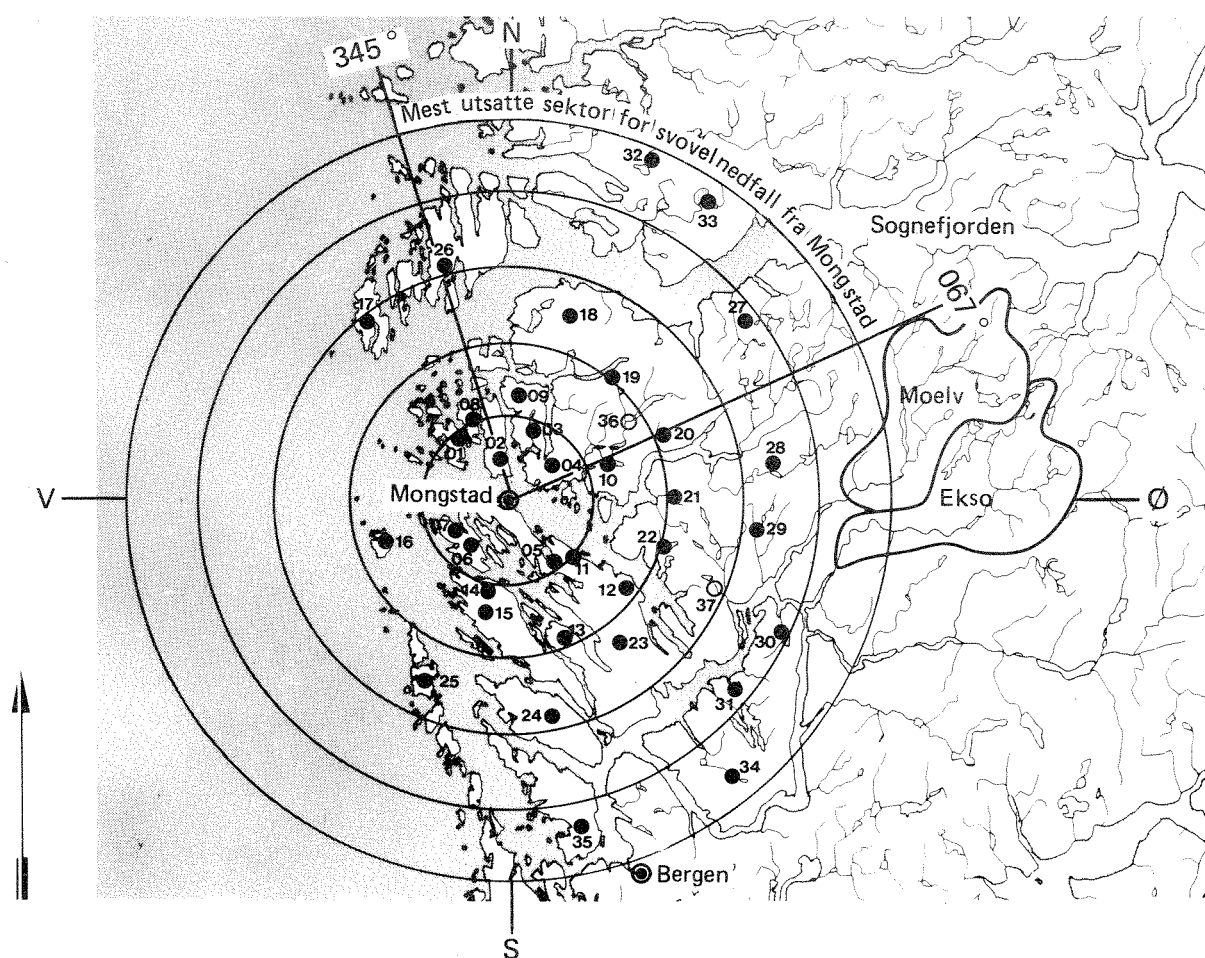


O-88162

Overvåking av innsjøer rundt

# Mongstad



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

**Hovedkontor**  
Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

**Sørlandsavdelingen**  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

**Østlandsavdelingen**  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

**Vestlandsavdelingen**  
Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.: 0-88162
Undernummer:
Løpnummer: 2263
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:  Overvåking av innsjøer rundt Mongstad	Dato: 19.5. 1989
	Prosjektnummer: 0-88162
Forfatter (e):  Tor S. Traaen  Arne Henriksen	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Hordaland Møre og Romsdal
	Antall sider (inkl. bilag): 23

Oppdragsowner: STATOIL MONGSTAD (tidligere RAFINOR A/S) 5154 MONGSTAD	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:

Det er utført vannkjemiske undersøkelser av 37 innsjøer innenfor en radius av 50 km fra Mongstad-raffineriet. Deler av undersøkelsesområdet er blant de mest forsuringfølsomme områdene i Norge og det er innsjøer med pH ned til 4.64. Forsuringen, definert som tap av bufferevne, er høyest ved kysten og avtar innover i landet. Forsuringen synes ikke å ha noen sammenheng med geografisk beliggenhet og fremherskende vindretninger i forhold til Mongstadraffineriet. Undersøkelsen tyder på at effektene av utslipp fra Mongstadraffineriet er marginale i forhold til langtransporterte forurensninger.

- 4 emneord, norske:
1. Sur nedbør
  2. Innsjøer
  3. Forsuring
  4. Oljeraffineri

- 4 emneord, engelske:
1. Acid rain
  2. Lakes
  3. Acidification
  4. Oil refinery

Prosjektleder:

*Tor S. Traaen*

For administrasjonen:

*Day Borge*

ISBN - 82-577-1561-1

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
2. INNLEDNING	4
3. VALG AV INNSJØER. PRØVETAKING OG ANALYSEPROGRAM	4
3.1 Valg av innsjøer.	4
3.2 Prøvetaking.	7
3.3 Analyseprogram.	7
4. RESULTATER OG DISKUSJON	8
4.1 pH.	8
4.2 Ikke-marine basekationer.	
Forsuringsfølsomhet.	8
4.3 Ikke-marin sulfat og forsuring.	8
4.4 Nitrat.	12
4.5 Organisk karbon.	12
4.6 Alkalitet.	15
4.7 Avrenning av ikke-marin sulfat.	
Vurdering av bidrag fra Mongstad-raffineriet.	15
LITTERATUR	21
VEDLEGG	22

## 1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Etter oppdrag fra Statoil Mongstad ble det høsten 1988 utført en undersøkelse av forsuringssituasjonen i 37 innsjøer innen en radius av 50 km fra Mongstad-raffineriet .

Forsuringssituasjonen i innsjøene er vurdert ut fra naturgitte forhold som innsjøenes motstandsevne mot forsuring, innhold av organiske syrer og hydrologiske forhold, samt fjerntransporterte forurensninger og mulige effekter av utlipp fra Mongstad-raffineriet.

Store deler av undersøkelsesområdet er blandt de mest forsuringfølsomme områdene i landet. Flere innsjøer har konsentrasjoner av basekationer (kalsium og magnesium) på under 10  $\mu\text{ekv/l}$ .

Forsuringen (definert som tap av alkalitet) er beregnet til ca 30  $\mu\text{ekv/l}$  nær kystlinjen og avtar til ca 10-15  $\mu\text{ekv/l}$  innover i landet. pH-verdier er målt ned til 4.64.

Flere kystnære innsjøer har en naturgitt surhet på grunn av høyt innhold av organiske syrer. I enkelte innsjøer er den naturgitte forsuring (på ekvivalentbasis) større enn bidraget fra luftforurensninger.

På grunn av svært høye nedbørmengder er arealbelastningen av sulfat omtrent like stor som på Sørlandet. Forsuringen på ekvivalentbasis er imidlertid betydelig lavere fordi forurensningene blir mer fortynnet.

Forsuringen av innsjøene (definert som tapt alkalitet) i den mest utsatt sektor for nedfall fra Mongstad-raffineriet er ikke markert høyere enn for de andre innsjøene i tilsvarende avstand fra kystlinjen. Flere innsjøer i den mest utsatte sektor har spesielt høye verdier for arealavrenning av ikke-marin sulfat. Dette kan i hovedsak forklares ut fra en ugunstig kombinasjon av beliggenhet nær kystlinjen og spesielt høye nedbørmengder. Man kan ikke utelukke en marginal påvirkning fra Mongstad-raffineriet av de mest utsatte innsjøene. Påvirkningen er imidlertid så lav at den ikke kan bestemmes ved tilgjengelige metoder. Skjønnsmessig vil vi anslå at forsuringen fra Mongstad-raffineriet er lavere enn 5  $\mu\text{ekv/l}$  i de mest utsatte innsjøene.

## 2. INNLEDNING

Denne overvåkingsundersøkelsen av innsjøer rundt Mongstad er utført etter oppdrag fra Statoil Mongstad. Hensikten med overvåkingen er å undersøke om sure utslipp fra Mongstad-raffineriet påvirker innsjøene i området. Statoil Mongstad har hatt gående et overvåkingsprogram med årlig prøvetaking i 39 innsjøer siden 1975 (Fonnes 1986). Resultatene viser til dels svært lave pH-verdier, spesielt i områdene Gulen og Masfjorden. Siden det kun er målt pH og konduktivitet er det ikke mulig å vurdere graden av forsurening i forhold til naturtilstanden. "1000"-sjøers undersøkelsen i 1986 viste imidlertid at området er blandt de mest forsuringfølsomme i landet og at området er påvirket av sur nedbør (SFT 1987).

