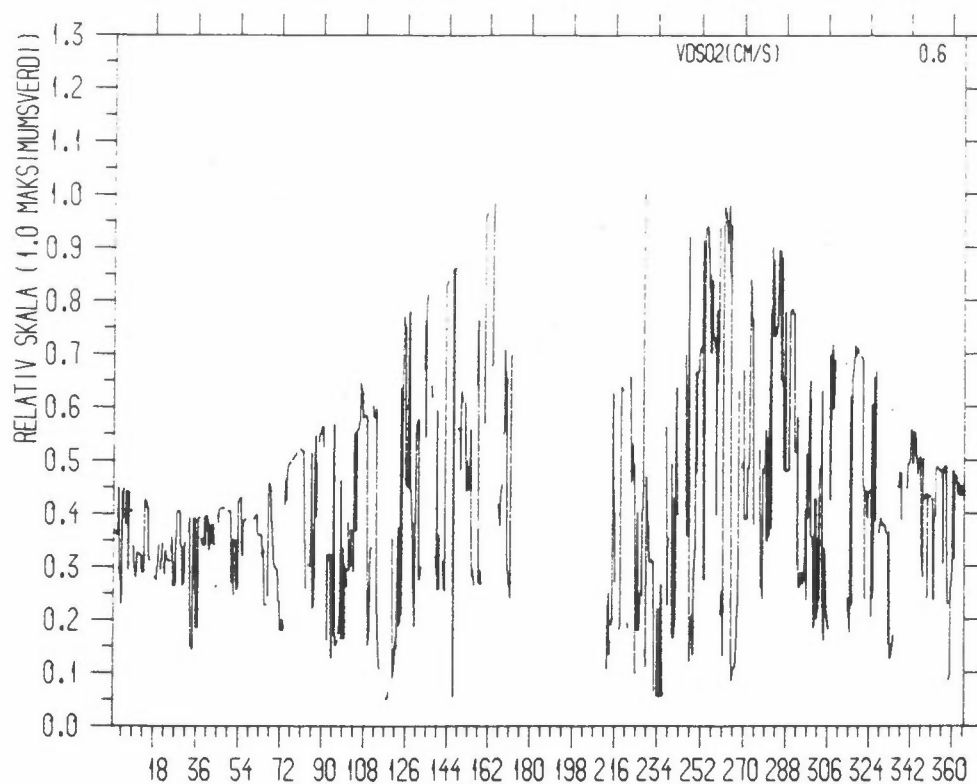
Figur 3j: Vind midlet over transportsektor til Aust-Agder.



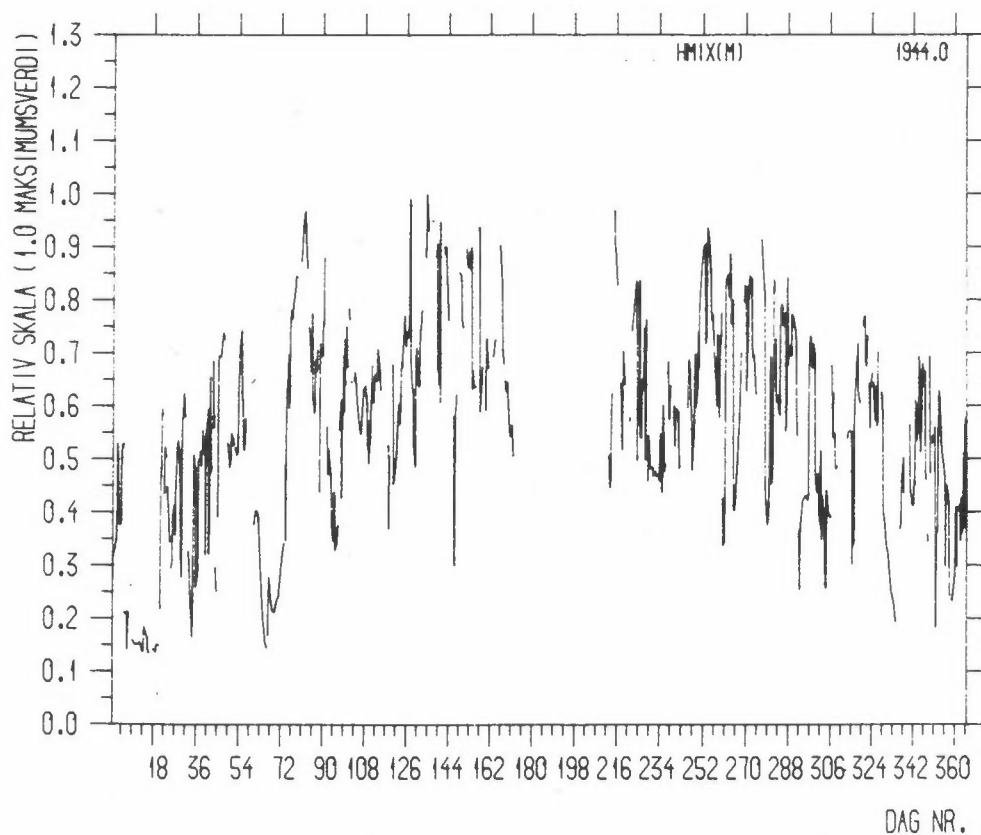
Figur 3k: Nedbør midlet over transportsektor til Aust-Agder.



Figur 31: Nedbør i Aust-Agder.

