

NILU
OPPDRAKSRAFFORT NR. 43/79
REFERANSE: 24078
DATO: JANUAR 1980

LUFTFORURENSNINGER FRA ET KULLFYRT
KRAFTVERK I INDRE VARANGERFJORD
AV
JØRGEN SCHJOLDAGER

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

SAMMENDRAG

Det er utført spredningsberegninger for et planlagt kullfyrt kraftverk i indre Varangerfjord på oppdrag fra Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE). Grunnlaget for beregningene har vært utslippsdata gitt av NVE, samt meteorologiske data fra indre Varangerfjord i 1978/79.

Nødvendig skorsteinshøyde for kraftverket er beregnet til 90 m og 130 m for de to alternativene for svovelinnhold i kull på henholdsvis 1.0% S og 1.5% S. Denne beregningen er basert på flatt terreng. Der terrenget er sterkt skrånende, vil nødvendig skorsteinshøyde kunne bli høyere.

Konsentrasjonen av svoveldioksyd (SO_2) vil vanligvis ikke overskride $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på timesbasis. I situasjoner med røyknedslag vil imidlertid SO_2 -konsentrasjonen kunne bli $500-700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ over korte tider og begrensede områder. Konsentrasjonen av nitrogendioksyd (NO_2) vil i de samme situasjonene neppe overstige $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

På døgn- og halvårsbasis vil de høyeste konsentrasjonene forekomme i sommerhalvåret. I maksimumsområdene vil døgnverdiene av SO_2 neppe bli høyere enn $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Halvårsverdiene er beregnet til å bli inntil ca $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Disse konsentrasjonene er høyere enn det som i dag måles om sommeren i indre Varangerfjord, men ikke høyere enn de høyeste konsentrasjonene som er målt i vinterhalvåret. De høyeste konsentrasjonene på grunn av kraftverket ventes å forekomme innenfor de nærmeste 5-6 km i sektorene øst/sør-øst og vest/nordvest.

Kraftverkets bidrag til årlig tørravsetning av svoveloksyder er for maksimumsområdene beregnet til å bli inntil 50% av dagens nivå.

Årsmiddelkonsentrasjonen av metaller som skyldes kraftverket er sammenliknet med målinger i Finnmark. De maksimale bidragene fra verket er beregnet til å være en faktor 10-200 lavere enn dagens nivå.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	7
2 UTSLIPP	8
3 NØDVENDIG SKORSTEINSHØYDE	11
4 KONSENTRASJONER I BAKKENIVÅ	12
4.1 Maksimale korttidskonsentrasjoner	13
4.2 Oksydasjon av NO til NO ₂	16
4.3 Døgnmiddelverdier	17
4.4 Middelveidier over 6 måneder	20
4.5 Årsmiddelkonsentrasjon av metaller	23
5 AVSETNING	25
6 SAMMENLIKNING MELLOM BYGGESTEDER	29
7 KONKLUSJON	31
8 REFERANSELISTE	33
VEDLEGG A: Veiledende grenseverdier for luftkvalitet	35
VEDLEGG B: Oversikt over noen overhøydeformler	39

LUFTFORURENSNINGER FRA ET KULLFYRT
KRAFTVERK I INDRE VARANGERFJORD

1 INNLEDNING

På oppdrag fra Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE), Statskraftverkene, har Norsk institutt for luftforskning (NILU) vurdert en del luftforurensninger i samband med planer for et kullfyrt varmekraftverk i indre Varangerfjord. NILUs undersøkelse har vært delt inn i to faser. Hensikten med fase 1 var følgende:

- a) Skaffe meteorologiske data til bruk ved spredningsberegninger.
- b) Foreta en innledende bestemmelse av det nåværende forurensningsnivå i luft og nedbør.

Målingene i fase 1 pågikk fra februar 1978 til februar 1979, og rapporten "Spredningsforhold og luftkvalitet i indre Varangerfjord" ble levert i august 1979 (1).

Hensikten med fase 2 var følgende:

- a) Kartlegging av "før-situasjonen" med hensyn til metallinnholdet i plantevekster i området.
- b) Beregning av konsentrasjoner i bakkenivå og avsetning for ulike utslipp og skorsteinshøyder.

Prøver av moltebær, mose og lav ble samlet inn i august 1978, og rapporten "Innhold av elementer, i moltebær, mose og lav, Finnmark 1978" ble levert i desember 1979 (2).

Den rapporten som her legges fram, danner avslutningen på prosjektets fase 2. Rapporten inneholder beregninger av nødvendig skorsteinshøyde, samt konsentrasjoner i bakkenivå og avsetning av svoveldioksyd, nitrogenoksyder, støvpartikler og enkelte metaller. Beregningene er basert på utslippsdata gitt av NVE.

2 UTSLIPP

Data for kraftverket er gitt i tabell 1.

Tabell 1: Data for kullfyrt kraftverk, indre Varangerfjord. (Kilde: NVE.)

Elektrisk effekt:	150 MW
Total virkningsgrad:	0.35
Driftstid pr år:	6000 h
Kullforbruk :	50 t/h
Askeinnhold, kull :	10%

Det forutsettes installert elektrostatisk partikkelutskiller med 99% rensegrad. Det forutsettes ikke avsvovling av røykgassene. For beregning av skorsteinshøyde brukes tre forskjellige verdier for svovelinnhold i kull, nemlig 1.0% S, 1.25% S og 1.5% S (vekt). For de øvrige beregningene brukes to verdier, 1.0% S og 1.5% S.

En har i denne rapporten bare vurdert utslipp fra skorstein og ikke utslipp fra andre deler av kraftverket, f.eks. kullager eller deponeringsplasser for aske. Skorsteinsutslipp av svoveldioksyd (SO_2), nitrogenoksyder (NO_x) og støvpartikler er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Utslipp av SO_2 , NO_x og partikler. (Kilde: NVE.)

		Maksimalt utslipp (kg/h)	Årlig utslipp (t/år)
Svoveldioksyd (SO_2)	1.0% S	1000	6000
	1.25% S	1250	7500
	1.5% S	1500	9000
Nitrogenoksyder (NO_x , regnet som NO_2)		440	2640
Partikler, totalt		50	300

Utslippene i tabell 2 er noe større enn de utslippsgrensene som nå gjelder i USA. Environmental Protection Agency (EPA) har satt utslippskrav til kullfyrte kraftverk i USA (3), og i tabell 3 er disse grenseverdiene gitt for et kraftverk av samme størrelse som det som planlegges i indre Varangerfjord.

Tabell 3: Amerikanske utslippskrav til et 150 MWe kullfyrte kraftverk (3).

	Maksimalt utslipp (kg/h)	Årlig utslipp (tonn/år)
Svoveldioksyd	700	4200
Nitrogenoksyder (regnet som NO ₂)	380	2300
Partikler, totalt	19	114

Utslipppet av svoveldioksyd i tabell 3 er å regne som en øvre grense. Hvis ikke kullet består av 100% antrasitt, kreves det alltid installert renseutstyr for SO₂ med effektivitet 70-90% avhengig av kulletts svovelinnhold.

Utslipppet av metaller er estimert av NVE, vesentlig på grunnlag av analyse av kull fra Svalbard og data fra Energi-kommissionen i Sverige (4). Estimater for 12 elementer er gitt i tabell 4.

Tabell 4: Estimert utslipp av 12 elementer fra et 150 MWe kullfyrt kraftverk. (Kilde: NVE.)

Element	Maksimalt utslipp (g/h)	Årlig utslipp kg/år
Vanadium (V)	5.8	35
Krom (Cr)	3.0	18
Mangan (Mn)	< 5.0	< 30
Kobolt (Co)	0.42	2.5
Nikkel (Ni)	< 23	<135
Kopper (Cu)	< 2.5	< 15
Sink (Zn)	85	510
Kadmium (Cd)	0.83	5
Kvikksølv (Hg)	3.0	18
Bly (Pb)	< 38	<225
Arsen (AS)	3.7	22
Selen (Se)	1.8	11

En har ikke vurdert spredning av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Disse stoffene slippes ut fra kullfyrt kraftverk, men det er stor usikkerhet med hensyn til utslippets størrelse (4).

Data for røykgassmengder etc. er gitt i tabell 5. Grunnlaget for tabell 5 er gitt av NVE med unntak av gasshastigheten, som er anslått av NILU til 20 m/s. Derved framkommer nødvendig skorsteinsdiameter på 3.7 m. Ved å anta at temperaturdifferansen mellom røykgassen og lufta omkring er 150°C, blir utslippets varmeeffekt lik 27 MW.

Tabell 5: Data for røykgassmengde, røykgasstemperatur, utslippshastighet, skorsteinsdiameter og varmeeffekt.

Røykgassmengde	500 000 Nm ³ /h
Røykgasstemperatur	150°C
Utslippshastighet	20 m/s
Skorsteinsdiameter	3.7 m
Røykgassens varmeeffekt	27 MW

3 NØDVENDIG SKORSTEINSHØYDE

Ved beregning av skorsteinshøyde er to faktorer av vesentlig betydning,

- a) Maksimalt tillatt konsentrasjon i bakkenivå.
- b) Røykgassens oppdrift i atmosfæren.