Konsesjonsgrensene for utslipp til luft fra Mongstad-raffineriet er 2500 tonn  $\text{SO}_2$ /år. Utslippene er oppgitt å ha ligget under dette de siste årene<sup>2</sup>. Ved utgangen av september 1988 var det de siste 12 månedene sluppet ut 1954 tonn  $\text{SO}_2$ . Det er ingen konsesjon eller driftsdata for  $\text{NO}_2$ -utslipp. Nedfallet av  $\text{SO}_4$  fra Mongstad-raffineriet er beregnet å utgjøre maksimalt 6% av bakgrunnsnedfallet i den mest utsatte sektor (345-067<sup>0</sup>) innen 6 mil fra Mongstad-raffineriet. (Førland 1981). Spredningsstudier er referert i litteraturlisten.

## 3. VALG AV INNSJØER. PRØVETAKING OG ANALYSEPROGRAM

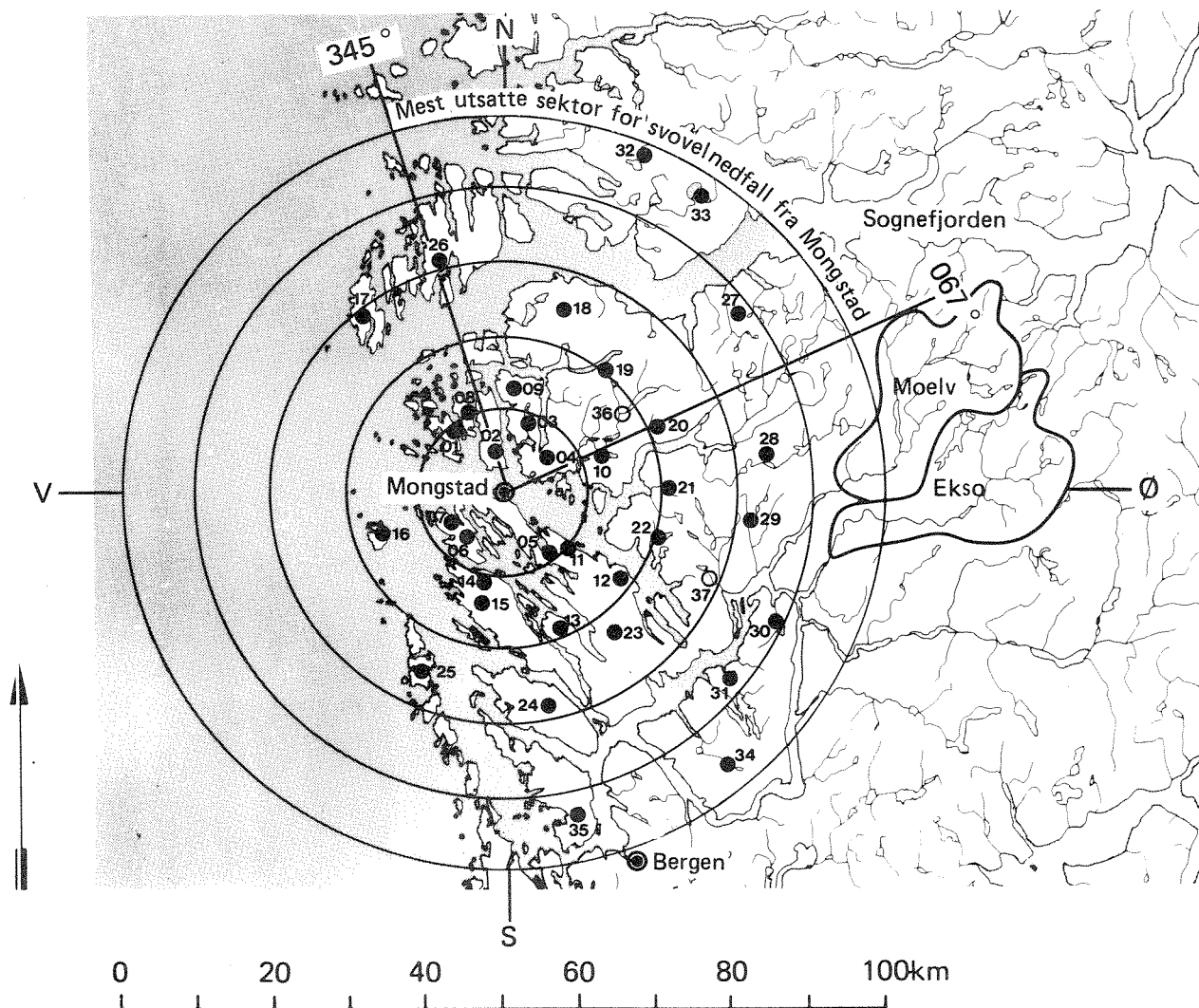
### 3.1 Valg av innsjøer.

De utvalgte innsjøene ligger innenfor en radius av 5 mil fra Mongstad (se Figur 1). Det er lagt vekt på å få en spredning i alle retninger fra Mongstad slik at resultatene kan sammenholdes med de fremherskende vindretninger fra Mongstad. Videre er det fortrinnsvis valgt innsjøer som er større enn  $0.2 \text{ km}^2$ . Det er også tatt hensyn til om innsjøene er undersøkt tidligere. Således er 9 innsjøer fra overvåkingsprogrammet til Statoil Mongstad og 10 innsjøer fra "1000"-sjøers-undersøkelsen inkludert. 16 innsjøer er nye, og er primært valgt ut fra beliggenhet i forhold til Mongstad. 2 innsjøer fra SFT/NIVA's årlige "100"-sjøers undersøkelse er inkludert i bearbeidingen. Disse er markert med åpne sirkler i Figur 1. Totalt har 37 innsjøer inngått i programmet for 1988. Innsjøene er listet opp i Tabell 1. I tabellen er innsjøene gruppert etter avstand i luftlinje fra Mongstad-raffineriet.

Av øvrige undersøkelser i området kan nevnes at elvene Moelv og Ekso inngår i SFTs program for overvåking av sur nedbør. Her blir det tatt månedlige prøver, samt ukentlige prøver under snøsmeltingen. Videre måles forurensningene i nedbør ved Haukeland syd for Matre.

Tabell 1. Innsjøer i overvåkingingsprogrammet for Mongstad i 1988.

Innsjønr./innsjø	Kartblad	UTM	h.o.h.	Tidligere undersøkelser
0-1 mil fra Mongstad				
M01 Nykksvatn	1116 IV	777579	ca100	Rafinor 6
M02 Kvernhusvatn	1116 IV	835539	33	Rafinor 4
M03 Svardalsvatn	1116 IV	875580	27	Rafinor 27
M04 Svelivatn	1116 I	908537	121	Ny
M05 Tjukketlavatn	1116 I	893419	10	Rafinor 18
M06 Førlandsvatn	1116 IV	794424	14	Ny
M07 Rebnordsvatn	1116 IV	765462	23	Ny
1-2 mil fra Mongstad				
M08 Mjømnevatn	1116 IV	794599	21	Rafinor 1
M09 Norddalsvatn	1116 IV	856628	98	Ny
M10 Ostavatn	1116 I	976534	48	Rafinor 20
M11 Fonnebostvatn	1116 I	923417	23	Rafinor 17
M12 Austrevatn (Fjellsende)	1116 II	941396	8	Rafinor 15
M13 Festevatn	1116 II	880319	10	Ny
M14 Førevatnet	1116 III	800369	19	Ny
M15 Kvalheimsvatn	1116 III	787345	6	Rafinor 33
M16 Langevatn	1016 I	666446	17	Tusen 1265601
2-3 mil fra Mongstad				
M17 Gardvatn	1017 II	675740	33	Ny
M18 Nordgulvatn	1117 II	938723	133	Tusen 1411602
M19 Klyvtveitvatn	1116 I	993654	407	Ny
M20 Grønefjellvatn	1116 I	019579	403	Tusen 1266602
M21 Storevatn	1116 I	048493	135	Ny
M22 Blådalvatn	1116 I	044421	272	Tusen 1266601
M23 Tveitavatn	1116 II	007277	24	Tusen 1263602
M24 Storavatn	1116 II	863203	10	Tusen 1256601
M25 Rotevatn	1116 III	717256	19	Ny
3-4 mil fra Mongstad				
M26 Storevatn (Hop)	1117 III	766791	30	Ny
M27 Kovevatn	1217 III	161720	532	Ny
M28 Litlematrestøylvatn	1216 IV	188521	608	Ny
M29 Botnavatn	1216 IV	169445	348	Ny
M30 Toskedalsvatn	1216 III	188296	182	Tusen 1251501
M31 Kleppesvatn	1216 III	119235	35	Tusen 1253501
4-5 mil fra Mongstad				
M32 Markhusvatn	1117 II	038924	214	Tusen 1413601
M33 Nordstrandvatn	1217 III	111864	238	Ny
M33B Sørestrandvatn	1217 III	120871	238	Tusen 1416501
M34 Storavatn	1215 IV	122112	320	Ny
M35 Kleppevatn	1115 I	912047	70	Tusen 1247601
"100-sjøer" (SFT/NIVA)				
MT36 Yndesdalvatn	1116 I	014600	103	Tusen 1411601
MT37 Båtevatn	1216 III	098375	451	Tusen 1263601



Figur 1. Prøvetakingsstasjoner for overvåking av innsjøer rundt Mongstad. Tallene refererer til innsjønumre (Mxx) i Tab.1. Mest utsatte sektor ( $345^{\circ}$  -  $067^{\circ}$ ) for svovelnedfall fra Mongstad-raffineriet er inntegnet.

### 3.2 Prøvetaking.

Prøvene ble tatt i siste halvdel av oktober (etter høstsirkulasjonen). De fleste prøvene ble tatt ved utløpet av innsjøen, fortrinnsvis i utløpsbekken. Der det ikke var synlig eller tilgjengelig utløp ble prøvene tatt i god avstand fra tilløpsbekker. Prøven ble tatt på spesialvaskede plastflasker og postlagt til NIVAs analyselaboratorium.