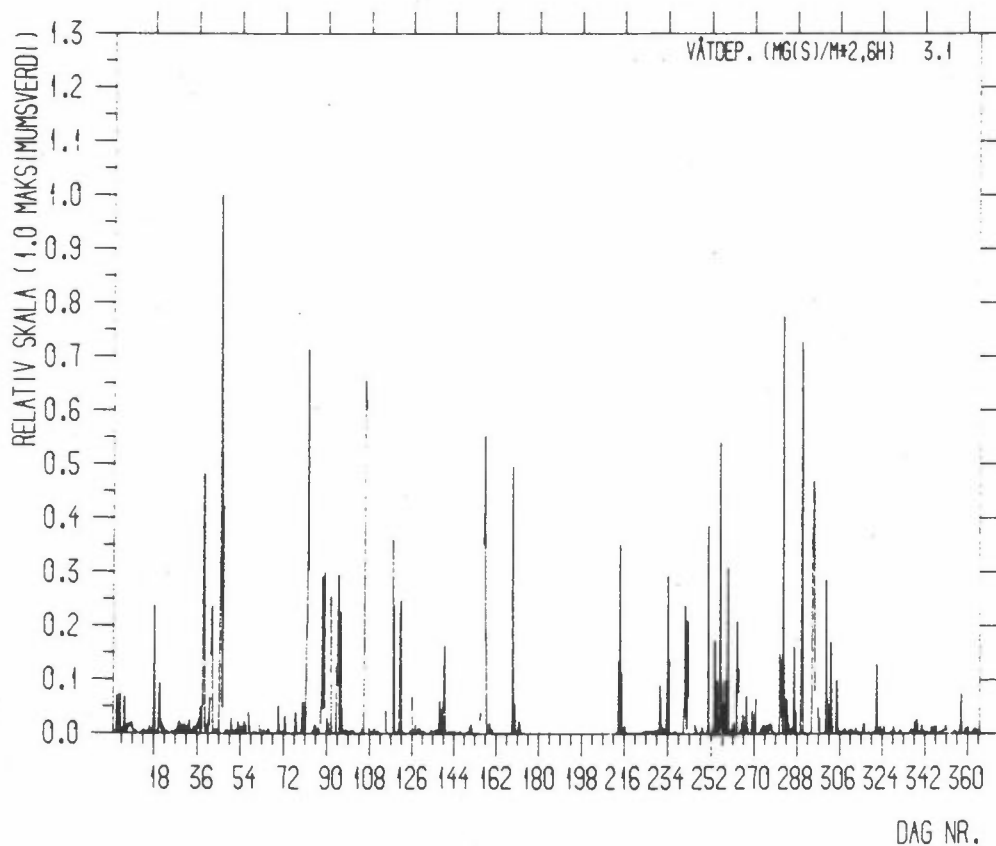
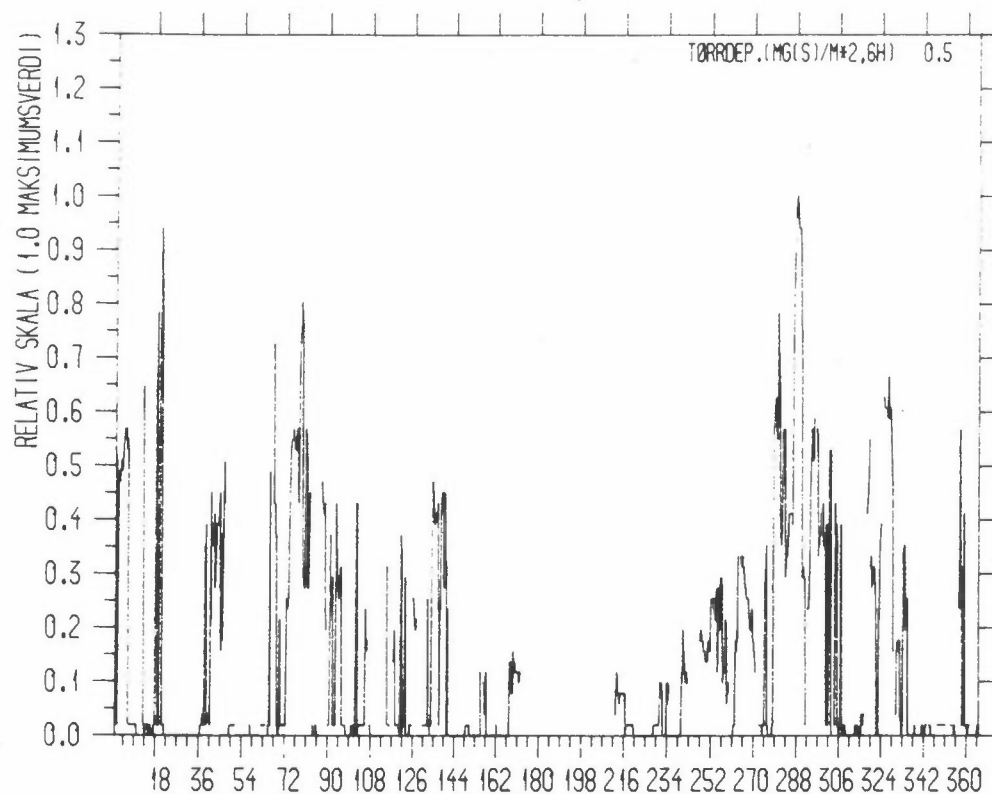


Figur 3m: Avsetningshastighet for  $\text{SO}_2$  midlet over transportsektor til Aust-Agder.