Maksimalt tillatt konsentrasjon i bakkenivå spesifiseres ut fra aktuelle grenseverdier for luftkvalitet. For de utslippene som er nevnt i kapittel 2, vil svoveldioksyd være den "dimensjonerende komponent", dvs det stoffet som med størst sannsynlighet vil overskride de vanligste grenseverdier for luftkvalitet.

Etter spesifisering fra NVE skal maksimalt tillatt konsentrasjon av svoveldioksyd i bakkenivå fra kraftverket være $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som timesmiddel, dvs 75% av den veiledende grenseverdien ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) som Statens forurensningstilsyn (SFT) har foreslått. SFTs forslag til veiledende grenseverdier for svoveldioksyd, nitrogendioksyd og svevestøv er gjengitt i vedlegg A.

Det fins flere likninger for røykgassens oppdrift i atmosfæren. For varmekraftverk og større industrielle punktkilder brukes oftest formler utviklet av Briggs, Bringfelt eller Stümke, som er nærmere beskrevet i vedlegg B. For utslipp fra høye skorsteiner vil de høyeste konsentrasjonene i bakkenivå vanligvis **forekomme ved instabil atmosfærisk sjiktning**, dvs ved god vertikal blanding. Forurensningene vil da bringes raskt ned til bakken, og maksimale konsentrasjoner i bakkenivå vil forekomme i en avstand på noen få km fra utslippet.

I tabell 6 er det gitt beregninger av nødvendig skorsteinshøyde for tre verdier for svovelinnhold i kull basert på tre ulike overhøydeformler. Beregningene er gjort for flatt terreng med spredningsparametre for instabil sjiktning fra Brookhaven i USA (6). De tre formlene gir klart forskjellig verdi for nødvendig skorsteinshøyde. Stümkes formel er utviklet for

industrialegg og varmesentraler og kan for varmekraftverk underestimere røykgassens oppdrift. Briggs formel er utviklet for store varmekraftverk med røykgasser med varme-effekt over 30 MW (7). Bringfelts formel er utviklet i Sverige og brukes både for industriutslipp og varmekraftverk. Bringfelts formel gir i dette tilfellet en skorsteinshøyde høyere enn Briggs, men lavere enn Stümke.

Tabell 6: Nødvendig skorsteinshøyde basert på konsentrasjonsgrense $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved instabil sjiktning.

Overhøydeformel	Svovelinnhold i kull		
	1.0% S	1.25% S	1.5% S
Briggs	80 m	90 m	100 m
Bringfelt	90 m	110 m	130 m
Stümke	120 m	160 m	180 m

En har i det videre arbeidet valgt å basere valget av skorsteinshøyde på Bringfelts overhøydeformel. Nødvendig skorsteinshøyde settes da til 90 m, 110 m og 130 m for alternativene 1.0% S, 1.25% S og 1.5% S.

4 KONSENTRASJONER I BAKKENIVA

I dette kapitlet er det gitt resultater fra spredningsberegninger på grunnlag av utslippsdata spesifisert i kapittel 2 og 3. En har brukt de samme spredningsmodellene som i NILUs tidligere beregninger for varmekraftverk ved Oslofjorden (8,9). Vind- og spredningsdata er samlet inn fra NILUs 36 m-mast i Karlebotn i indre Varangerfjord (1).

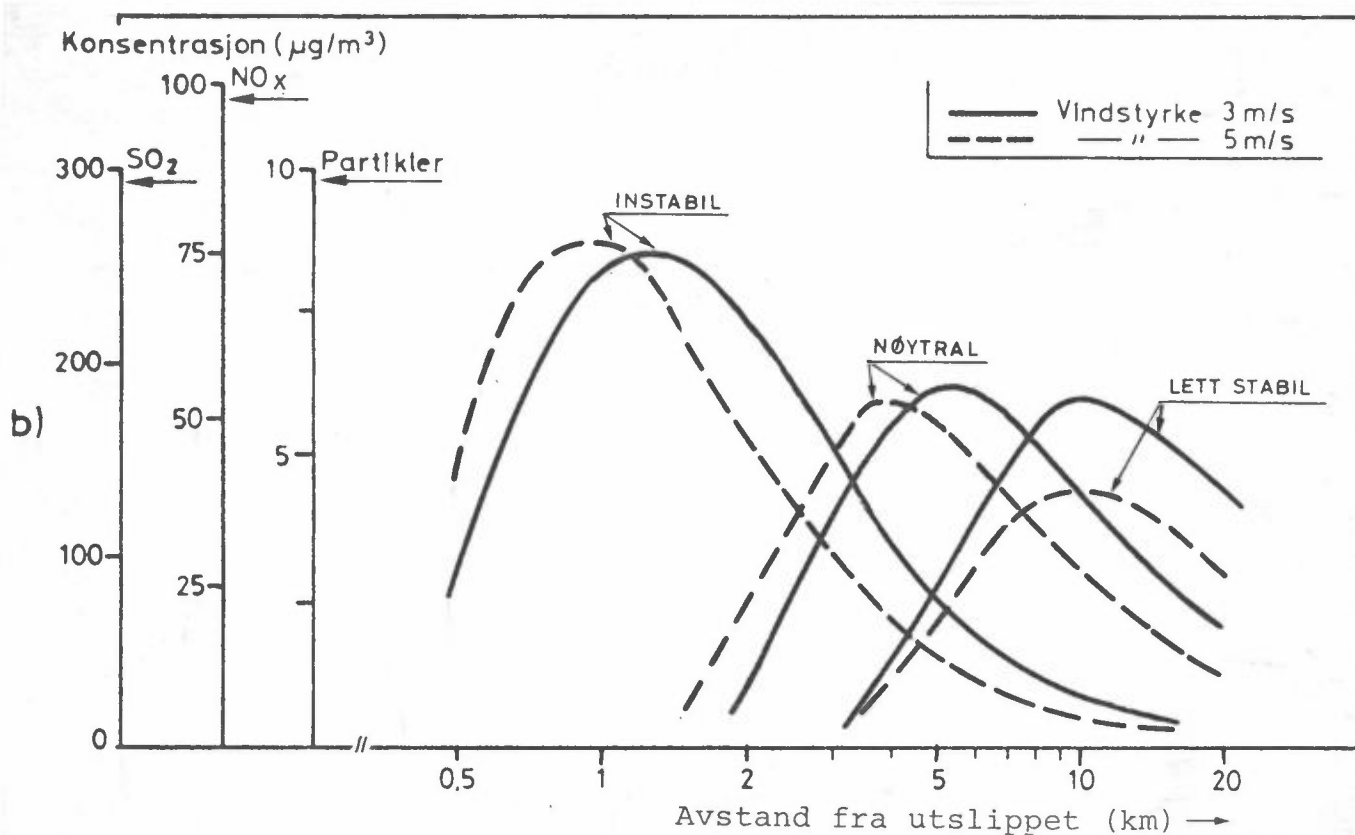
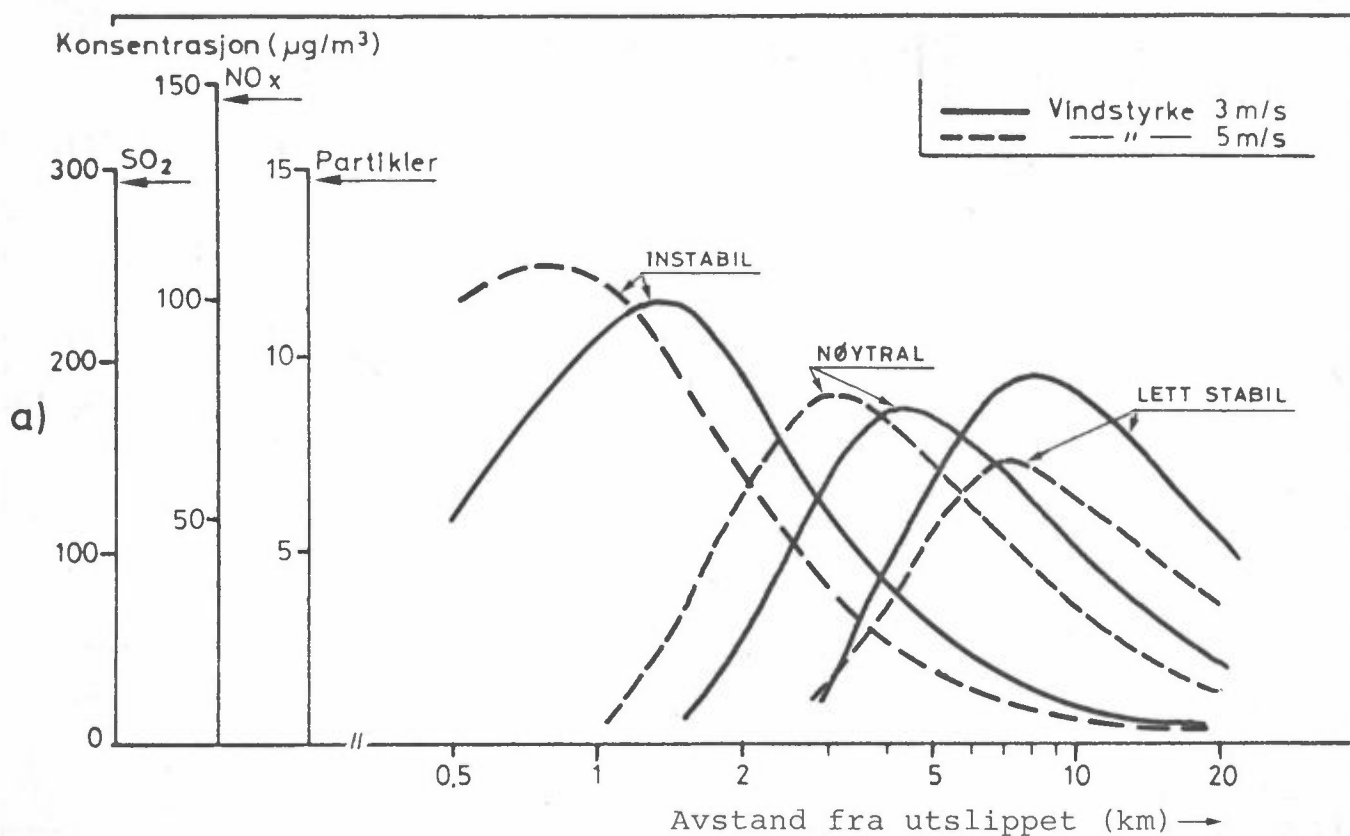
4.1 Maksimale korttidskonsentrasjoner