Prøvetakingen ble utført av personale ved Statoil Mongstad. Det ble benyttet helikopter til prøveinnsamlingen, men ingen prøver ble tatt direkte fra helikopteret. Eli Nummedal organiserte prøvetakingen.

### 3.3 Analyseprogram.

Analyseprogrammet omfatter følgende parametre:

Komponent	Enhet	Analysemetode
pH		Orion Modell 801-A pH-meter med Radiometer kombinasjonselektrode.
Konduktivitet	mS/m 25 <sup>0</sup> C	Philips PW 9509 digital meter.
Ca	mg/l	Atomabsorpsjon, flamme, Perkin Elmer 560.
Mg	"	" 0
Na	"	"
K	"	"
Cl	"	Ionekromatograf (Waters-ILC-1).
SO <sub>4</sub>	"	"
NO <sub>3</sub>	µgN/l	"
Alkalitet	µekv/l	Titring med syre til pH 4.5, med korreksjon til endepunktsalkalitet (ALK-E).
Organisk karbon (TOC)	mgC/l	ASTRO model 2850 TOC/TC Analyzer.
Reaktiv Al(RAL)	µg/l	AutoAnalyzer.
Ikke-labil Al(ILAL)	"	AutoAnalyzer med ionebytte.
Labil Al (LAL)	"	LAL = RAL - ILAL



## 4. RESULTATER OG DISKUSJON

De kjemiske analyseresultatene er vist i Vedlegg. For innsjøer som inngikk i "1000"-sjøers undersøkelsen er også data fra 1986 gjengitt. Resultatene fra 1988 er også presentert på kart i figurene 2 - 11. For Moelv og Ekso er det benyttet data fra oktober 1987 (SFT 1988). For innsjø nr.30 er det i figurene brukt data fra 1986 fordi vannet åpenbart har vært kalket før prøvetakingen i 1988 (pH 8.67). Data for avrenning er hentet fra avrenningskart utarbeidet ved hydrologisk avdeling, NVE (NVE 1988).

### 4.1 pH.

Det fremgår av figur 2 at de sureste vannene i undersøkelsen ligger i sektoren NV til Ø for Mongstad. Den laveste pH-verdien hadde innsjø nr.01 Nykksvatn og nr.04 Svelivatn med pH på 4.64. Selv om de sureste vannene ligger i den mest utsatte sektor fra Mongstad (jfr. fig.1) betyr ikke dette nødvendigvis at utslipp fra Mongstad-raffineriet er årsaken.

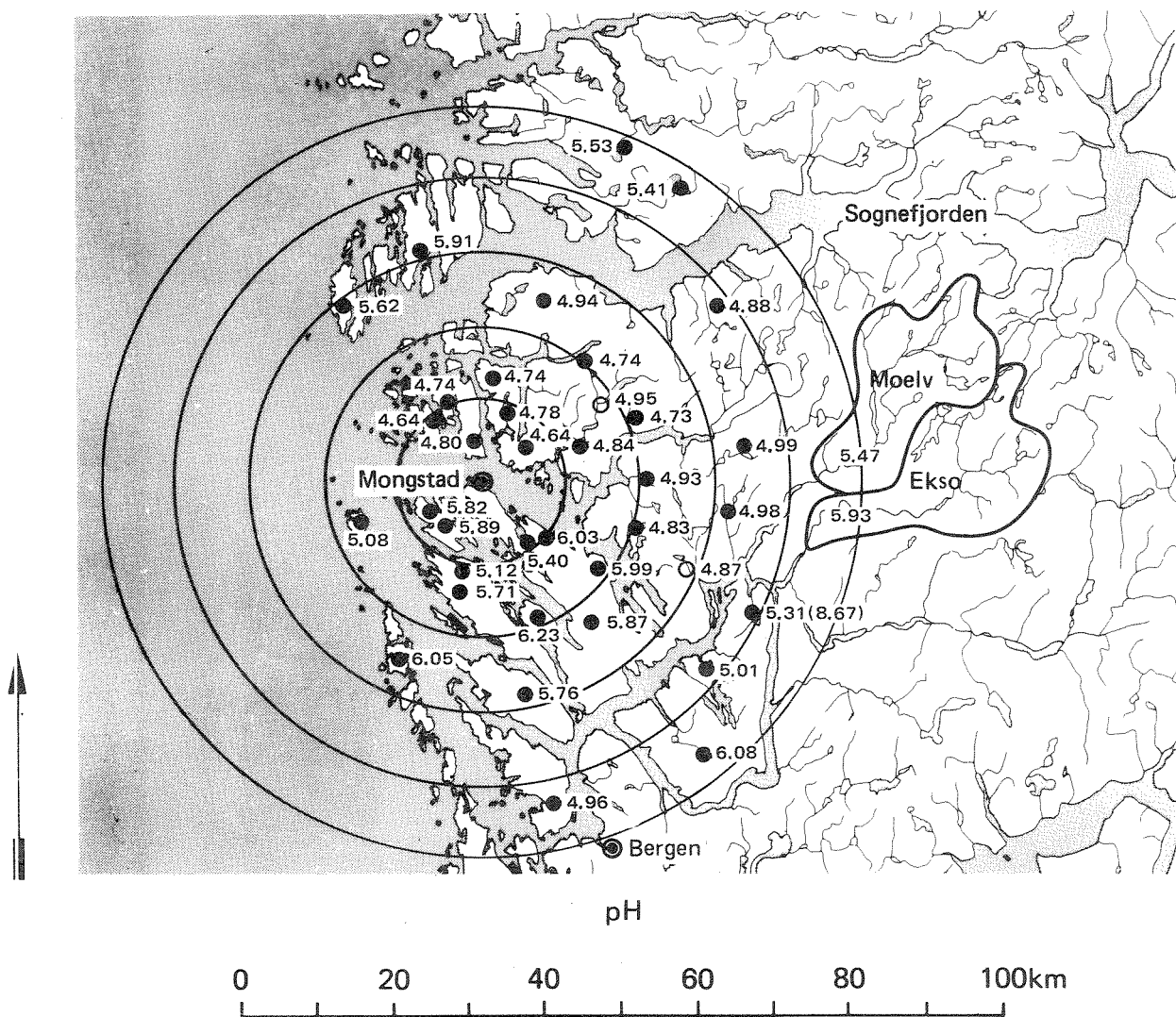
### 4.2 Ikke-marine basekationer (Ca\* + Mg\*). Forsuringsfølsomhet.

Vannets innhold av basekationene kalsium og magnesium gir et uttrykk for den opprinnelige forsuringsfølsomheten. Så lenge vannet ikke er forsuret er basekationene balansert av bikarbonat (alkalitet). Ved forsuring med svovelsyre blir bikarbonat byttet ut med sulfationer. Fordi basekationer som stammer fra havet for det meste er balansert av andre anioner enn bikarbonat, må sjøsaltbidraget trekkes fra for å få et riktig uttrykk for den opprinnelige forsuringsfølsomhet. Sjøsaltbidraget finnes ved å multiplisere kloridverdien med en faktor på 0.233, da det antas at alt klorid kommer fra havet gjennom nedbøren.

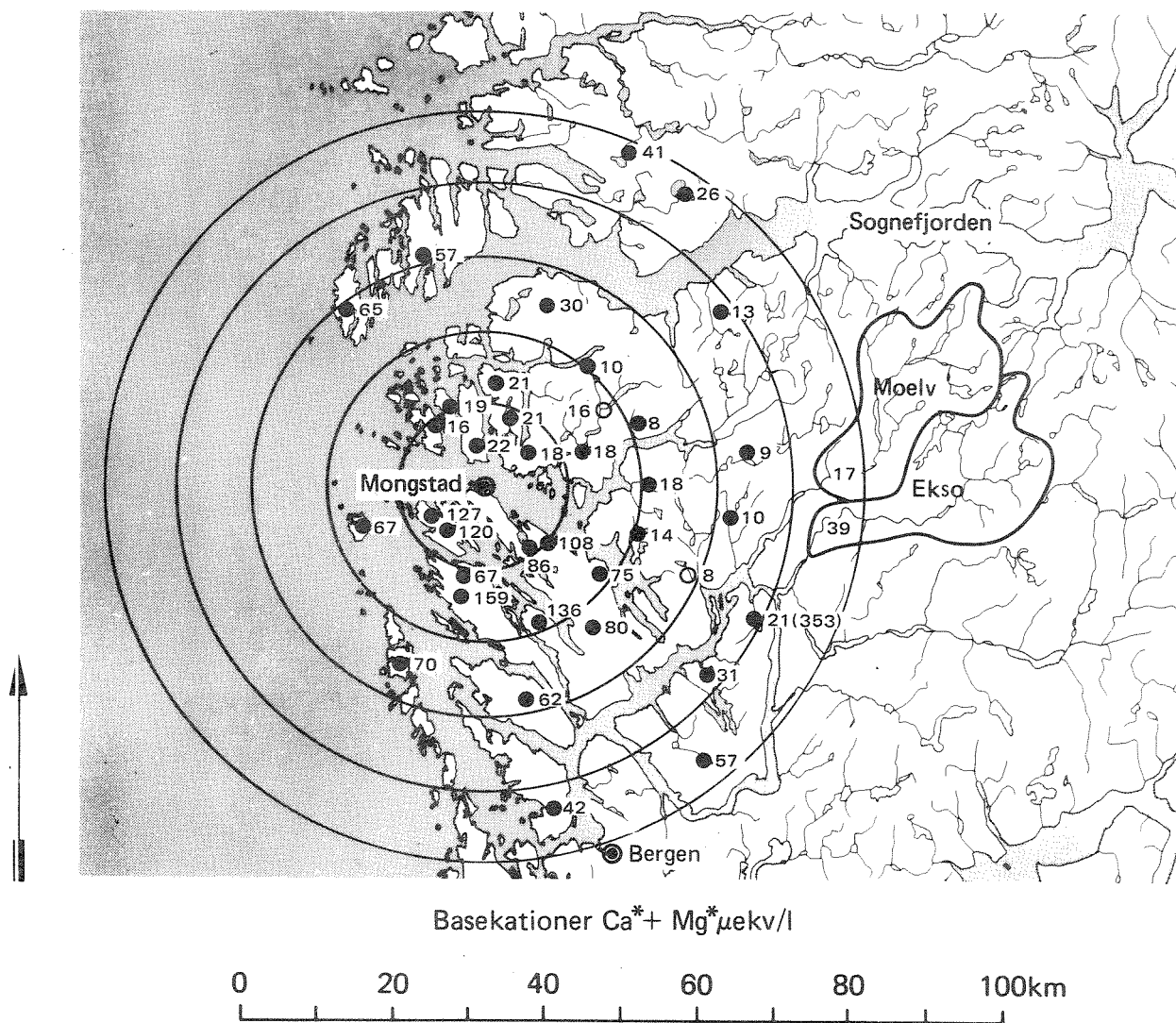
Det fremgår av figur 3 at lave verdier av basekationer (lav motstand mot forsuring) stort sett finnes i de samme områdene hvor pH-verdiene er lave. Flere innsjøer har verdier for basekationer under 10  $\mu\text{ekv/l}$ . Dette viser at området er blandt de mest forsuringsfølsomme i Norge.