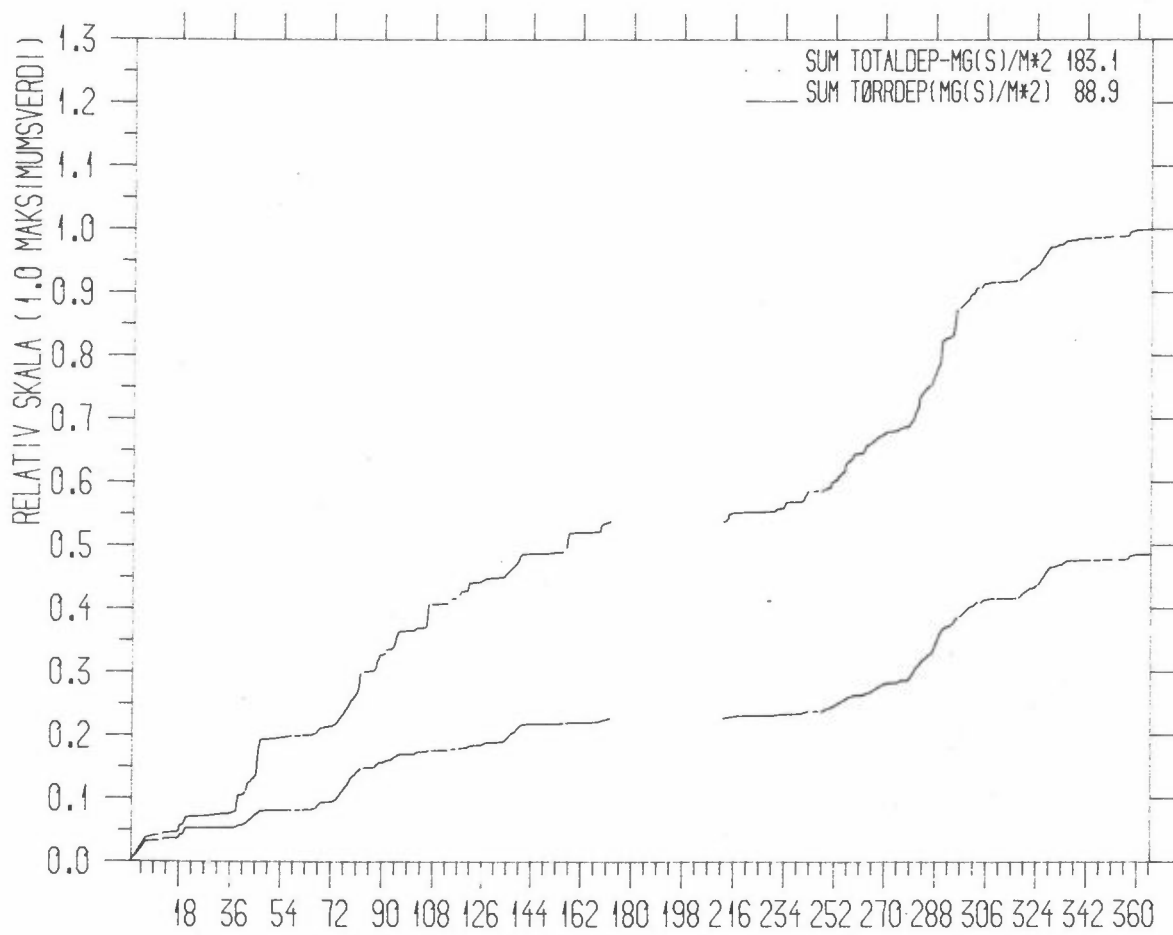
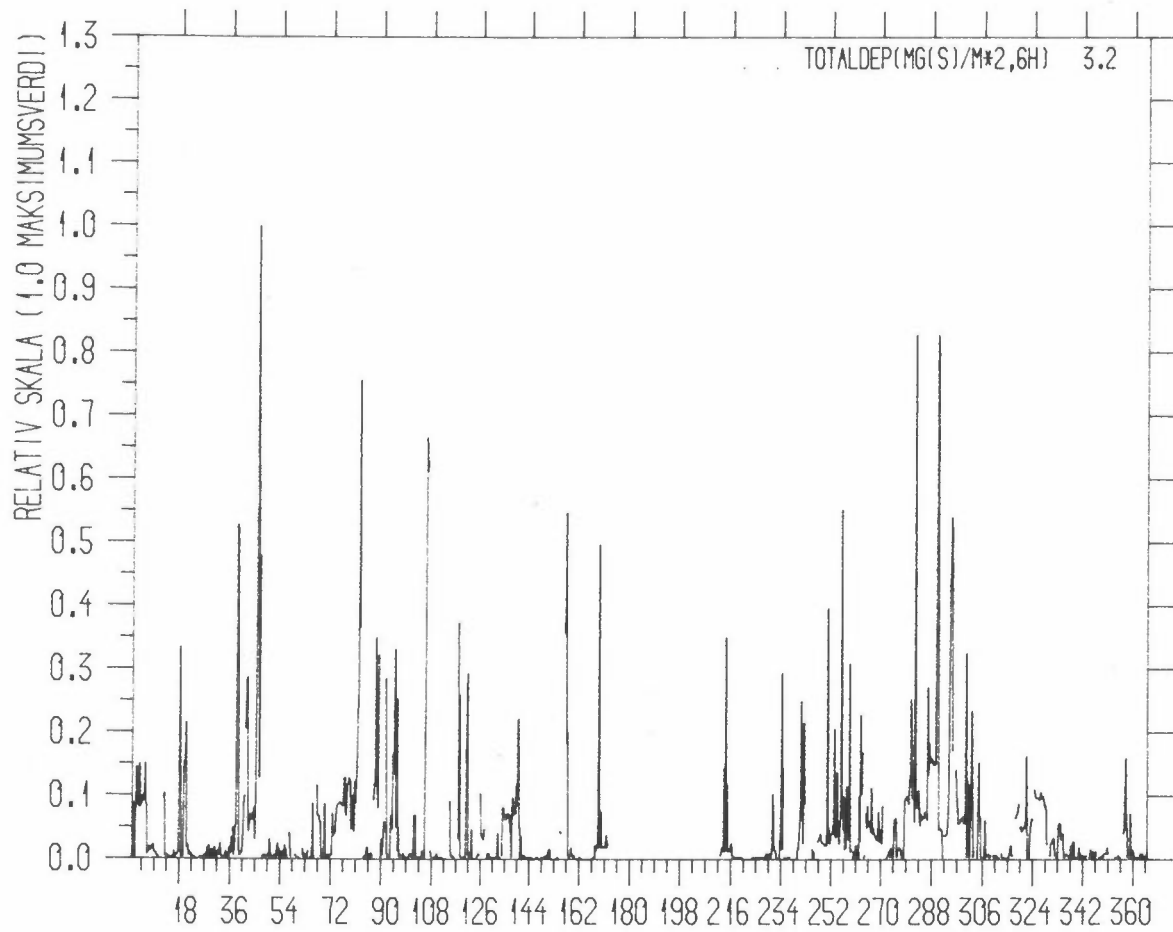


Figur 3n: Blandingshøyde midlet over transportsektor til Aust-Agder.