For beregning av konsentrasjoner med korte midlingstider (1 time) har en antatt Gaussisk spredning med normalfordelt konsentrasjon både horisontalt og vertikalt vinkelrett på vindretningen. Konsentrasjonen er beregnet i bakkenivå langs røykfanens akse. Beregningene er gjort for stabilitetsklassene "instabil", "nøytral" og "lett stabil" ved vanlig forekommende vindstyrker.

I figur 1 er det gitt konsentrasjonen av SO_2 , NO_x (regnet som NO_2) og partikler. Beregningene er gjort for to skorsteinshøyder, 90 m (figur 1a) og 130 m (figur 1b). Utslippet av NO_x og partikler er det samme i begge tilfeller (440 kg/h og 50 kg/h), mens utslippet av SO_2 er 1000 kg/h ved 90 m skorstein og 1500 kg/h ved 130 m skorstein. Vindstyrkene i figur 1 (3 m/s og 5 m/s) refererer seg til 36 m over bakken. Vindstyrkens variasjon med høyden er inkludert i beregningsmodellen.

Beregningene gir ca 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som maksimal SO_2 -konsentrasjon i begge tilfeller. For NO_x og partikler er de maksimale konsentrasjonene høyest ved alternativet med 90 m skorstein, henholdsvis ca 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og ca 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I visse vær-situasjoner vil konsentrasjonene kunne bli høyere enn det som er gitt ovenfor. Dette gjelder når en stabil pålandsvind instabiliseres nedenfra ved transport inn over land. En vil da få røyknedslag og mulighet for høye konsentrasjoner over kortere tider. I tabell 7 er disse konsentrasjonene estimert ved hjelp av samme beregningsmodell som i tidligere undersøkelser (8,9). De maksimale konsentrasjonene vil forekomme ved vindstyrker på 1-2 m/s i 3-5 km avstand fra utslippet.



Figur 1: Konsentrasjoner (timesverdier) i bakkenivå langs røykfanens akse for svoveldioksyd, nitrogenoksyder (regnet som NO_2) og partikler.
a) 90 m skorstein, b) 130 m skorstein.

Tabell 7: Maksimale konsentrasjoner ved røyknedslag i en sjøbrissituasjon.

Skorsteinshøyde	90 m	130 m
SO ₂	350 - 500 µg/m ³	400-650 µg/m ³
NO _x (regnet som NO ₂)	150 - 220 "	110-190 "
Partikler	15 - 25 "	13- 21 "

Disse konsentrasjonene vil forekomme over begrensede områder i tidsperioder på inntil noen få timer. Slike situasjoner er antatt å finne sted ca 1% av tiden i sommerhalvåret ved Oslofjorden (8). Hyppigheten i indre Varangerfjord kan bli høyere enn 1%, fordi pålandsvind ofte forekommer om sommeren samtidig som fjorden er relativt kald. På grunnlag av de timevise meteorologiske data er hyppigheten grovt anslått til ca. 2% sommeren 1978. Tabell 7 indikerer derfor at en ikke kan utelukke konsentrasjoner høyere enn SFTs veiledende grenseverdi for SO₂ på timesbasis (400 µg/m³ med tillatt overskridelse i 2% av tiden.)

Maksimale korttidskonsentrasjoner av metaller kan beregnes ved å anta proporsjonalitet med SO₂, NO_x og partikler. En har da forutsatt at partiklene er så små at de spres som gasser (typisk diameter 0.1-1 µm). Hvis kraftverkets partikkelfilter ikke funksjonerer skikkelig, kan det også slippes ut større partikler, og konsentrasjonene i bakkenivå nær verket kan derved øke.

I tabell 8 er maksimale korttidskonsentrasjoner ved røyknedslag gitt for de 12 elementene hvis utslipp er spesifisert i tabell 4. En har regnet for alternativet med 90 m skorsteinshøyde. Ved 130 m skorsteinshøyde blir de maksimale konsentrasjonene ca. 15% lavere. For enkelthets skyld er konsentrasjonene oppgitt som enkelttall og ikke som intervaller.

Tabell 8: Maksimale korttidskonsentrasjoner (ved røyknedslag) av 12 elementer, basert på 90 m skorsteinshøyde og utslipp fra tabell 4.

Element	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Se
Konsentrasjon ng/m ³	3	1.5	<2.5	0.2	<10	<1.5	40	0.4	1.5	<20	2	1

4.2 Oksydasjon av NO til NO₂

Hvor stor del av nitrogenoksydene som vil foreligge som nitrogendioksyd (NO₂) i de nærmeste km fra verket, er noe usikkert. I utredningen fra den svenske Energikommisjonen er andelen summarisk anslått til 25%. En nylig foreslått beregningsmetode, "Ozone Limiting Method", baserer seg på oksydasjon ved hjelp av ozon (10). Ozon oksyderer NO til NO₂ relativt raskt, og ozoninnholdet i lufta bestemmer hvor mye av nitrogenoksydene som vil foreligge som NO₂ i de nærmeste områdene omkring utslippet. Målinger fra Tromsø indikerer at 80 µg/m³ kan være en representativ ozonkonsentrasjon for de tilfellene det naturlige bakgrunnsnivået er på sitt høyeste. I gjennomsnitt for sommerhalvåret er antakelig 45 µg/m³ en mer representativ verdi (11).

I tabell 9 har en estimert konsentrasjonen av NO₂ for ulike konsentrasjoner av NO_x ved hjelp av "Ozone Limiting Method". En har antatt at 10% av nitrogenoksydene er sloppet ut som NO₂.

Regneeksemplene i tabell 9 gir alle en høyere NO₂-andel enn 25%. I tabell 7 ble maksimal NO_x-konsentrasjon estimert til ca 200 µg/m³ ved røyknedslag. Basert på tabell 9 kan en som en øvre grense anta at 50% av nitrogenoksydene vil foreligge som NO₂ i de nærmeste områdene omkring verket. Konsentrasjonen av NO₂ vil derved neppe overskride 100 µg/m³.

Tabell 9: Beregnet konsentrasjon av NO₂ for ulike konsentrasjoner av NO_x og ozon ved "Ozone Limiting Method" (10).

NO _x (regnet som NO ₂) µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	
	80 µg O ₃ /m ³	45 µg O ₃ /m ³
10	10	10
50	50	47
100	85	52
200	95	62

Av tabell 9 framgår at NO₂-andelen av nitrogenoksydene øker med økende ozonkonsentrasjon, men avtar med økende konsentrasjon av NO_x. Det må understrekes at metoden ennå ikke er skikkelig gjennomprøvd. Mange målinger i byer og tettsteder indikerer imidlertid at NO₂-andelen kan overstige 25%.

Tabell 7 og tabell 9 indikerer at kraftverket ikke vil gi timesverdier av NO₂ høyere enn SFTs veiledende grenseverdi, som er 400 µg/m³ (vedlegg A) eller Verdens helseorganisasjons retningslinje som er 190-320 µg/m³ (15).

4.3 Døgnmiddelverdier

De høyeste døgnmiddelverdiene vil forekomme når hyppigheten av instabil sjiktning er høy og vindretningen varierer lite over døgnet. I sommermånedene 1978 var det østlig vind ca 60% av tiden i indre Varangerfjord. Det var instabil sjiktning 35% av tiden på døgnbasis og 60-80% av tiden midt på dagen (1).

For beregning av døgnverdier er konsentrasjonene midlet horisontalt over sektorer på 30°. Som regneeksempel har en valgt ut et enkelt døgn, 29.7.1978. Vindretningen var 100-120° (øst-sørøstlig kant) og vindstyrken 2-5 m/s. Det var 14 timer med instabil sjiktning og 10 timer med nøytral sjiktning.

En har tenkt seg kraftverket plassert i Karlebotn, der de meteorologiske målingene ble foretatt. I kapittel 6 vil en kort vurdere beregningene i forhold til tre aktuelle byggesteder i indre Varangerfjord.