### 4.3 Ikke-marin sulfat (SO<sub>4</sub>\*) og forsuring.

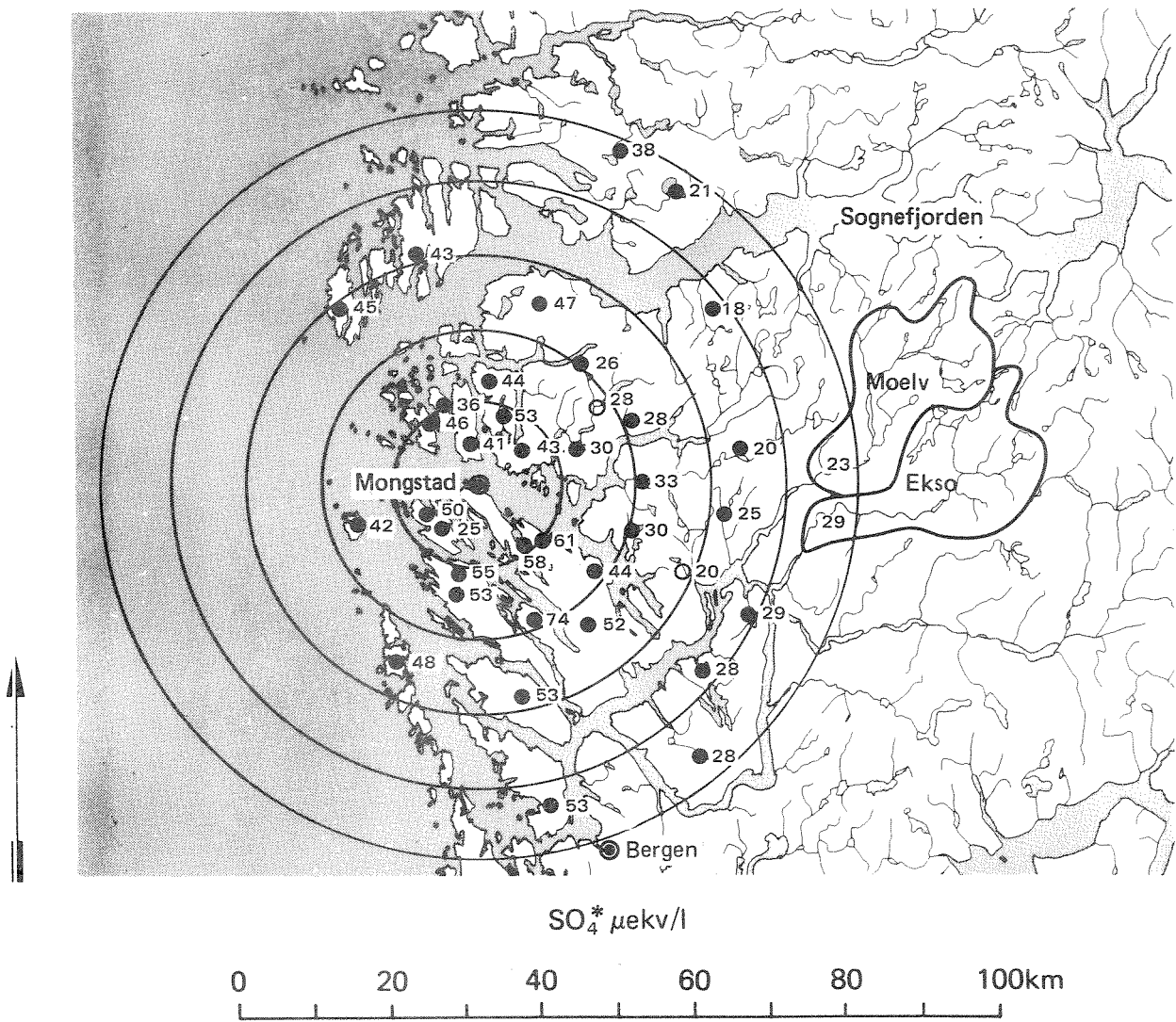
Sulfat er det viktigste sure anionet i vannforsuring. Ved siden av antropogen sulfat (fra forurensning) inneholder overflatevann sulfat fra sjøsalter (mengden er avhengig av avstanden fra kysten). Dette kan man korrigere for ved å trekke fra kloridverdien (i  $\mu\text{ekv/l}$ ) multiplisert med en faktor på 0.103. I tillegg kan vannet inneholde noe sulfat fra geologiske kilder (vitring). Det finnes ingen pålitelig metode til å korrigere for geologisk sulfat. Vanligvis er imidlertid innholdet av geologisk sulfat lavt i forsuringsfølsomme områder, slik



Figur 2. pH i innsjøer rundt Mongstad, høsten 1988.



Figur 3. Ikke-marine basekationer ( $\text{Ca}^* + \text{Mg}^*$ ) i innsjøer rundt Mongstad høsten 1988. Enhet:  $\mu\text{ekv/l}$ .



Figur 4. Ikke-marin sulfat ( $SO_4^*$ ) i innsjøer rundt Mongstad høsten 1988. Enhet:  $\mu\text{ekv/l}$ .

at man kan regne med at ikke-marin sulfat gir et rimelig godt uttrykk for påvirkningen fra forurenset luft og nedbør.

Figur 4 viser at påvirkningen er størst langs kysten og avtar innover i landet. I kystområdene ligger verdiene av  $\text{SO}_4^{*}$  gjennomgående i området 40-60  $\mu\text{ekv/l}$  mot 20-30  $\mu\text{ekv/l}$  lenger inn i landet. Det er ingen tendens til høyere verdier i områdene som er mest utsatt fra nedfall fra Mongstad. Enkelte av innsjøene syd for Mongstad har trolig innslag av sulfat fra geologiske kilder, spesielt innsjø nr.11 og 13.

Erfaringer fra sur nedbør-undersøkelser har vist at forsuringen, definert som tap av alkalitet (bufferevne) kan uttrykkes ved ligningen  $\text{SO}_4^{*} - 15 \mu\text{ekv/l}$ . Forsuringen blir da rundt 30  $\mu\text{ekv/l}$  i ytre strøk og 10-15  $\mu\text{ekv/l}$  i indre strøk av undersøkelsesområdet.