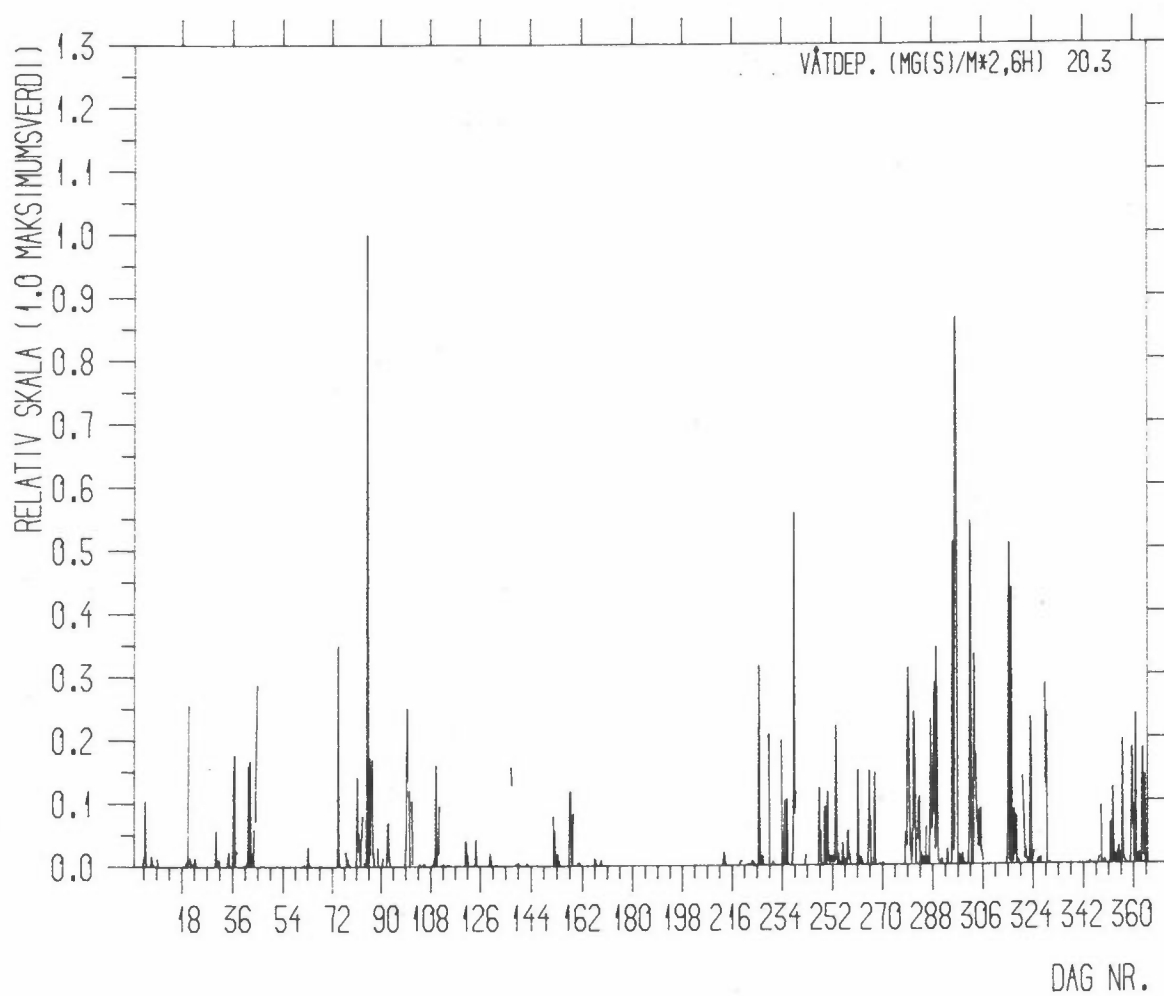
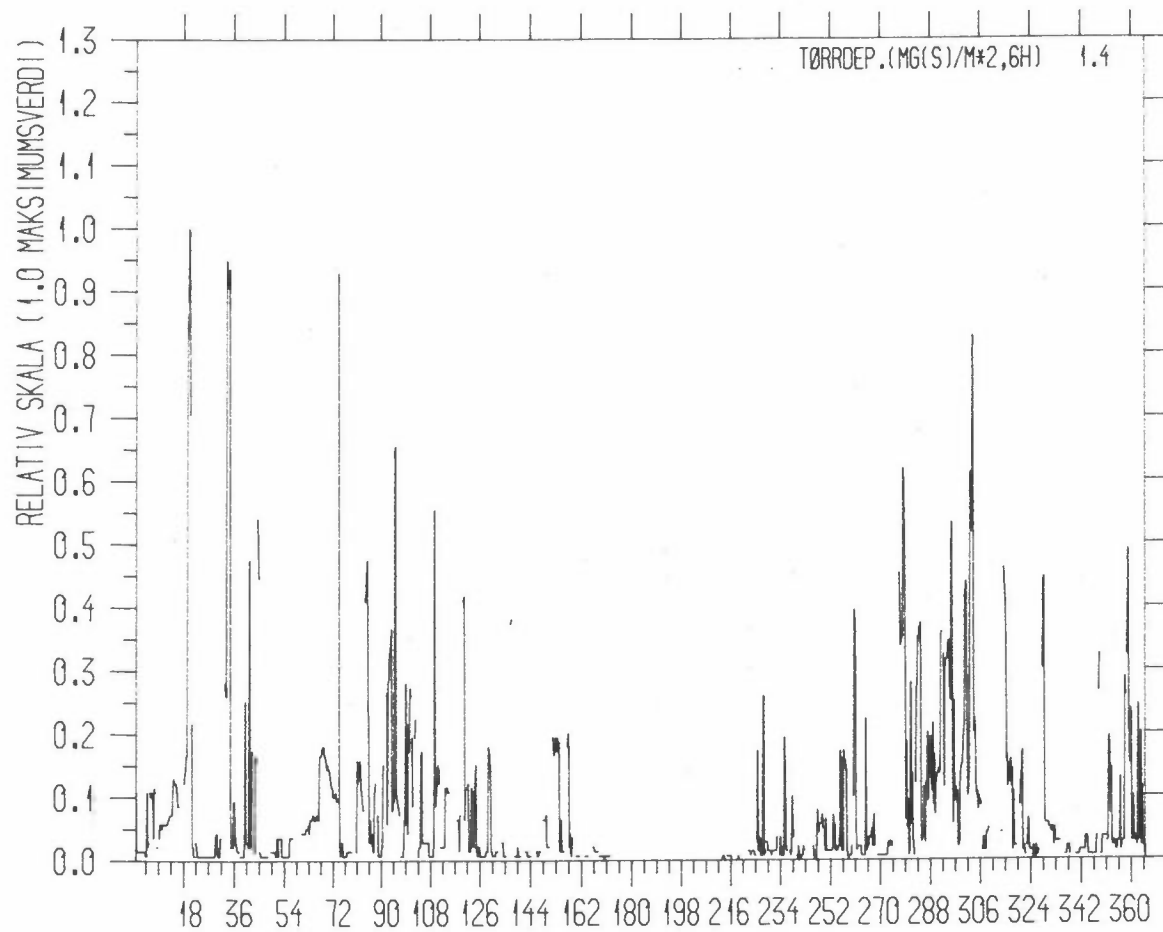