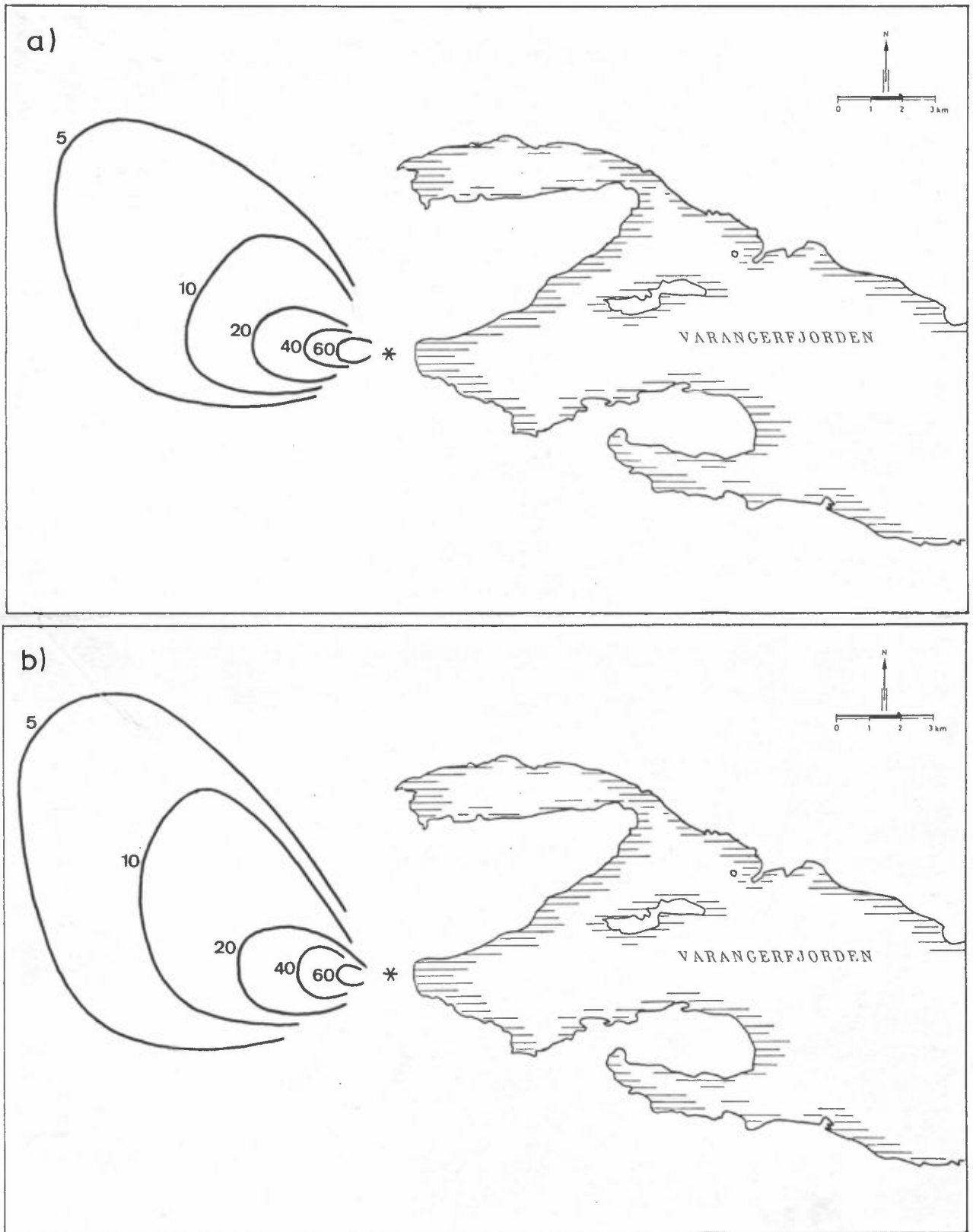
I figur 2 er døgnverdier for SO₂ beregnet på grunnlag av meteorologiske data for 29.7.1978. Konsentrasjonsfordelingen er svært lik i de to tilfellene, men alternativet med 1500 kg/h og 130 m skorstein gir noe høyere konsentrasjoner for avstander fra utslippet større ca 5 km.

I tabell 10 er det gitt de maksimale døgnmiddelverdiene for SO₂, NO_x og partikler beregnet for 29.7.1978.

Tabell 10: Maksimale døgnmiddelverdier for svoveldioksyd, nitrogenoksyder og partikler, basert på meteorologiske data for 29.7.1978.

Skorsteinshøyde	90 m	130 m
SO ₂	63 µg/m ³	68 µg/m ³
NO _x (regnet som NO ₂)	28 "	20 "
Partikler	3 "	2 "

I perioden fra februar 1978 til februar 1979 ble det i alt målt 17 døgnverdier av SO₂ i Karlebotn høyere enn 20 µg/m³. Alle disse forekom i månedene oktober-april. Høyeste døgnverdi var 109 µg/m³ (28.4.1978). I månedene mai-september 1978 var høyeste døgnverdi 16 µg/m³ (1). Det beregnete bidraget fra kraftverket vil derfor kunne gi døgnverdier av SO₂ vesentlig høyere enn det som ble registrert i sommermånedene 1978, men neppe høyere enn det som maksimalt ble målt i 1978-79. I vintermånedene vil bidraget fra kraftverket til konsentrasjoner i bakkenivå i de nærmeste områdene omkring verket bli lavere enn i sommermånedene, jfr. pkt. 4.4.



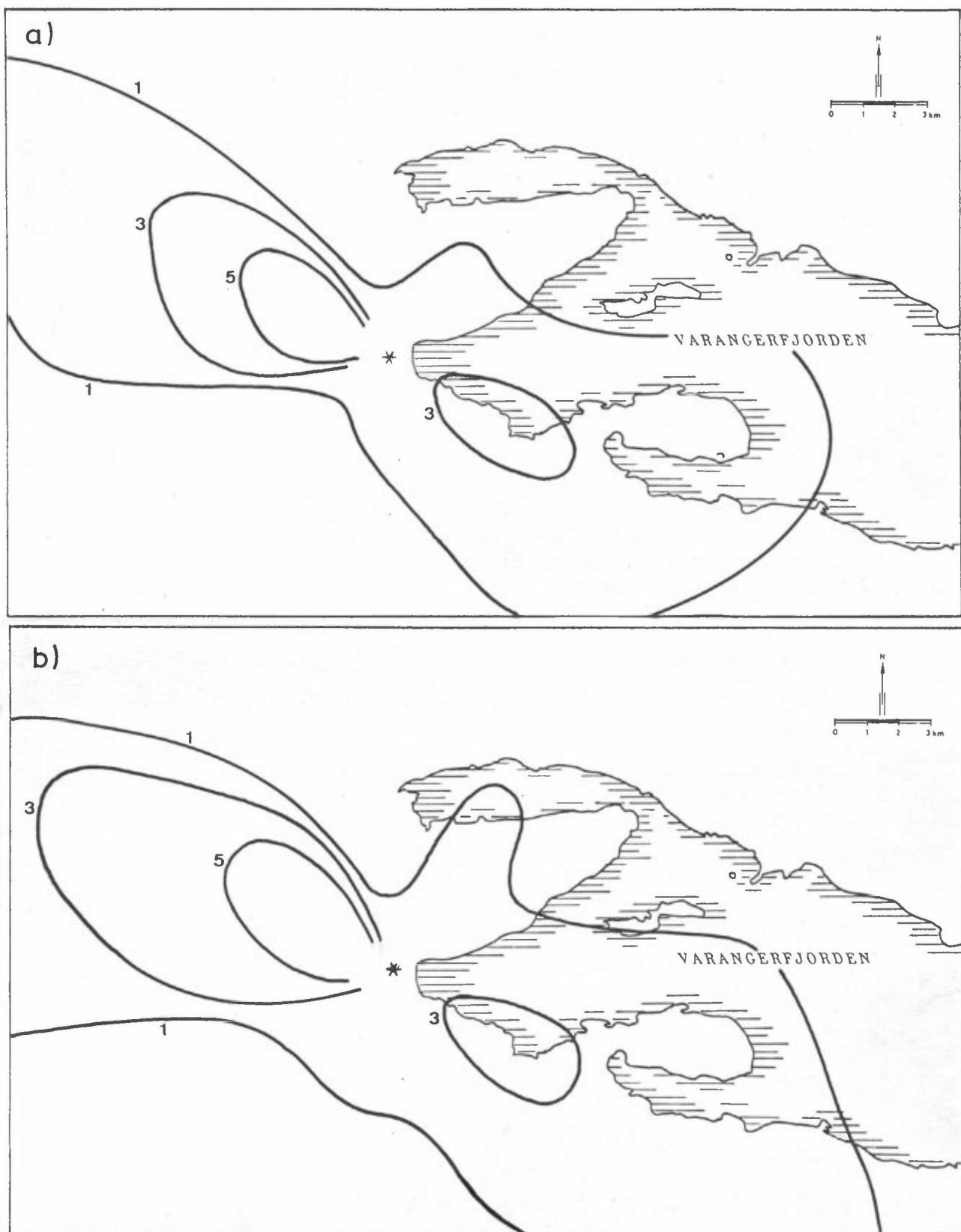
Figur 2: Beregnete døgnmiddelkonsentrasjoner ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av SO_2 , basert på meteorologiske data for 29.7.1978.
a) Utslipp 1000 kg/h, skorsteinshøyde 90 m.
b) Utslipp 1500 kg/h, skorsteinshøyde 130 m.