#### 4.4 Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

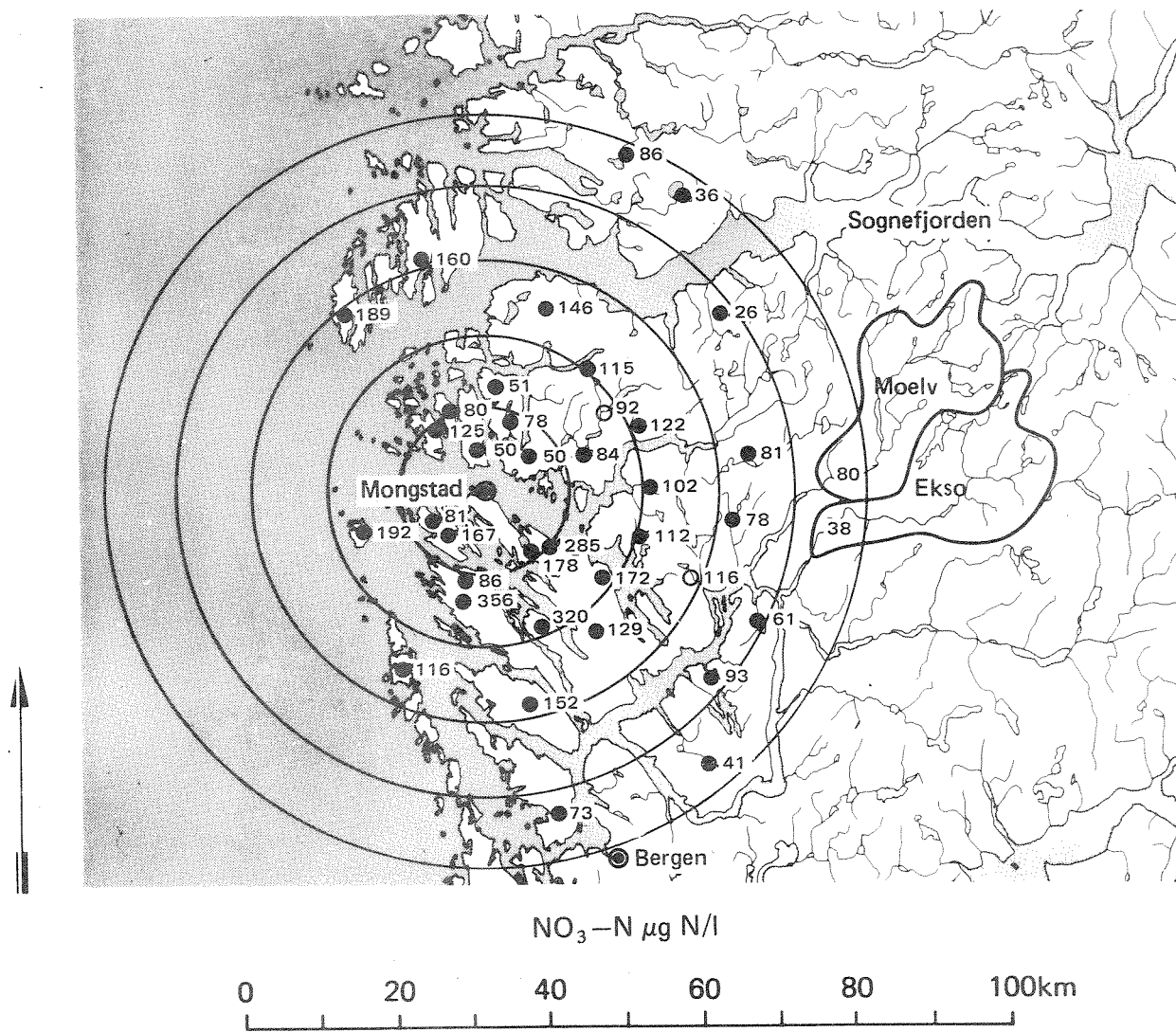
Nitrat er i likhet med sulfat et "surt" anion. Nitratets bidrag til forsuringen har fått økt oppmerksomhet fordi det synes å være en tendens til økende nitratinhold i de mest belastede innsjøene på Sørlandet. Det er spesielt i perioder med lavt nitratopptak i nedbørfeltene (utenom produksjonssesongen) at nitratforsuring gjør seg gjeldene i innsjøene.

Flere av innsjøene i denne undersøkelsen har relativt høye nitratverdier (figur 5). 11 av innsjøene hadde over 10  $\mu\text{ekv/l}$  (>140  $\mu\text{gN/l}$ ). Nitratforsuringen synes å være størst i de godt bufrede vannene syd for Mongstad. Men også i de forsuringfølsomme områdene har de fleste vannene over 70  $\mu\text{g N/l}$  (>5  $\mu\text{ekv/l}$ ). Dette kan gi en viktig marginaleffekt. Eksempelvis kan 5  $\mu\text{ekv/l}$  senke pH fra 5.0 til 4.8. Nitratkonsentrasjonen i nedbøren i Lindåsområdet ligger forøvrig på ca 10-13  $\mu\text{ekv/l}$  (Førland 1981).

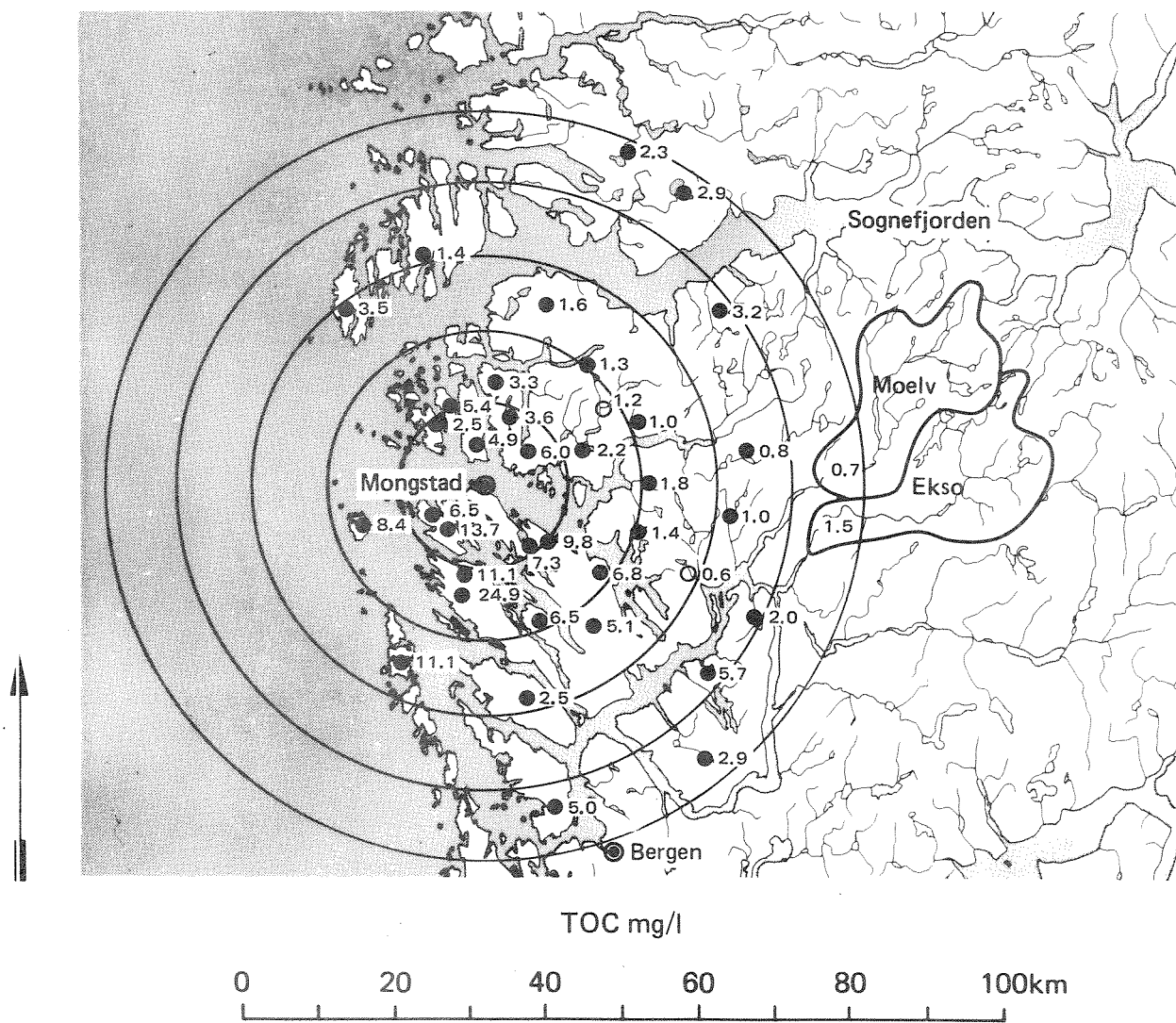
Det foreligger ikke driftsdata for  $\text{NO}_2$ -utslipp fra Mongstad-raffineriet. Designtall for oppgradert raffinering (Böhler 1986) er oppgitt til 57 g  $\text{NO}_2/\text{s}$  eller 62 kg N/t, tilsvarende ca 4  $\text{kekv./t}$  etter oksydasjon til nitrat. Tilsvarende tall for utslipp av svoveldioksyd (90 g  $\text{SO}_2/\text{s}$ ) tilsvarer 10  $\text{kekv./t}$  etter oksydasjon til svovelsyre. Nitrogenutslippene fra Mongstad-raffineriet må derfor antas å ha vesentlig mindre betydning enn svovelutslippene.

#### 4.5 Organisk karbon (TOC).

Organiske stoffer i vann inneholder mobile organiske anioner som gir vannet en naturgitt surhet. Innholdet av "sure" anioner er vanligvis ca 3-5  $\mu\text{ekv}$  pr. mg TOC når TOC-verdiene er høyere enn ca 2 mg TOC/l (mindre eller ubetydelig ved lavere TOC-verdier).



Figur 5. Nitrat (NO<sub>3</sub>-N) i innsjøer rundt Mongstad høsten 1988.  
 Enhet: µg N/l.



Figur 6. Organisk karbon (TOC) i innsjøer rundt Mongstad høsten 1988.  
 Enhet: mg C/l.

Flere av innsjøene i undersøkelsen har høye TOC-verdier som gir vannet en naturgitt lav pH (figur 6). Eksempelvis ville innsjø nr. 14, Færevatnet (TOC= 11 mg/l, pH=5.1) trolig hatt en pH på over 6.0 hvis innholdet av TOC hadde vært lavere enn 2 mg/l. Også i de svært sure vannene nord for Mongstad gir de organiske syrene et vesentlig bidrag til de lave pH-verdiene. Eksempelvis ville innsjø nr 04, Svelivatn (pH=4.64, TOC= 6.0) trolig hatt en pH på ca 5.0 uten naturgitte organiske syrer.

#### 4.6 Alkalitet (ALK-E).

Alkaliteten (bufferkapasiteten) uttrykker innsjøenes motstandsevne mot ytterligere forsuring. De fleste av innsjøene i undersøkelsen har ingen eller liten alkalitet (figur 7). Bare i området Lindåshalvøya - Radøy finner vi innsjøer med relativt høy bufferevne. Som helhet er derfor undersøkelsesområdet svært følsomt for en eventuell økt belastning med surt nedfall.