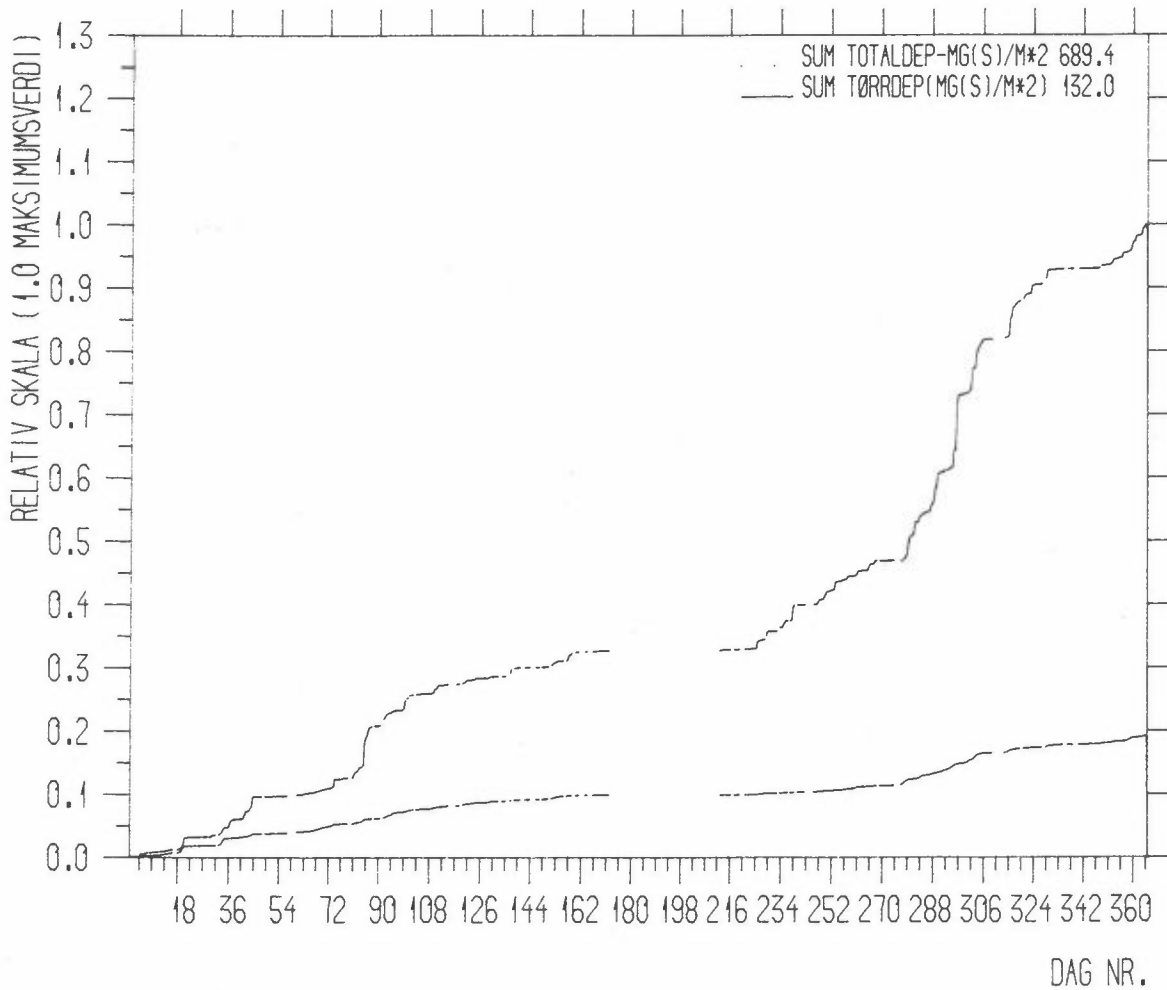
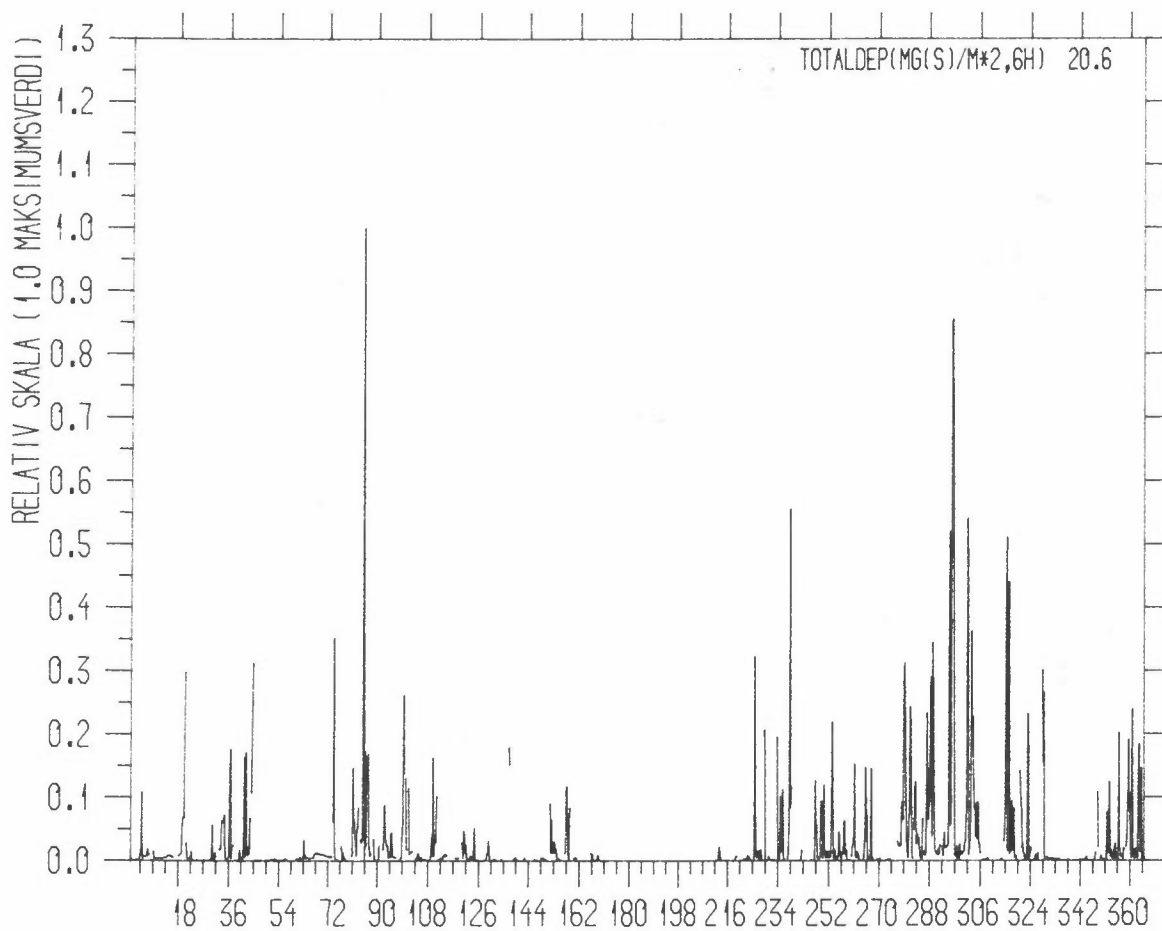