Utslippet fra kraftverket kan ikke ventes å gi døgnkonsentrasjoner høyere enn SFTs veiledende grenseverdier for SO_2 , NO_2 eller svevestøv, jfr. vedlegg A. En må her ta et visst forbehold for svevestøv, i det et kullfyrt kraftverk også har andre utslipp av støv enn fra skorsteinen.

4.4 Middelverdier over 6 måneder

I sommerhalvåret er vinden vesentlig fra østlig kant (pålandsvind), men med et visst innslag av vind fra vestlig kant (fralandsvind) om natta. I vinterhalvåret dominerer vind fra vestlig kant. Videre er det klart mindre instabil sjiktning og mer stabil sjiktning om vinteren enn om sommeren (1).

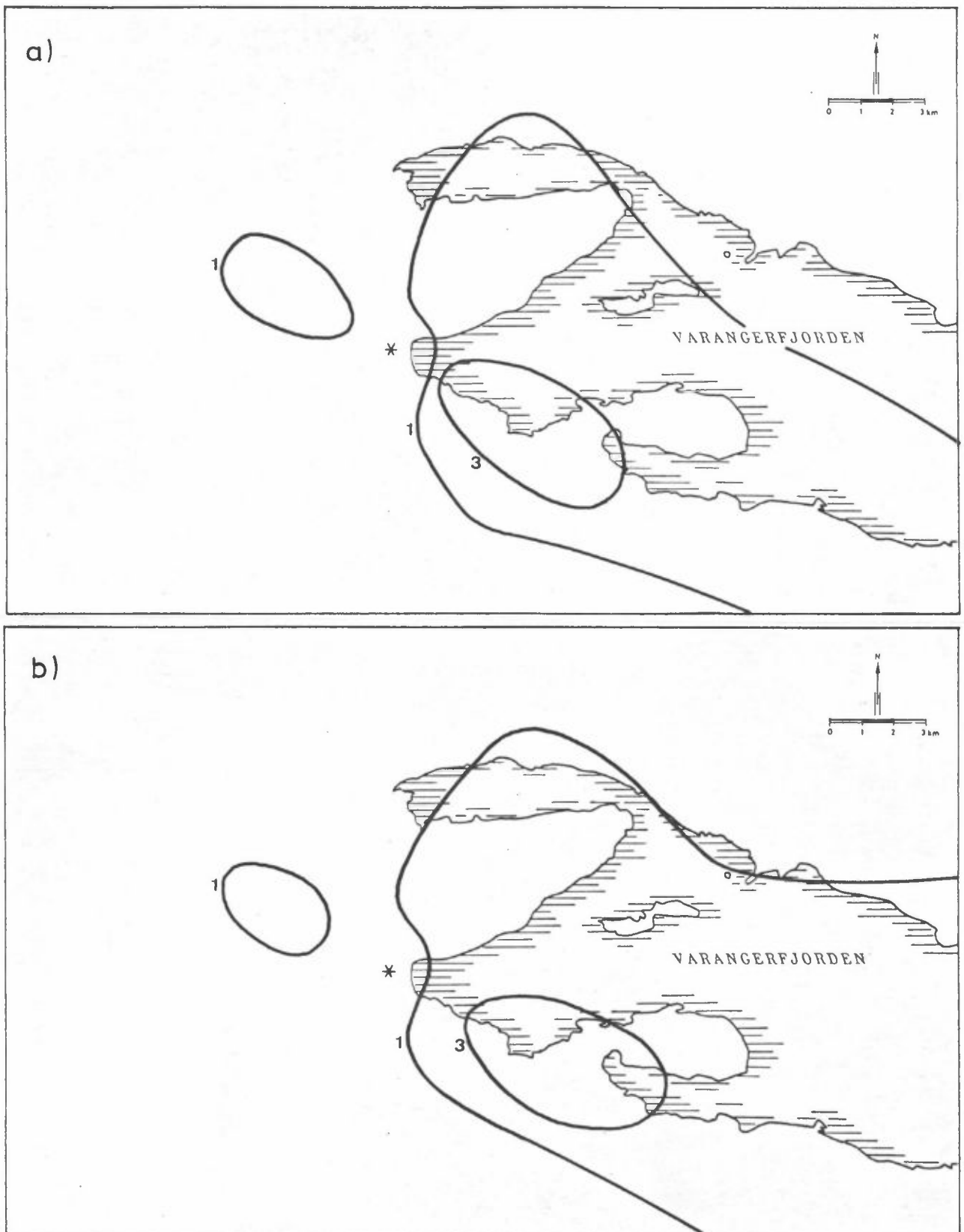
Konsentrasjonsfordelingen for SO_2 er vist i figur 3 og 4 for de to 6 måneders-periodene april-september og oktober-mars. Datagrunnlaget er vind- og spredningsdata fra Karlebotn 1978-79. Konsentrasjonene er midlet horisontalt over sektorer på 30° . En har antatt maksimalt utslipp, 1000 kg/h og 1500 kg/h i hele perioden. Konsentrasjonen i sommerhalvåret er høyere enn i vinterhalvåret. I tabell 11 er konsentrasjonen i maksimumsområdene gitt for SO_2 , NO_x og partikler.



Figur 3: Beregnete middelkonsentrasjoner for sommerhalvåret av SO₂ (µg/m³) basert på meteorologiske data for april-september 1978.

a) Utslipp 1000 kg/h, skorsteinshøyde 90 m.

b) Utslipp 1500 kg/h, skorsteinshøyde 130 m.



Figur 4: Beregnete middelkonsentrasjoner for vinterhalvåret av SO₂ (µg/m³) basert på meteorologiske data for oktober-mars 1978-79.
a) Utslipp 1000 kg/h, skorsteinshøyde 90 m.
b) Utslipp 1500 kg/h, skorsteinshøyde 130 m.

Tabell 11: Middelmålinger (µg/m³) for svoveldioksyd, nitrogenoksyder og partikler for 6 måneders-periodene april-september (sommerhalvåret) og oktober-mars (vinterhalvår).

Skorsteinshøyde	Sommerhalvår		Vinterhalvår	
	90 m	130 m	90 m	130 m
SO ₂	6.8	6.6	3.7	3.2
NO _x (regnet som NO ₂)	3.0	1.9	1.6	0.9
Partikler	0.3	0.2	0.2	0.1

Målingene av SO₂ i Karlebotn ga en middelferd for april - september 1978 på 3.3 µg/m³, mens middelferdien for oktober-mars 1978-79 var 6.4 µg/m³. I sommerhalvåret vil derfor verket kunne gi et maksimalt konsentrasjonsbidrag på det dobbelte av dagens nivå. I vinterhalvåret kan det maksimale bidraget bli på inntil halvparten av dagens nivå.

Utslipet fra kraftverket kan ikke ventes å gi halvårskonsentrasjoner høyere enn SFTs veiledende grenseverdier, jfr. vedlegg A. Som for døgnverdier må en ta forbehold for partikler, i det kraftverket har støvkilder i tillegg til skorsteinsutslippet.

4.5 Årsmiddelmåling av metaller

I tabell 12 er det beregnet årsmiddelmåling i maksimumsområdene av de 12 elementene fra tabell 4 for alternativet med 90 m skorstein. Maksimale konsentrasjoner for alternativet med 130 m skorstein vil være ca 35% lavere. Benevnningen i tabell 12 er pg/m³ (1 pg = 10⁻³ ng = 10⁻¹² g). Som for tabell 8 har en antatt at metallene spres som gasser.

Tabell 12: Beregnet årsmiddelkonsentrasjon (pg/m³) i maksimumsområdene av 12 elementer. 90 m skorsteinshøyde, utslipp fra tabell 4.

Element	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Se
Konsentrasjon (pg/m ³)	15	7.5	<13	1.0	<56	<6.3	<210	2.1	7.5	<94	<9.2	4.6

Det er foretatt målinger av metallkonsentrasjoner i luft i Finnmark, i Skoganvarre i 1973 og Jergul i 1978-79 (12). Skoganvarre ligger ca 140 km sørøst og Jergul ca 180 km sørøst for indre Varangerfjord. Videre ble det høsten 1979 samlet luftprøver fra Svanvik, ca 30 km sør for Kirkenes. Dette målestedet er influert av utslipp fra metallurgisk industri i Nikel i Sovjetunionen. Resultatene fra Svanvik vil bli rapportert i løpet av våren 1980.

I tabell 13 har en gitt noen representative middelkonsentrasjoner for Skoganvarre og Jergul. Målingene på Jergul er foretatt for prosjektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk" (SNSF-prosjektet) og vil bli ferdig bearbeidet i løpet av våren 1980. Benevningen i tabell 13 er ng/m³, dvs. en faktor 1000 større enn benevningen i tabell 12.