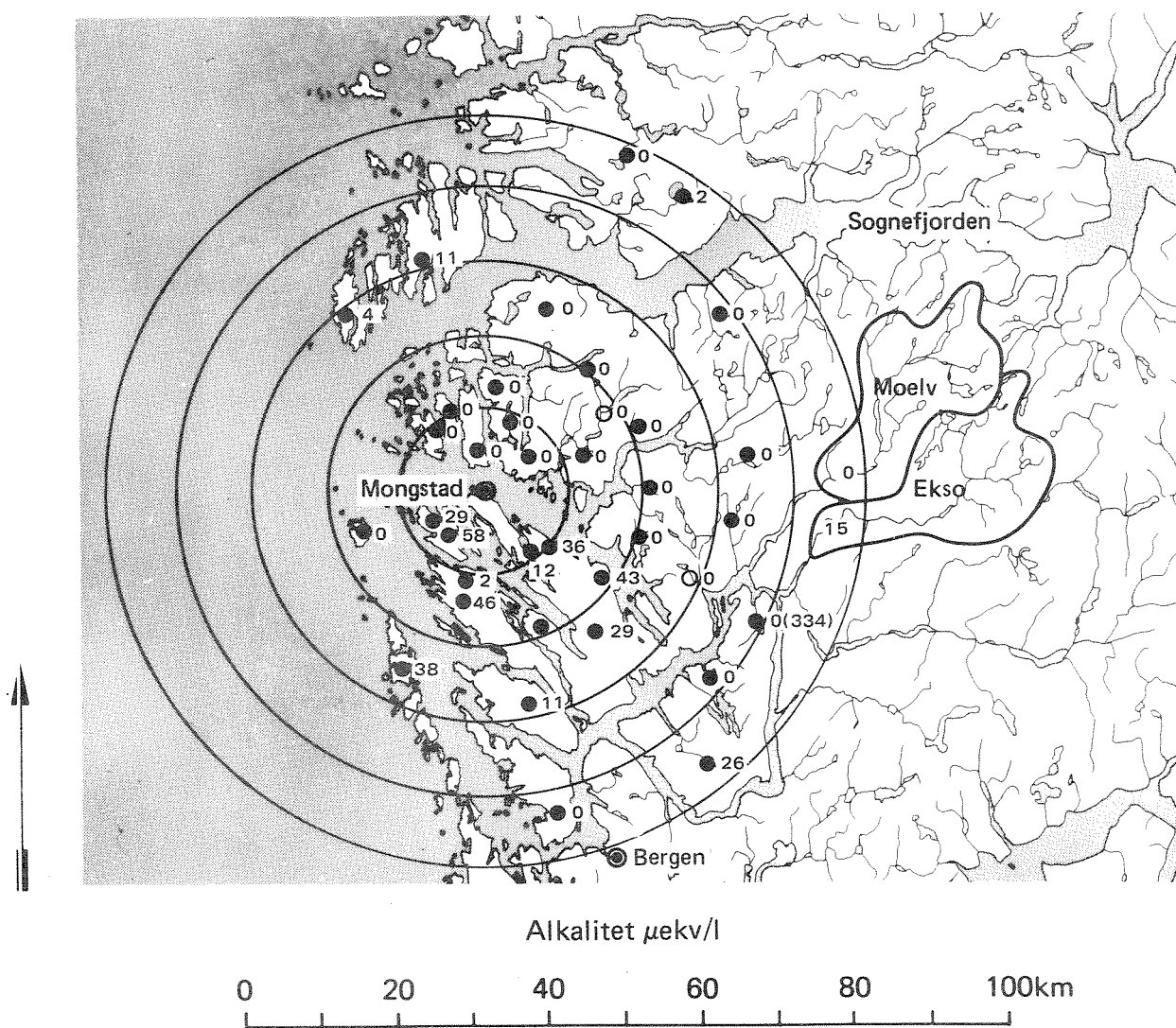
#### 4.7 Avrenning av ikke-marin sulfat (SO<sub>4</sub>\*-FLUX). Vurdering av bidrag fra Mongstad-raffineriet.

I undersøkelsesområdet er der store gradienter i nedbør og avrenning. Avrenningen i nedbørfeltene til de undersøkte innsjøene (figur 8) varierer fra ca 40 l/s.km<sup>2</sup> (vann nr.25) til 130 l/s.km<sup>2</sup> (vann nr. 19). Det generelle mønsteret i undersøkelsesområdet er at avrenningen øker fra kysten og innover i landet. Høyere nedbørmengder medfører større utvasking av forurensninger fra luften. På den annen side blir forurensningene mer fortynnet. I tillegg blir luften rensert for forurensninger når et nedbørområde beveger seg fra kysten og innover i landet. Totaleffekten av dette er at konsentrasjonen av ikke-marin sulfat avtar innover i landet (figur 4).

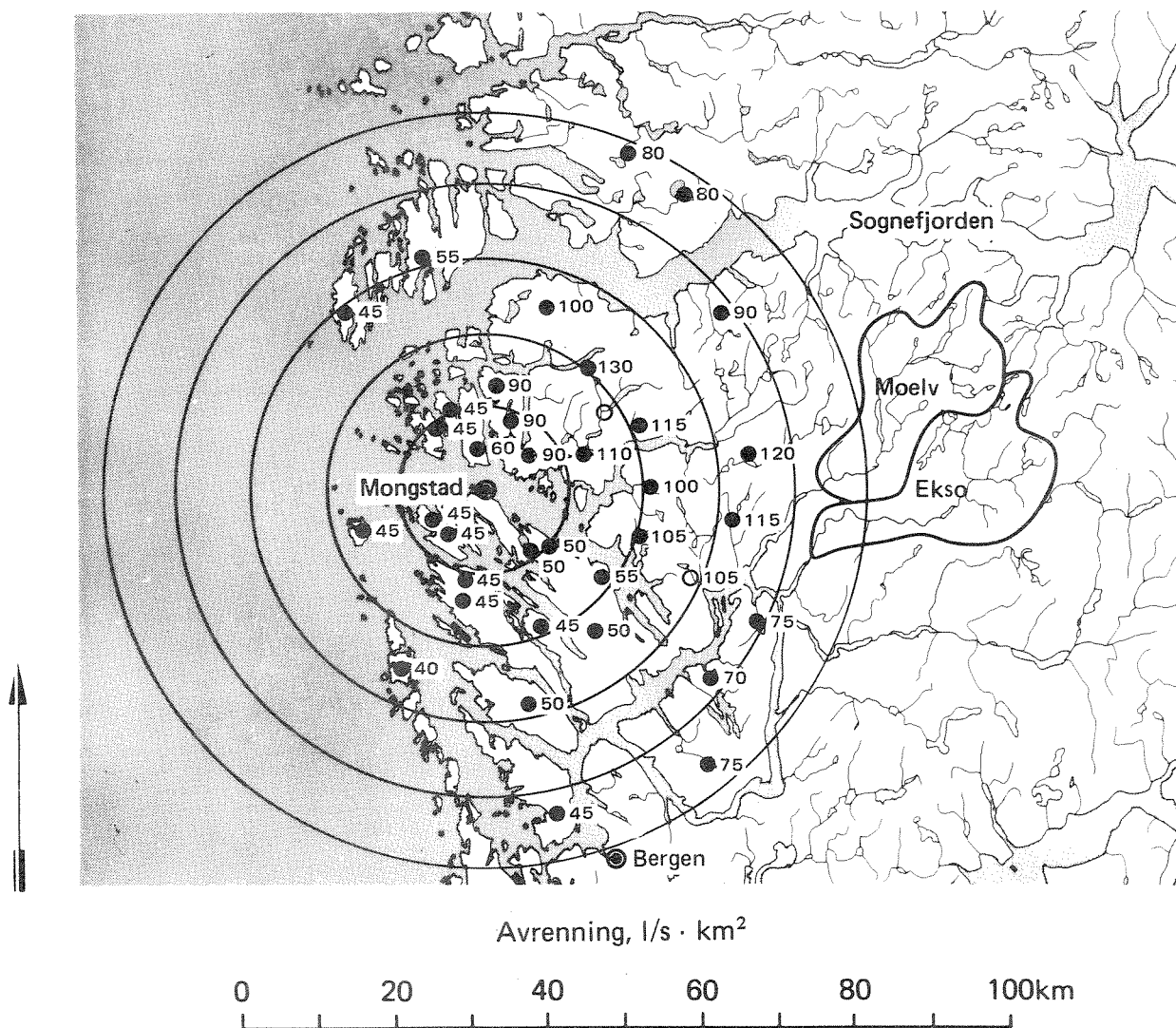
For å få et uttrykk for totalbelastningen av antropogen sulfat må konsentrasjonen av ikke-marin sulfat multipliseres med avrenningen. For å få nøyaktige tall for årsavrenningen av sulfat trenger man egentlig hyppig prøvetaking og kontinuerlig måling av vannføring. Enkelte stikkprøver vi har gjort i andre områder tyder imidlertid på at man får et rimelig godt anslag for materialtransporten av sulfat ved å multiplisere høstkonsentrasjoner med gjennomsnittlig årlig avrenning. Enkeltverdier er selvsagt usikre, bl.a. grunnet tilfeldige analysefeil, men for en gruppe nærliggende innsjøer er anslagene trolig brukbare.