Figur 4: Tørr-, våt- og totalavsetning av svovel for hver 6. time (mg (S)/m<sup>2</sup> og 6 h) for Øst-Finnmark og Aust-Agder i 1987, og integrert over året.



DAG NR.





VEDLEGG

Tabell V-1: Svovelasetning for 1987 i mg S/m<sup>2</sup> for Øst-Finnmark og Aust-Agder, fordelt på opphavsland og EMEP-ruter i Norge, og på tørr- og våtavsetning av SO<sub>2</sub> og sulfat, sum tørr- og våtavsetning og totalavsetning.

ØST-FINNMARK							
	SO <sub>2</sub> ,dry	SO <sub>2</sub> ,wet	SO <sub>4</sub> ,dry	SO <sub>4</sub> ,wet	Sum,dry	Sum,wet	Total
1 AL	.006	.004	.002	.008	.008	.011	.020
2 AT	.067	.042	.020	.065	.087	.107	.193
3 BE	.275	.141	.075	.245	.350	.386	.736
4 BG	.211	.134	.084	.255	.295	.389	.684
5 CS	2.291	1.174	.698	1.827	2.989	3.001	5.990
6 DK	.752	.335	.194	.468	.946	.804	1.749
7 FI	3.823	2.296	.517	1.831	4.340	4.127	8.467
8 FR	.591	.305	.144	.590	.735	.895	1.629
9 DD	4.250	1.875	1.293	3.033	5.544	4.908	10.452
10 DE	2.181	1.030	.634	1.729	2.815	2.759	5.574
11 GR	.059	.030	.019	.078	.078	.108	.186
12 HU	.549	.356	.170	.520	.718	.876	1.594
13 IS	.013	.015	.003	.015	.016	.030	.046
14 IE	.049	.026	.012	.049	.061	.076	.137
15 IT	.662	.348	.172	.720	.834	1.068	1.902
16 LU	.007	.004	.002	.006	.009	.010	.019
17 NL	.238	.113	.071	.193	.309	.307	.615
18 NO	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
19 PL	3.691	2.182	1.008	2.866	4.700	5.048	9.748
20 PT	.009	.002	.001	.002	.011	.004	.014
21 RO	.065	.043	.021	.065	.085	.108	.193
22 ES	.177	.056	.042	.192	.219	.248	.467
23 SE	1.679	.835	.271	.763	1.951	1.597	3.548
24 CH	.013	.007	.003	.013	.016	.019	.035
25 TR	.036	.020	.012	.045	.048	.066	.114
26 SU	47.279	29.211	5.856	25.293	53.135	54.504	107.640
27 GB	2.273	1.133	.648	1.958	2.920	3.091	6.012
28 YU	.293	.197	.101	.328	.394	.525	.919
29 RE	3.628	4.923	.712	3.414	4.340	8.337	12.677
NORSKE EMEP-RUTER							
(14,27)	.030	.030	.004	.018	.034	.048	.082
(14,28)	.043	.042	.005	.023	.048	.064	.112
(14,29)	.001	.001	.000	.000	.001	.001	.002
(14,30)	.000	.001	.000	.000	.001	.001	.002
(15,21)	.013	.006	.003	.008	.016	.014	.030
(15,22)	.009	.004	.002	.005	.010	.009	.019
(15,23)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,24)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,25)	.063	.030	.009	.026	.073	.057	.129
(15,26)	.210	.101	.027	.079	.237	.180	.417
(15,27)	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.001
(15,28)	.001	.001	.000	.000	.001	.001	.001
(15,29)	.089	.084	.007	.035	.097	.119	.215
(15,30)	.055	.000	.000	.000	.055	.000	.055
(15,31)	.001	.002	.000	.001	.001	.003	.004
(16,20)	.026	.012	.006	.016	.033	.028	.060
(16,21)	.014	.006	.003	.008	.016	.014	.030
(16,22)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(16,23)	.023	.011	.004	.011	.027	.022	.049
(16,24)	.016	.007	.003	.007	.018	.014	.032
(16,25)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(16,30)	.214	.106	.014	.043	.228	.150	.378
(17,19)	.004	.002	.001	.002	.005	.004	.009
(17,20)	.005	.002	.001	.003	.006	.005	.012
(17,21)	.040	.018	.009	.022	.049	.041	.089
(17,22)	.009	.004	.002	.005	.010	.009	.019
(17,23)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(18,20)	.015	.007	.004	.009	.019	.016	.035
(18,21)	.064	.029	.014	.036	.078	.065	.143
(18,22)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
Sum	75.165	46.837	12.787	46.571	87.952	93.408	181.360
Norsk andel	.946	.507	.118	.358	1.064	.865	1.929
Total	76.111	47.344	12.904	46.929	89.016	94.273	183.289