Tabell 13: Representative middelkonsentrasjoner i luft (ng/m³) for noen elementer, Jergul 1978-79 og Skoganvarre 1973.

	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Se
Jergul 1978-79 ng/m ³	0.3-1	0.3-1	0.5-2	<0.3	< 5	2-5	0.05-0.2	2-3	4-6	0.2-1	0.1-0.4
Skoganvarre 1973 ng/m ³		0.35	2.1	0.049	1.6	4.7					0.17

Verdiene for Skoganvarre stemmer brukbart overens med de fra Jergul, slik at det er rimelig å anta at tallene i tabell 13 er representative for et større område. Det er ikke registrert merkbar metallpåvirkning fra Nikel i Sovjetunionen på mose og lav i indre Varangerfjord (2).

Konsentrasjonene i tabell 13 er vesentlig høyere (en faktor 10-200) enn de beregnete maksimale årsmiddelkonsentrasjonene som skyldes kraftverket. Kraftverkets bidrag i forhold til nåværende konsentrasjoner er altså atskillig større for svoveldioksyd enn for de undersøkte metallene.

5 AVSETNING

For beregning av tørravsetning på bakken har en brukt følgende enkle sammenheng

$$D = c \cdot v_d$$

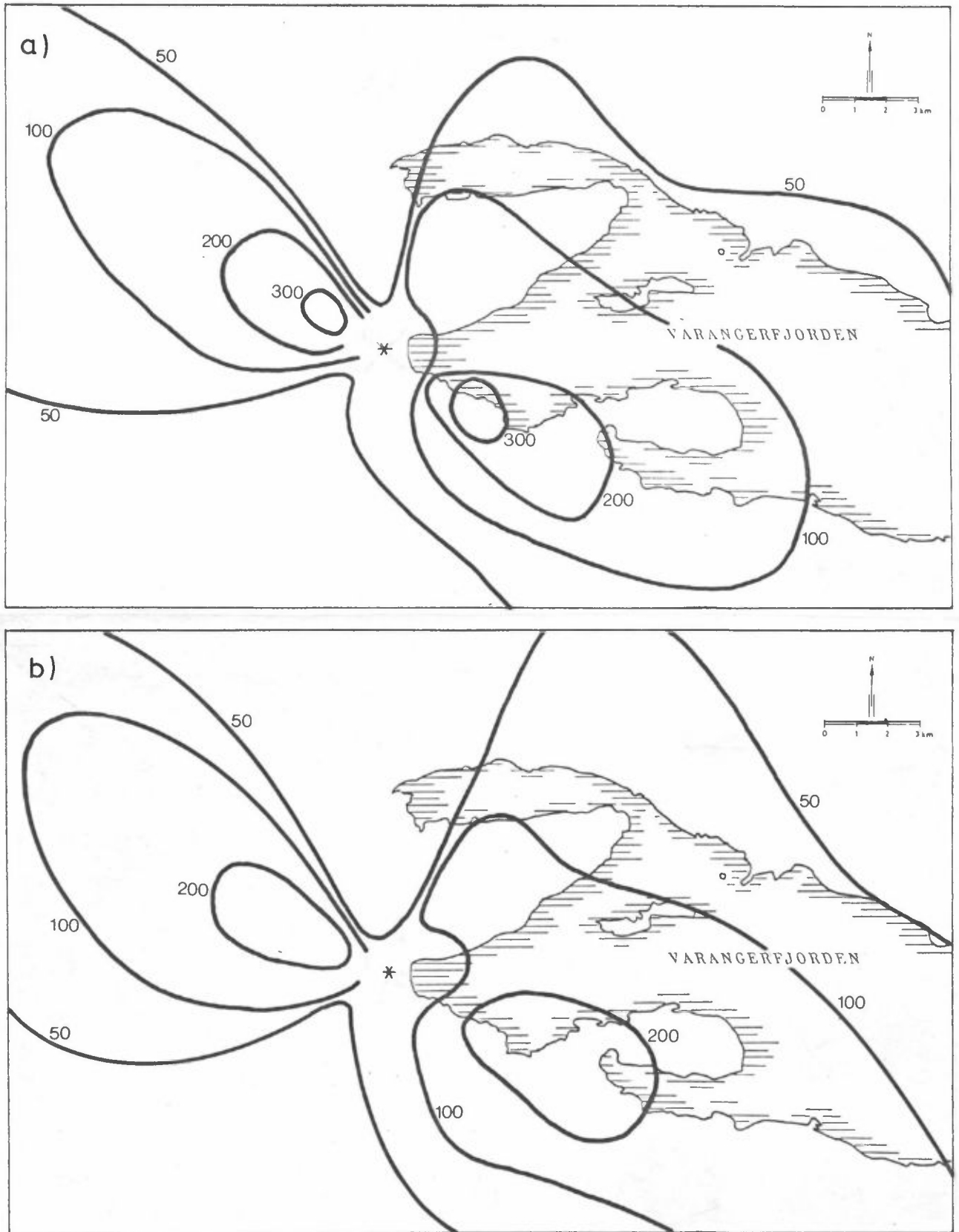
Her er D lik avsatt mengde pr. tids- og flateenhet, c er forurensningskonsentrasjonen i luft og v_d er avsetningshastigheten. For svoveldioksyd har en brukt $v_d = 0.8$ cm/s. Avsetningshastigheten for nitrogenoksyder er mer usikker. Den er noe lavere enn for svoveldioksyd (13), og som en representativ middelvei for NO og NO₂ har en valgt å bruke 0.5 cm/s (13). Avsetningshastigheten for partikler varierer svært mye med partikkelstørrelsen, og som en grov tilnærme har en valgt en avsetningshastighet på 0.2 cm/s. For små partikler (diameter ca 0.1 µm) kan avsetningshastigheten være mer enn en faktor 10 lavere, mens den kan være mer enn en faktor 10 høyere for store partikler (diameter større enn ca 10 µm). En beregning av partiklers avsetning blir derfor svært usikker hvis den aktuelle størrelsesfordeling ikke er nøyaktig kjent.

I figur 5 har en beregnet tørravsetningen av svoveldioksyd på årsbasis for de to alternativene. I tabell 14 er det gitt beregnet årlig tørravsetning for svoveldioksyd, nitrogenoksyder og partikler i maksimumsområdene.

For hele området som dekkes av kartet i figur 5 (ca 550 km²), er det grovt anslått at midlere tørravsetning fra kraftverket er ca 100 tonn SO₂ pr år for begge alternativene. Dette representerer 1-1.5% av det totale utslippet. Avsetningen med nedbøren (våtavsetningen) kommer i tillegg, men denne lar seg vanskelig beregne med det eksisterende datagrunnlag. Som en tommelfingerregel brukes at all SO₂ avsettes innenfor de nærmeste 100 km under nedbør. Da nedbørmengdene i Finnmark er små, er det sannsynlig at våtavsetningen fra kraftverket er vesentlig mindre enn tørravsetningen innenfor det området som dekkes av kartet i figur 5.

Tabell 14: Beregnet årlig tørravsetning (mg/m²) i maksimumsområdene for svoveldioksyd, nitrogenoksyder og partikler.

	Skorsteinshøyde	
	90 m	130 m
SO ₂ (regnet som S)	310	290
NO _x (regnet som N)	52	33
Partikler	7.6	4.8



Figur 5: Beregnet årlig tørravsetning av svoveldioksyd (mg/m^2 , regnet som S). a) Utslipp 6000 tonn/år, skorsteinshøyde 90 m. b) Utslipp 9000 tonn/år, skorsteinshøyde 130 m.

Årsmiddelkonsentrasjonen av SO₂ og SO₄ ble målt til henholdsvis 4.9 µg/m³ og 1.7 µg/m³ i Karlebotn i 1978-79. Hvis en antar at disse verdiene er representative for indre Varangerfjord, blir årlig tørravsetning ca. 650 mg/m² (regnet som S). Kraftverket vil altså i maksimumsområdet gi et tilskudd på ca. 50% av dagens nivå.

I 1978-79 ble våtavsetningen av sulfat i indre Varangerfjord målt til 160 mg/m² (regnet som S), dvs. 25% av beregnet tørravsetning for samme tidsrom. Våtavsetningen av nitrat ble målt til 40 mg/m² (regnet som N). Det er ikke foretatt målinger av nitrogenoksyder i indre Varangerfjord, slik at nåværende tørravsetning av NO_x ikke lar seg beregne.

Tørravsetningen av metaller er beregnet ved å anta samme avsetningshastighet som for partikler, 0.2 cm/s. En har ikke skilt mellom de ulike elementene og heller ikke tatt hensyn til reemisjon av kvikksølv. I tabell 15 er årlig beregnet tørravsetning gitt for maksimumsområdene for alternativet med 90 m skorstein. For tilfellet med 130 m skorstein blir verdiene ca 35% lavere.

Tabell 15: Beregnet maksimal årlig tørravsetning (µg/m²) for 12 elementer. Skorsteinshøyde 90 m, utslipp fra tabell 4.