Anslag for årlig materialtransport av ikke-marin sulfat (SO<sub>4</sub>\*) er vist i figur 9. Beregningene gir transportverdier på rundt 1 tonn S/km<sup>2</sup>.år ytterst langs kystlinjen, ca 1.5 - 2 tonn S/km<sup>2</sup>.år i midtområdene og ca 1 tonn S/km<sup>2</sup>.år i de indre undersøkelsesområdene. Dette er i

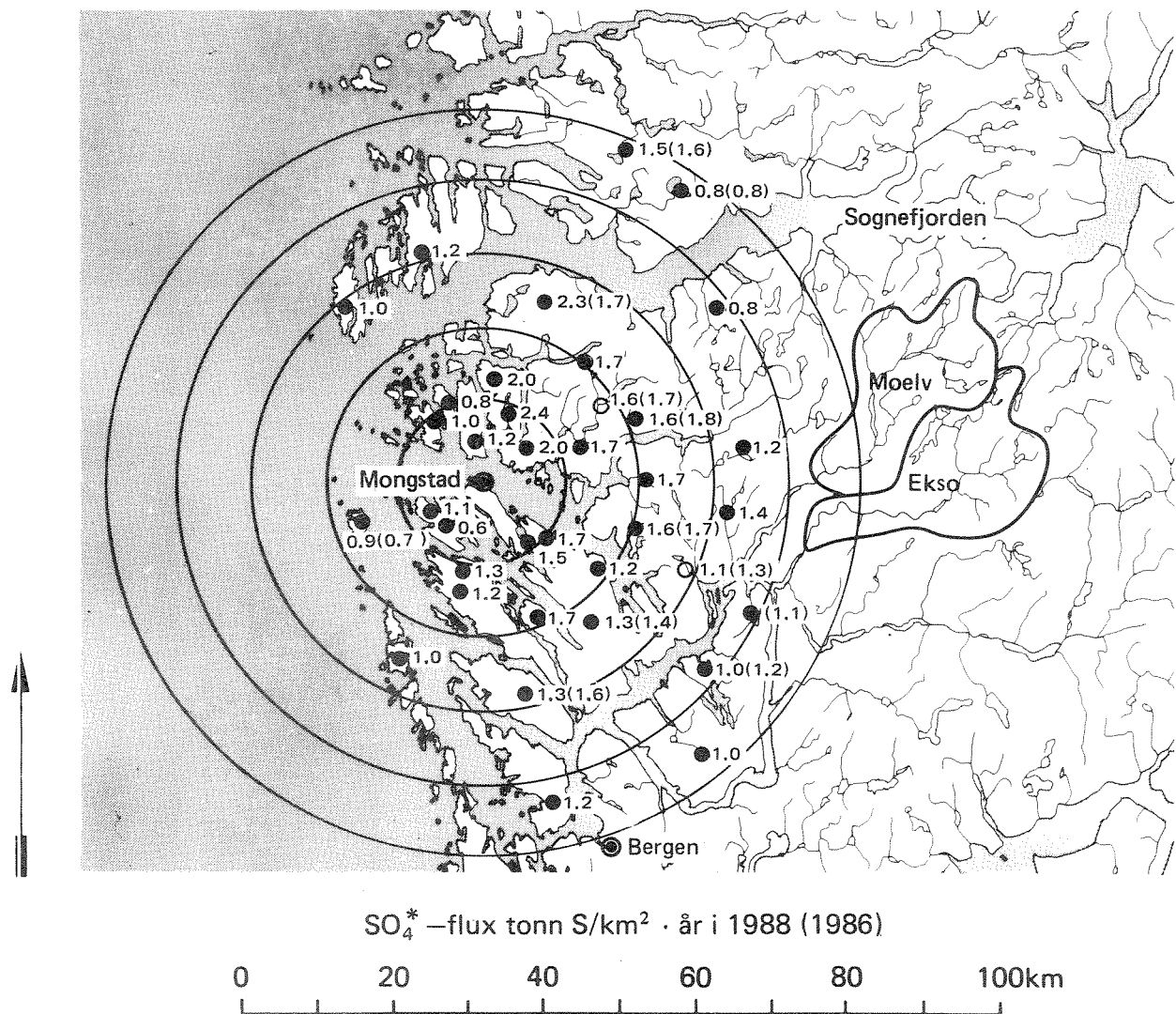




Figur 7. Alkalitet (Alk-E) i innsjøer rundt Mongstad høsten 1988.  
 Enhet:  $\mu\text{ekv/l}$ .



Figur 8. Avrenning i l/s.km<sup>2</sup> for nedbørfelten til de undersøkte innsjøene rundt Mongstad. Data er hentet fra hydrologiske kart (NVE 1987).



Figur 9. Anslag for materialtransporten av ikke-marin sulfat ( $\text{SO}_4^{*}$ -flux) fra undersøkte nedbørfelt rundt Mongstad i 1988. Enhet: tonn S/km<sup>2</sup>·år. Tall i parantes gjelder 1986.

rimelig god overensstemmelse med beregninger basert på nedbørmålinger. Ved overvåkingsstasjonen ved Haukeland målte NILU det årlige nedfallet av ikke-marin sulfat til 1.46 og 1.10 tonn S/km<sup>2</sup>.år i hhv. 1986 og 1987 (SFT 1987B, SFT 1988). Haukeland ligger ca 4 km nordvest for vann nr. 29 og ca 5 km sørvest for vann nr. 28. SO<sup>4</sup>-fluxen fra disse to innsjøene ble beregnet til hhv. 1.4 og 1.2 tonn S<sup>4</sup>/km<sup>2</sup>.år (fig.9). Det er også en rimelig god overensstemmelse med målinger i Lindåsprosjektet (Førland 1981) som fant nedbørtillførsler på 0.7 - 1.0 tonn S/km<sup>2</sup>.år i Lindåsområdet. Fordelingsmønsteret av årsbelastningen med sulfat fra kystlinjen og innover var i hovedtrekkene likt denne undersøkelsen. Tallene i figur 9 er imidlertid gjennomgående noe høyere. Det er imidlertid rimelig å forvente noe høyere tall ved måling i avrenning enn i nedbør på grunn av tørravsetning, konsentrering ved fordampning/evotranspirasjon, samt eventuelle sulfatbidrag fra geologiske kilder i nedbørfeltene.

De høyeste verdier for SO<sup>4</sup>\*-flux finner vi gjennomgående i sektoren N til NØ for Mongstad, altså innenfor den mest utsatte sektor for nedfall. På grunn av nærhet til kystlinjen kombinert med høy avrenning må man imidlertid forvente at totalnedfallet fra fjerntransporterte forurensninger er spesielt høy i dette området. Man kan derfor ikke konkludere med at den høye materialtransporten av sulfat skyldes utslipp fra Mongstad-raffineriet. Førland (1981) beregnet maksimalt totalnedfall av sulfat fra Mongstad-raffineriet til 0.14 tonn SO<sup>4</sup>/km<sup>2</sup>.år eller 0.05 tonn S/km<sup>2</sup>.år innen 60 km fra Mongstad. Fordelingen etter avstanden fra kilden ble imidlertid ikke forsøkt beregnet. Det bør imidlertid nevnes at Førland ikke fant noen sammenheng mellom høy sulfatkonsentrasjon i nedbøren ved Sandebygda og når nedbøren faller mens vinden blåser fra Mongstad mot Sandebygda. Sandebygda ligger ca 4 km fra Mongstad på grensen til den mest utsatte sektor for surt nedfall fra Mongstad-raffineriet (like ved innsjø nr.02 i figur 1).

NILU har imidlertid beregnet bakkekonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> i luft som funksjon av avstand fra Mongstad-raffineriet (Dovland 1973, Böhler 1984, 1986). Under normale spredningsforhold beregnet Dovland maksimalkonsentrasjonen til 70 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> ca 2.5 km fra kilden, avtagende til ca halvparten 10 km fra kilden. For normale driftsforhold beregnet Böhler (1984) maksimalkonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> til 190 og 150 µg/m<sup>3</sup> ved distanser 500 og 1500 m fra kilden, avhengig av meteorologiske forhold. Konsentrasjonen avtok til ca. 35 µg/m<sup>3</sup> mellom 3 og 8 km fra kilden.

Siden forhøyede bakkekonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> i luft synes å gjøre seg mest gjeldende innen ca 1 mil fra Mongstad-raffineriet, synes det rimelig å anta at nedfallet av svovel i dette området kan være høyere

enn gjennomsnittsnedfallet for de nærmeste 60 km som beregnet av Førland. Man skulle derfor vente at innsjø nr. 2, 3 og 4 skulle være mest utsatt. Innsjø nr. 02 har ikke spesielt høy flux (1.2 t S/km<sup>2</sup>.år). Innsjø nr. 03 har den høyeste fluxen (2.4 t) av samtlige innsjøer, og innsjø nr. 04 ligger også høyt (2.0 t). Innsjøer beliggende lengre fra Mongstad har imidlertid tilnærmet like høy flux. Innsjø nr 09 (ca 13km fra Mongstad) og innsjø nr. 18 (ca 25 km fra Mongstad) hadde hhv. 2.0 og 2.3 t S/km<sup>2</sup>.år. Både innsjø nr. 03, 04, 09 og 18 har en kombinasjon av nær beliggenhet til kystlinjen og høy avrenning. Dette er trolig hovedårsaken til at disse innsjøene har en høy årlig sulfatavrenning. Eventuelle bidrag av utslipp fra Mongstad-raffineriet er sannsynligvis så lave i forhold til bakgrunnsnivået at de ikke kan bestemmes på grunn av usikkerheter i beregningene. Ut fra tilgjengelige informasjoner kan vi skjønsmessig anta at bidraget fra Mongstad-raffineriet sannsynligvis er lavere enn 0.1 - 0.2 t S/km<sup>2</sup>.år i de mest utsatte innsjøene. Dette utgjør under 5 µekv/l. Man kan ikke utelukke at utslipp fra Mongstad-raffineriet kan ha en marginal effekt i nærliggende innsjøer, men bidraget er for lite til å kunne bestemmes med tilgjengelige metoder.