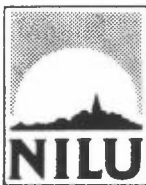
Tabell V-1, forts.

AUST-AGDER							
	SO <sub>2</sub> , dry	SO <sub>2</sub> , wet	SO <sub>4</sub> , dry	SO <sub>4</sub> , wet	Sum, dry	Sum, wet	Total
1 AL	.019	.070	.004	.065	.023	.135	.158
2 AT	.247	.863	.049	.470	.296	1.333	1.629
3 BE	1.787	8.612	.263	3.082	2.050	11.694	13.744
4 BG	.415	1.551	.096	1.457	.511	3.008	3.519
5 CS	7.353	25.784	1.209	12.527	8.561	38.311	46.872
6 DK	7.154	20.908	.579	6.176	7.732	27.084	34.816
7 FI	1.739	.382	.334	.346	2.073	.728	2.801
8 FR	3.987	19.231	.682	7.589	4.669	26.820	31.490
9 DD	15.069	53.848	2.128	22.144	17.197	75.993	93.190
10 DE	10.468	46.517	1.574	16.353	12.042	62.870	74.912
11 GR	.142	.538	.032	.496	.174	1.034	1.208
12 HU	1.689	5.249	.339	3.668	2.028	8.917	10.945
13 IS	.029	.061	.005	.047	.034	.108	.141
14 IE	.419	2.138	.063	.845	.481	2.983	3.464
15 IT	2.405	8.966	.603	4.584	3.008	13.549	16.557
16 LU	.032	.134	.006	.054	.038	.188	.225
17 NL	1.321	5.956	.195	2.084	1.516	8.041	9.556
18 NO	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
19 PL	11.115	32.585	1.652	17.952	12.767	50.538	63.305
20 PT	.153	.750	.050	.435	.203	1.186	1.389
21 RO	.131	.429	.032	.351	.163	.779	.943
22 ES	1.832	8.572	.491	4.683	2.323	13.255	15.579
23 SE	4.807	2.497	.514	1.033	5.321	3.530	8.851
24 CH	.048	.188	.011	.087	.059	.276	.334
25 TR	.039	.134	.009	.119	.048	.253	.302
26 SU	8.122	7.968	2.072	6.975	10.193	14.944	25.137
27 GB	25.231	123.444	2.834	42.355	28.065	165.798	193.863
28 YU	.952	3.208	.225	2.187	1.178	5.395	6.572
29 RE	5.612	12.344	.638	5.384	6.250	17.729	23.978
NORSKE EMEP-RUTER							
(14,27)	.006	.002	.001	.004	.007	.006	.013
(14,28)	.005	.002	.001	.003	.006	.005	.011
(14,29)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(14,30)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,21)	.079	.080	.007	.034	.085	.114	.199
(15,22)	.030	.012	.003	.009	.033	.021	.054
(15,23)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,24)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,25)	.036	.014	.005	.017	.040	.031	.071
(15,26)	.062	.025	.009	.034	.071	.059	.130
(15,27)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,28)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,29)	.005	.001	.001	.002	.006	.003	.009
(15,30)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(15,31)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(16,20)	.426	.433	.028	.146	.454	.578	1.032
(16,21)	.131	.051	.009	.028	.140	.079	.219
(16,22)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
(16,23)	.055	.022	.005	.018	.060	.039	.099
(16,24)	.024	.008	.003	.005	.027	.013	.040
(16,25)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
(16,30)	.004	.001	.001	.002	.005	.003	.007
(17,19)	5.185	.000	.000	.000	5.185	.000	5.185
(17,20)	.129	.049	.006	.018	.135	.067	.202
(17,21)	.618	.237	.037	.112	.655	.350	1.005
(17,22)	.071	.024	.006	.011	.078	.035	.113
(17,23)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
(18,20)	.570	.074	.036	.029	.606	.103	.709
(18,21)	1.465	.521	.106	.191	1.570	.713	2.283
(18,22)	.001	.000	.000	.000	.001	.000	.001
Sum utenlandske bidrag	112.314	392.928	16.690	163.550	129.004	556.478	685.482
Sum norske bidrag	8.903	1.557	.264	.663	9.167	2.220	11.386
Total	121.217	394.484	16.954	164.213	138.170	558.698	696.868

Tabell V-2: Prosentvis bidrag fra ulike land til totalavsetningen i Øst-Finnmark og Aust-Agder.