Element	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Se
Tørravsetning (µg/m ²)	0.99	0.46	<0.76	0.06	<3.4	<0.38	13	0.13	0.46	<5.7	0.56	0.28

Disse tørravsetningene kan eventuelt sammenliknes med beregnet avsetning på grunnlag av konsentrasjonsdata fra Jergul og Skoganvarre. Denne sammenlikningen vil imidlertid bli identisk med sammenlikningen mellom konsentrasjoner i luft, jfr pkt 4.5.

På Jergul er innholdet av kadmium og bly i nedbørprøver bestemt siden sommeren 1978, som et ledd i SNSF-prosjektet. På grunnlag av middelkonsentrasjoner i nedbør og årlig nedbørmengde kan våtavsetningen anslås. Videre kan tørravsetningen av de samme

metallene grovt anslås på grunnlag av konsentrasjonsdata fra tabell 13. I tabell 16 har en sammenliknet estimatene for årlig tørr- og våtavsetning på Jergul basert på målinger i 1978-79.

Tabell 16: Estimat av årlig tørr- og våtavsetning for svoveloksyder, kadmium og bly i Jergul, basert på data for 1978-79.

	Tørravsetning	Våtavsetning
Svoveloksyder (regnet som S) mg/m ²	330	140
Kadmium μg/m ²	3-13	100
Bly "	320	2500

For svoveloksyder er tørravsetningen anslått til å være ca en faktor 2.5 større enn våtavsetningen. For kadmium og bly er forholdet motsatt. Her er tørravsetningen estimert til å være en faktor på ca 10 lavere enn våtavsetningen. Dette henger antakelig sammen med lavere avsetningshastighet for metaller og et visst bidrag av SO₂ fra lokale kilder. Konsentrasjonen av SO₂ er høyere om vinteren enn om sommeren i Karlebotn og Jergul, mens nedbørmengdene er større om sommeren enn om vinteren.

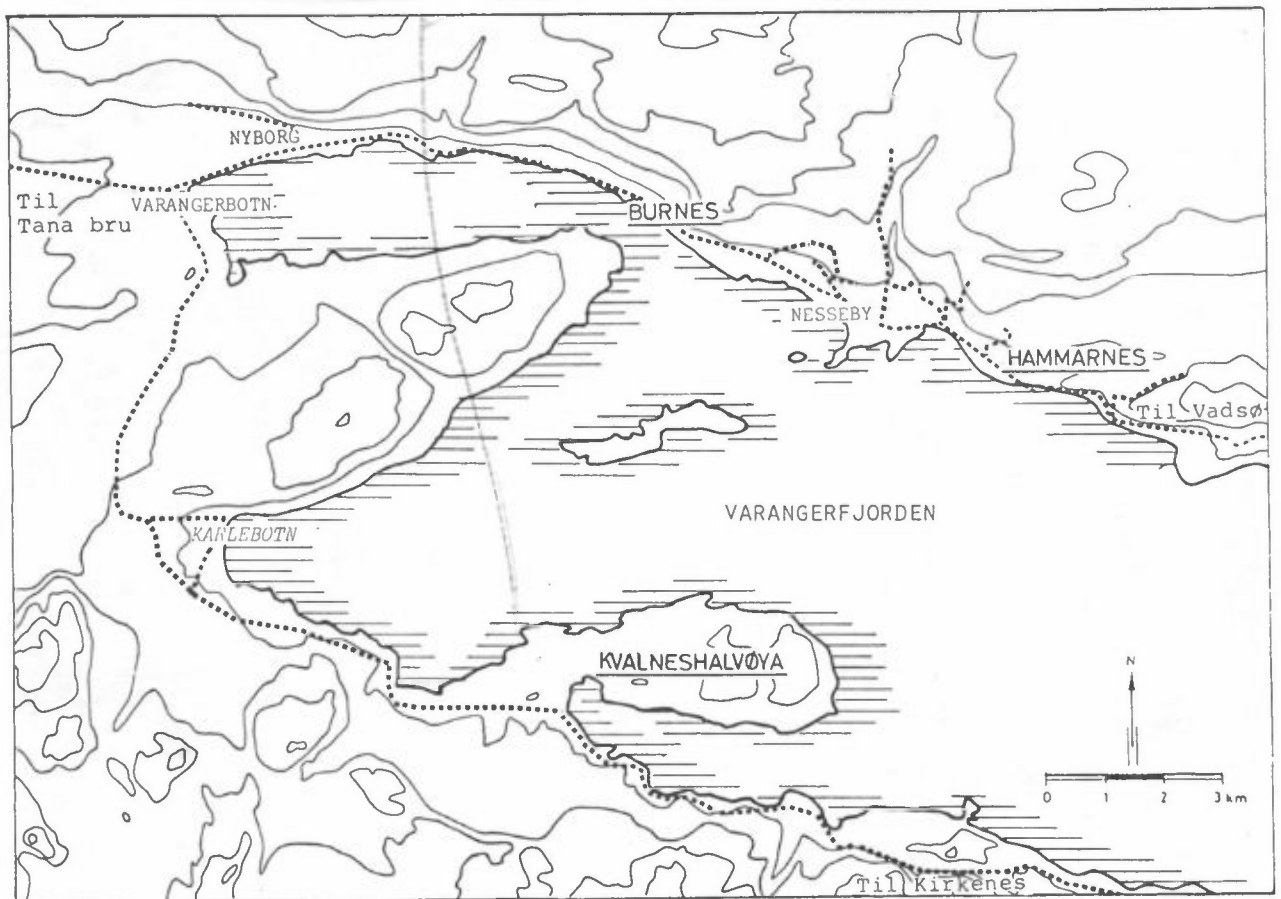
6 SAMMENLIKNING MELLOM BYGGESTEDER

Spredningsberegningene er utført for flatt terreng for et tenkt kraftverk plassert i Karlebotn, dvs det stedet der meteorologiske målinger ble foretatt fra februar 1978 til februar 1979.

I perioden fra oktober 1978 til februar 1979 var det plassert en vindmåler på Hammarnes (figur 6), som er et av NVEs aktuelle byggesteder. Målingene viste de samme hovedvindretningene som i Karlebotn (1). Det er rimelig å anta at det samme i hovedsak hadde vært tilfellet om en hadde målt i sommerhalvåret.

I tillegg til Hammarnes er to andre byggesteder i indre Varangerfjord også aktuelle, nemlig Burnes og Kvalneshalvøya (figur 6). Nedenfor følger en kortfattet vurdering av de tre stedene med hensyn til påvirkning på tettstedene Varangerbotn, Nyborg, Nesseby og Karlebotn.

Terrenget nord for Varangerfjorden stiger relativt bratt opp til 100-150 m o.h. Når vinden blåser fra sørlig kant (ca. 15% av tiden på årsbasis) vil konsentrasjonen i bakkenivå for utslippstedene Hammarnes og Burnes kunne bli 20-40% høyere enn det beregningene i kapittel 4 og 5 viser. Den nødvendige skorsteinshøyde kan derfor bli større enn angitt i kapittel 3. Overslagsberegninger indikerer at nødvendig tillegg i skorsteinshøyde kan bli på inntil 50 m, men dette vil være sterkt avhengig av den nøyaktige lokalisering av utslippet. Det nødvendige tillegget vil sannsynligvis være mindre for Hammarnes enn for Burnes.



Figur 6: Kart over indre Varangerfjord med byggestedsalternativene Burnes, Hammarnes og Kvalneshalvøya. Høydekurvenes ekvidistanse er 40 m.

Alternativet Burnes påvirker på Varangerbotn, Nyborg og Nesseby, de to førstnevnte mest i sommermånedene og Nesseby mest i vintermånedene.

Hammarnes påvirker på Nesseby og også i noen grad på Varangerbotn og Nyborg, mest i sommermånedene. Valg av skorsteinshøyde og utslippsdata vil være svært viktig for å redusere påvirkningen på Nesseby.

Kvalneshalvøya gir påvirkning på Karlebotn, vesentlig i sommermånedene. I vintermånedene vil utslippene i hovedsak spres utover Varangerfjorden. Dette alternativet synes gunstigere enn de to andre med hensyn til luftforurensninger.

7 KONKLUSJON

Det er utført spredningsberegner for et planlagt kullfyrt varmekraftverk med elektrisk effekt 150 MW i indre Varangerfjord. NVEs utslippstall er større enn de amerikanske utslippsnormene. En har bare vurdert skorsteinsutslipp og ikke utslipp fra andre deler av kraftverket, f.eks. kullager eller deponeringsplasser for aske.

For tre alternative verdier for svovelinnhold i kull, 1%, 1.25% og 1.5% S (vektbasis), er nødvendig skorsteinshøyde beregnet til henholdsvis 90 m, 110 m og 130 m basert på flatt terreng. Beregningskriteriet har vært at konsentrasjonen av svoveldioksyd (SO_2) på timesbasis ikke skal overstige $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som er 75% av grenseverdien som Statens forurensningstilsyn har foreslått.

I situasjoner med røyknedslag vil konsentrasjonen av SO_2 kortvarig kunne overstige $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i begrensede områder 3-5 km fra utslippet.

Oksydasjonen av nitrogenmonoksyd (NO) til nitrogendioksyd (NO₂) i de nærmeste km fra verket er estimert ut fra naturlig bakgrunnsstasjon av ozon. I situasjoner med høye konsentrasjoner av nitrogenoksyder (røyknedslag) vil konsentrasjonen av NO₂ neppe overstige 100 µg/m³.