**LITTERATUR.**

- Bøhler, T. 1984: Dispersal calculations of emissions from the future expanded oil refinery at Mongstad. NILU, 0-rapport 27/84.
- Bøhler, T. 1986: Stack emission dispersal study- Mongstad development Project.- NILU, 0-rapport nr. 92/86.
- Dovland, H. 1973: Spredningsberegninger for SO<sub>2</sub>-utslipp fra et oljeraffineri på Mongstad.- NILU, 0-rapport nr. 58/73.
- Fonnes, I. 1986: Målinger av pH og ledningsevne i vatn i Mongstad-området, 1986.- Notat. RAFINOR, Mongstad, 26.09.1986.
- Førland, E. J. 1981: Nedbørens kjemiske sammensetning i Nordhordland 1973-1976.- Lindåsprosjektet. NAVF. Rapport nr.33. Universitetet i Bergen.
- Haugland, H. 1987: Utkast til overvåkingsprogram for vassdrag og innsjøer.- Internt memo. RAFINOR; 13.05.1987.
- NVE 1987: Avrenningskart over Norge (1930-60).- Norges vassdrags- og energiverk. Vassdragsdirektoratet. Hydrologisk avdeling.
- SFT 1987: "1000"-sjøers undersøkelsen 1986. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 282/87. SFT / NIVA. Oslo.
- SFT 1987B: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1986.- Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 296/87. SFT, Oslo.
- SFT 1988: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1987.- Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 333/88. SFT, Oslo.

## VEDLEGG

KJEMISKE ANALYSER AV INNSJØER RUNDT MONGSTAD HØSTEN 1988.

LOK	AR	DATO	PH	COND	CA	MG	NA	K	CL	NO3N	SULF	ALK-E	TDC	RAL	ILAL	LAL	SKAT	SAN
				mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
M01	1988	1029	4.64	4.48	0.36	0.55	4.18	0.23	7.2	125	3.2	0.0	2.50	91	19	72	273.8	278.7
M02	1988	1029	4.80	3.74	0.39	0.50	3.56	0.30	5.9	50	2.8	0.0	4.94	104	38	66	239.0	228.3
M03	1988	1029	4.78	3.36	0.38	0.41	3.07	0.17	5.2	78	3.2	0.0	3.60	127	42	85	207.2	207.6
M04	1988	1029	4.64	3.73	0.36	0.42	3.23	0.17	5.8	50	2.8	0.0	5.99	180	70	110	220.3	208.6
M05	1988	1029	5.40	4.16	1.33	0.76	4.19	0.92	6.6	178.	3.7	12.0	7.33	91	57	34	338.7	288.0
M06	1988	1029	5.89	4.96	1.76	1.02	5.05	1.40	7.8	167.	2.3	57.7	13.33	73	52	21	428.5	337.6
M07	1988	1029	5.82	4.90	2.34	0.82	5.50	0.58	8.7	81	3.6	29.3	6.46	77	56	21	439.8	355.5
M08	1988	1029	4.74	3.92	0.38	0.49	3.66	0.28	6.2	80	2.6	0.0	5.41	71	30	41	243.8	234.8
M09	1988	1029	4.74	3.38	0.35	0.42	3.01	0.27	4.8	51	2.8	0.0	3.34	112	30	82	140.1	197.4
M10	1988	1029	4.84	2.40	0.33	0.27	1.91	0.15	3.2	84	1.9	0.0	2.16	85	24	61	208.0	135.8
M11	1988	1029	6.03	4.48	1.52	0.84	3.92	1.18	5.6	285.	3.7	76.4	9.82	68	68	23	346.6	331.8
M12	1988	1029	5.99	3.64	1.12	0.62	3.34	0.81	4.8	172.	2.8	43.0	6.83	91	68	23	273.9	356.0
M13	1988	1016	6.23	4.56	2.11	0.85	4.07	1.34	6.0	320.	4.4	72.3	6.45	74	48	26	387.1	356.0
M14	1988	1029	5.12	5.06	0.95	0.89	5.20	0.46	8.2	86	3.8	1.6	11.11	123	70	53	366.2	318.2
M15	1988	1029	4.57	6.35	2.65	1.09	5.40	1.68	9.6	365.	3.9	46.2	24.93	108	83	25	501.7	424.3
M16	1986	1116	5.08	9.49	1.31	1.49	11.1	0.58	22.2	64.	4.6	0.0	7.8	52	48	4	790.7	726.6
M16	1988	1029	5.62	5.98	1.24	0.92	6.50	0.19	11.0	189.	3.7	4.1	8.44	57	38	19	693.9	631.4
M17	1988	1029	4.94	2.38	0.44	0.34	2.05	0.19	4.0	69	2.2	0.0	3.54	30	15	15	428.8	405.0
M18	1986	1016	4.94	2.52	0.50	0.32	1.99	0.18	3.3	146.	2.7	0.0	1.57	75	25	50	155.4	163.6
M18	1988	1029	4.74	2.44	0.22	0.24	1.82	0.09	3.1	115	1.7	0.0	1.34	71	15	56	153.9	159.7
M19	1988	1029	4.77	2.36	0.22	0.25	1.99	0.12	3.6	111.	2.0	0.0	0.8	93	10	83	138.2	151.1
M20	1986	1011	4.73	2.46	0.18	0.24	1.83	0.08	3.1	122	1.8	0.0	0.95	83	10	73	129.0	133.6
M20	1988	1029	4.93	1.88	0.27	0.23	1.42	0.12	2.2	102	1.9	0.0	1.2	85	22	55	109.0	108.9
M21	1988	1029	4.88	2.46	0.34	0.33	2.35	0.20	4.4	89	2.2	0.0	1.38	96	15	69	164.6	176.3
M22	1986	1123	4.83	2.34	0.25	0.27	1.93	0.11	3.2	112	1.9	0.0	5.1	61	56	21	299.8	295.7
M22	1988	1029	5.80	4.03	1.34	0.66	3.60	0.80	5.6	178.	3.5	24.0	5.08	61	40	81	288.9	265.2
M23	1986	1014	5.87	3.61	1.30	0.63	3.47	0.78	5.6	129	3.3	7.6	2.3	44	10	21	380.5	360.7
M23	1988	1016	5.65	4.88	1.13	0.78	5.6	0.55	7.4	152.	3.6	10.9	2.53	44	15	25	314.5	305.5
M24	1986	1014	5.76	4.31	1.10	0.68	4.39	0.43	10.1	116	3.7	37.8	1.10	61	17	17	437.6	408.0
M24	1988	1029	6.05	5.65	1.21	0.92	6.20	1.21	7.4	160.	3.1	10.9	1.44	35	15	20	302.6	295.7
M25	1988	1029	5.91	4.10	1.03	0.66	4.38	0.20	1.8	26	1.1	0.0	0.80	55	30	25	89.7	75.5
M26	1988	1029	4.88	1.38	0.17	0.14	0.96	0.07	1.6	81	1.4	0.0	0.96	69	10	43	72.8	75.9
M27	1988	1029	4.99	1.38	0.15	0.14	0.97	0.09	1.5	78	1.4	0.0	2.0	68	11	58	75.0	77.0
M28	1988	1029	4.98	1.38	0.17	0.14	0.97	0.09	1.5	61	1.9	0.0	2.0	68	11	28	144.4	148.3
M29	1988	1029	4.98	1.38	0.17	0.14	0.97	0.09	1.5	61	1.9	0.0	2.0	68	11	28	144.4	148.3
M30	1986	1012	5.31	2.08	0.43	0.29	2.0	0.28	3.7	3.7	1.7	0.0	2.0	68	11	28	144.4	148.3
M30	1988	1029	8.67	3.84	7.00	0.29	1.96	0.16	3.1	64	1.7	333.6	2.0	102	12	90	462.5	461.0
M30	1988	1029	8.67	3.84	7.00	0.29	1.96	0.16	3.1	64	1.7	333.6	2.0	102	12	90	462.5	461.0
M31	1986	1020	4.98	2.83	0.54	0.42	2.94	0.29	4.9	93	2.3	0.0	5.71	148	77	45	207.3	192.1
M31	1988	1029	5.01	2.80	0.52	0.39	2.67	0.27	4.1	69	1.9	0.0	1.4	33	22	11	195.7	194.5
M32	1986	1022	5.63	2.61	0.63	0.42	2.77	0.27	4.8	86	2.4	0.0	2.25	42	30	12	185.2	174.6
M32	1988	1029	5.53	2.56	0.72	0.39	2.49	0.23	4.2	36	1.4	1.6	2.87	53	24	29	128.2	115.2
M33	1988	1029	5.41	1.82	0.43	0.28	2.29	0.34	4.4	41	1.6	26.1	2.7	46	38	8	158.4	160.4
M33B	1986	1128	5.44	2.20	0.42	0.31	2.29	0.34	4.4	41	1.6	26.1	2.90	35	22	13	157.4	140.6
M34	1988	1029	6.08	1.97	0.86	0.54	1.80	0.17	2.7	41	1.7	0.0	4.98	35	22	13	272.8	250.9
M35	1988	1029	4.96	3.98	0.76	0.54	3.95	0.30	6.2	73	3.4	0.0	1.2	83	58	58	134.2	144.9
M36	1986	1016	4.94	2.15	0.29	0.28	1.86	0.17	3.5	93	1.9	0.0	1.2	83	25	58	134.2	144.9
M36	1988	1124	4.97	2.31	0.29	0.26	1.92	0.19	3.4	92	1.8	0.0	1.6	72	26	46	135.0	140.7
M36	1988	1110	4.95	2.21	0.30	0.26	1.54	0.11	3.1	73	1.9	0.0	1.2	76	17	59	117.4	131.5
M37	1986	1014	4.91	2.00	0.18	0.21	1.49	0.10	2.8	101	1.6	0.0	0.5	66	10	56	105.9	119.5
M37	1987	1020	4.86	1.95	0.18	0.21	1.63	0.11	2.9	112	1.7	0.0	0.6	65	10	55	113.8	125.2
M37	1988	1031	4.87	1.86	0.17	0.19	1.44	0.07	2.4	116	1.3	0.0	0.6	65	10	55	102.0	103.1
M38	1985	0924	5.06	1.33	0.22	0.17	1.07	0.08	2.0	10	0.9	0.0	2.10	44	29	15	82.3	75.9