ØST-FINNMARK							
	SO <sub>2</sub> ,dry	SO <sub>2</sub> ,wet	SO <sub>4</sub> ,dry	SO <sub>4</sub> ,wet	Sum,dry	Sum,wet	Total
1 AL	.003	.002	.001	.004	.005	.006	.011
2 AT	.037	.023	.011	.036	.048	.059	.107
3 BE	.151	.078	.041	.135	.193	.213	.406
4 BG	.116	.074	.046	.140	.163	.214	.377
5 CS	1.263	.648	.385	1.007	1.648	1.655	3.303
6 DK	.415	.185	.107	.258	.521	.443	.964
7 FI	2.108	1.266	.285	1.010	2.393	2.275	4.668
8 FR	.326	.168	.079	.325	.405	.493	.898
9 DD	2.344	1.034	.713	1.672	3.057	2.706	5.763
10 DE	1.203	.568	.350	.953	1.552	1.521	3.073
11 GR	.033	.017	.011	.043	.043	.060	.103
12 HU	.303	.196	.094	.287	.396	.483	.879
13 IS	.007	.008	.002	.009	.009	.017	.025
14 IE	.027	.015	.007	.027	.034	.042	.075
15 IT	.365	.192	.095	.397	.460	.589	1.049
16 LU	.004	.002	.001	.004	.005	.006	.010
17 NL	.131	.063	.039	.107	.170	.169	.339
18 NO	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
19 PL	2.035	1.203	.556	1.580	2.591	2.783	5.375
20 PT	.005	.001	.001	.001	.006	.002	.008
21 RO	.036	.023	.011	.036	.047	.060	.107
22 ES	.098	.031	.023	.106	.121	.137	.258
23 SE	.926	.460	.150	.420	1.075	.881	1.956
24 CH	.007	.004	.002	.007	.009	.011	.019
25 TR	.020	.011	.007	.025	.027	.036	.063
26 SU	26.069	16.107	3.229	13.946	29.298	30.053	59.352
27 GB	1.253	.625	.357	1.080	1.610	1.705	3.315
28 YU	.162	.108	.056	.181	.217	.289	.507
29 RE	2.000	2.715	.393	1.883	2.393	4.597	6.990
AUST-AGDER							
1 AL	.003	.010	.001	.010	.003	.020	.023
2 AT	.036	.126	.007	.068	.043	.194	.238
3 BE	.261	1.256	.038	.450	.299	1.706	2.005
4 BG	.060	.226	.014	.213	.075	.439	.513
5 CS	1.073	3.761	.176	1.827	1.249	5.589	6.838
6 DK	1.044	3.050	.084	.901	1.128	3.951	5.079
7 FI	.254	.056	.049	.050	.302	.106	.409
8 FR	.582	2.805	.100	1.107	.681	3.913	4.594
9 DD	2.198	7.856	.311	3.230	2.509	11.086	13.595
10 DE	1.527	6.786	.230	2.386	1.757	9.172	10.928
11 GR	.021	.078	.005	.072	.025	.151	.176
12 HU	.246	.766	.049	.535	.296	1.301	1.597
13 IS	.004	.009	.001	.007	.005	.016	.021
14 IE	.061	.312	.009	.123	.070	.435	.505
15 IT	.351	1.308	.088	.669	.439	1.977	2.415
16 LU	.005	.020	.001	.008	.005	.027	.033
17 NL	.193	.869	.028	.304	.221	1.173	1.394
18 NO	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
19 PL	1.621	4.754	.241	2.619	1.863	7.373	9.235
20 PT	.022	.109	.007	.063	.030	.173	.203
21 RO	.019	.063	.005	.051	.024	.114	.138
22 ES	.267	1.251	.072	.683	.339	1.934	2.273
23 SE	.701	.364	.075	.151	.776	.515	1.291
24 CH	.007	.027	.002	.013	.009	.040	.049
25 TR	.006	.020	.001	.017	.007	.037	.044
26 SU	1.185	1.162	.302	1.018	1.487	2.180	3.667
27 GB	3.681	18.008	.414	6.179	4.094	24.187	28.281
28 YU	.139	.468	.033	.319	.172	.787	.959
29 RE	.819	1.801	.093	.785	.912	2.586	3.498





NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)  
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH  
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. OR 5/89	ISBN-82-425-0005-3	
DATO JANUAR 1989	ANSV. SIGN. <i>f. Schjodden</i>	ANT. SIDER 31	PRIS kr 60,-
TITTEL SO <sub>2</sub> -utslipp i ulike norske landsdeler og deres betydning for forsuring i Norge		PROSJEKTLEDER	
		NILU PROSJEKT NR. O-8847	
FORFATTER(E) Ø. Hov		TILGJENGELIGHET A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. 296/88	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dep. 0032 Oslo 1			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Sur nedbør                      Svoveldioksidutslipp                      Norge			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) En modell er utviklet der sannsynligheten for at SO <sub>2</sub> -utslipp fra norske EMEP-ruter skal avsettes i utvalgte resipientområder. Beregningene viser at bare 1-2% av totalavsetningen av svovel i Øst-Finnmark og Aust-Agder skyldes norske utslipp. Med 1985-utslipp bidro Sulitjelma mest av norske utslipp i Øst-Finnmark, lokale utslipp og Oslo-området bidro mest i Aust-Agder.			

TITLE SO <sub>2</sub> -emissions in Norway and their importance for acid deposition in Norway
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) A model is developed where the probability for deposition of sulphur in selected regions of Norway due to Norwegian SO <sub>2</sub> -emissions, is calculated. Only 1-2% of the S-deposition in Øst-Finnmark and Aust-Agder on the south coast is due to national emissions, distant emissions contribute most to the domestic deposition in Øst-Finnmark, while local emissions are important in Aust-Agder.

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