De maksimale døgnverdiene av svoveldioksyd vil neppe bli høyere enn 100 µg/m³. De høyeste verdiene vil forekomme i sommerhalvåret vest og nordvest for kraftverket. Høyeste registrerte SO₂-konsentrasjon på døgnbasis sommeren 1978 var 16 µg/m³, mens høyeste verdi i vinterhalvåret var 109 µg/m³. Middelerverdier over 6 måneder vil neppe overskride ca 7 µg/m³ på grunn av kraftverket. I vinterhalvåret vil konsentrasjonsbidraget bli inntil 50% av dagens nivå, mens konsentrasjonsbidraget i sommerhalvåret vil kunne bli større enn dagens nivå i maksimumsområdene.

Konsentrasjonen av metaller er beregnet, og årsmiddelerverdier er sammenliknet med målinger fra andre steder i Finnmark. For de undersøkte metallene er det maksimale bidraget fra kraftverket vesentlig lavere enn det målte bakgrunnsnivået (en faktor 10-200 lavere).

Årlig tørravsetning av svoveldioksyd er beregnet til maksimalt ca 300 mg/m² (regnet som S). Dette representerer et tillegg på inntil 50% til tørravsetningen beregnet på grunnlag av målinger i 1978-79.

Av de tre alternative byggestedene, Kvalneshalvøya, Hammarnes og Burnes er det førstnevnte vurdert til å være gunstigere enn de to andre med hensyn til luftforurensninger. På grunn av at terrenget er tildels sterkt skrånende på nordsiden av Varangerfjorden, er det anslått at nødvendig tilleggshøyde for skorsteinen vil kunne bli på inntil 50 m for byggestedene Burnes og Hammarnes. Tilleggshøyden vil imidlertid være sterkt avhengig av utslippets nøyaktige lokalisering.

8 REFERANSELISTE

- (1) Schjoldager, J. Spredningsforhold og luftkvalitet i indre Varangerfjord. Lillestrøm 1979. (NILU OR 23/79.)
- (2) Schjoldager, J. Innhold av elementer i moltebær, mose og lav, Finnmark 1978. Lillestrøm 1979. (NILU OR 39/79.)
- (3) Tabler, S.K. Federal standards of performance for new stationary sources of air pollution. A summary of regulations. *J. Air Poll. Contr. Ass.* 29, 803-811 (1979).
- (4) Miljöeffekter och risker vid utnyttjande av energi. Rapport från Expertgruppen för säkerhet och miljö. Stockholm, Industridepartementet 1978. (Energikommissionen DS I 1978:27.)
- (5) Statens forurensnings- tilsyn Retningslinjer for utendørs luftkvalitet. Forslag vedtatt av Røykskaderådet 19.9.1977.
- (6) Smith, M. Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1968.
- (7) Luftkvalitetmodeller. Sluttrapport NORDFORSK-prosjektet mesoskaliga spridningsmodeller. Red. B.Sivertsen. Helsinki, Nordforsk, Miljøvårdssekretariatet, 1979. (Publikation 1979:1.)
- (8) Sivertsen, B. Virkninger av luftforurensninger fra et oljefyrt varmekraftverk (Østlandet - Rogaland - Sørlandet). Kjeller 1975. (NILU OR 1/76.)

- (9) Sivertsen, B. Luftforurensninger fra et kull- og oljefyrt varmekraftverk ved Oslofjorden. Lillestrøm 1978. (NILU OR 41/78.)
- (10) Cole, H.S. Summerhays, J.E. A review of techniques available for estimating short-term NO₂ concentrations. *J. Air Poll. Contr. Ass.* 29, 812-817 (1979).
- (11) Fabian, P. Pruchniewicz, P.G. Meridional distribution of ozone in the troposphere and its seasonal variations. *J. Geophys. Res.* 82, 2063-2073 (1977).
- (12) Semb, A. Deposition of trace elements from the atmosphere in Norway. Ås 1978. (SNSF-prosjektet FR 13/78.)
- (13) Judeikis, H.S. Wren, A.G. Laboratory measurements of NO and NO₂ depositions onto soil and cement surfaces. *Atmos. Environ.* 12, 2315-2319 (1978).
- (14) Slinn, G.N. Some approximations for the wet and dry removal of particles and gases from the atmosphere. I: *The first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem. Proceedings.* Columbu, Ohio, 1975, s. 878.
- (15) Verdens helse-organisasjon Oxides of nitrogen. Geneve 1977. (WHO Environmental Health Criteria 4.)
- (16) Sivertsen, B. Plume rise calculations. Kjeller 1974. (NILU TN 80/74.)

VEDLEGG A
VEILEDENDE GRENSEVERDIER FOR
LUFTKVALITET

VEILEDENDE GRENSEVERDIER FOR LUFTKVALITET

Nedenfor er det kort gjengitt forslaget fra Statens forurensningstilsyn til retningslinjer for utendørs luftkvalitet med hensyn på svoveldioksyd, nitrogendioksyd og totalt svevestøv. En fullstendig beskrivelse av forslaget er gitt i referanse 5.

Tabell A1: Grenseverdier for svoveldioksyd (SO₂).

Midlingstid	Grenseverdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Merknader
6 måneder	60	Aritmetisk middelværdi i en vilkårlig 6 mnd. periode
24 timer	200	Bør ikke overskrides i mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 6 mnd. periode og ikke som en sammenhengende periode.
1 time	400	Bør ikke overskrides mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 30 dagers periode.

Tabell A2: Grenseverdier for totalt svevestøv.

Midlingstid	Grenseverdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Merknader
6 måneder	60	Aritmetisk middelværdi i en vilkårlig 6 mnd. periode
24 timer	150	Bør ikke overskrides i mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 6 mnd. periode og ikke som en sammenhengende periode.

Tabell A3: Grenseverdier for nitrogendioksyd (NO₂).

Midlingstid	Grenseverdi (µg/m ³)	Merknader
6 måneder	100	Aritmetisk middelværdi en vilkårlig 6 mnd. periode
24 timer	200	Bør ikke overskrides i mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 6 mnd. periode, og ikke som en sammenhengende periode
1 time	400	Bør ikke overskrides mer enn 2% av tiden under en vilkårlig 30 dagers periode.

VEDLEGG B

OVERSIKT OVER NOEN OVERHØYDEFORMLER

OVERSIKT OVER NOEN OVERHØYDEFORMLER

En detaljert oversikt over overhøydeformler og deres bruk er gitt av Sivertsen (16). Nedenfor vil en kort referere de tre formlene som er mest aktuelle for små og middels store kraftverk, nemlig Briggs, Bringfelt og Stümke.

$$\text{Briggs} \quad \Delta h = \frac{1}{u} \left[1.6 F^{1/3} x^{2/3} \right] \quad \text{for } x > 10 h_s \text{ settes } x \text{ lik } 10 h_s$$

$$\text{Bringfelt} \quad \Delta h = \frac{1}{u} \left[224 Q^{0.34} \right]$$

$$\text{Stümke} \quad \Delta h = \frac{1}{u} \left[1.5 v_g d + 65 d^{2/3} \left(\frac{\Delta T}{T_g} \right)^{1/4} \right]$$

Nomenklatur

d - skorsteinsdiameter (m)

$$F = g v_g \frac{d^2}{4} \frac{\Delta T}{T_g}$$

g - tyngdens akselerasjon (9.81 m/s²)

h_s - skorsteinshøyde (m)

Δh - overhøyde (m)

Q - røykgassens varmeeffekt (MW)

T - lufttemperatur (K)

T_g - røykgassens temperatur (K)

ΔT - T_g - T

u - vindstyrke i røykfanens høyde (m/s)

v_g - røykgassens hastighet (m/s)

x - horisontal avstand fra utslippsstedet (m).



TLF. (02) 71 41 70

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

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

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 43/79	ISBN--82-7247- 143-4
DATO JANUAR 1980	ANSV.SIGN. O.F.Skogvold	ANT.SIDER OG BILAG 41 2
TITTEL Luftforurensninger fra et kullfyrt kraftverk i indre Varangerfjord		PROSJEKTLEDER Jørgen Schjoldager
		NILU PROSJEKT NR 24078
FORFATTER(E) Jørgen Schjoldager		TILGJENGELIGHET ** A
		OPPDRAAGSGIVERS REF.
OPPDRAAGSGIVER Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Statskraftverkene		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Beregninger Kullkraftverk Varanger		
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) Nødvendig skorsteinshøyde for kraftverket (150 MWe) er for flatt terreng beregnet til 90 m og 130 m for alternativene med henholdsvis 1.0% og 1.5% S i kullet. Beregninger er gjort på time-, døgn-, halvårs- og årsbasis for svoveldioksyd, nitrogenoksyder, partikler totalt og metaller. Tørravsetning på årsbasis er estimert.		
TITTEL Air quality impact at a planned coal fired power plant in Varangerfjord		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) The stack height of the power plant (150 MWe) is estimated to 90 m and 130 m for the two coal alternatives 1.0% S and 1.5% S. Calculations are performed for averaging times one hour, one day, 6 months and one year for sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulates and some heavy metals. The yearly dry deposition is estimated.		

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