

NILU  
OPPDRAGSRAPPORT NR 28/78  
REFERANSE: 22276  
DATO: JUNI 1978

UTSLIPP AV VENTILASJONSLUFT FRA  
SENTRALRENSEANLEGG VEST

HARALD DOVLAND

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

### SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Beregninger og vurderinger av nødvendige utslippshøyder for å unngå luktproblemer fra utslippet av ventilasjonsluft fra Sentralrenseanlegg Vest har gitt følgende resultater:

- a) Ingen rensing av ventilasjonsluften (nødvendig fortynningsgrad 200): Utslipp i kote 100 eller høyere.
- b) Rensing av deler av ventilasjonsluften (nødvendig fortynningsgrad 100): Utslipp i kote 90 eller høyere.
- c) Rensing av all ventilasjonsluft (nødvendig fortynningsgrad 50): Utslipp i kote 80 eller høyere.

Det understrekes at det ikke er praktisk mulig å garantere at det aldri vil merkes lukt fra utslippet. Dette skyldes dels at det er store forskjeller i menneskers lukteevne, og dels at store turbulensvirvler kan gi kortvarige nedslag av ventilasjonsluft og dermed merkbar lukt. Men på grunnlag av det en idag vet om nødvendig fortykning, vil en med de angitte utslippshøyder neppe få luktulemper i de eksisterende boligområder.

Alternativene med rensing av ventilasjonsluften i en våtvasker vil sannsynligvis medføre at utslippet blir synlig (kondensert vandamp) i perioder med lav lufttemperatur og høy relativ fuktighet.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG OG KONKLUSJON .....	3
1 BAKGRUNN .....	7
2 GRUNNLAGSDATA .....	7
2.1 Tekniske data .....	7
2.2 Nødvendig fortynningsgrad .....	7
2.3 Meteorologiske data .....	9
3 NØDVENDIG UTSLIPPSHØYDE - PLASSERING AV VENTILASJONS- UTSLIPPET .....	14
4 SYNLIG UTSLIPP .....	17
VEDLEGG A: BEREGNING AV FORTYNNING I ATMOSFÆREN .....	19
A.1 : Spredningsformler	
A.2 : Overhøyde	
A.3 : Midlingstid	

## UTSLIPP AV VENTILASJONSLUFT FRA SENTRALRENSEANLEGG VEST

### 1 BAKGRUNN

Oslofjordkontoret (nå Vestfjorden Avløpsselskap - VEAS) ga i oktober 1976 Norsk institutt for luftforskning (NILU) i oppdrag å vurdere plassering og nødvendig høyde av utslipps-tårnet for ventilasjonsluft fra Sentralrenseanlegg Vest. Grunnlaget for en slik vurdering var på det tidspunktet forholdvis usikkert. I mellomtiden har Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) foretatt luktmålinger i ventilasjonsluft fra et kloakkrenseanlegg i fjell, lokaliseringen av renseanlegget er bestemt, og det er foretatt vindmålinger i det aktuelle området i ett år. På denne bakgrunn har NILU i denne rapporten gitt en vurdering av nødvendige utslippshøyder for ventilasjonsluften for at det ikke skal oppstå luktproblemer i omgivelsene.

### 2 GRUNNLAGSDATA

#### 2.1 Tekniske data

Total ventilasjonsluftmengde er oppgitt til ca 280 000 m<sup>3</sup>/h eller ca 78 m<sup>3</sup>/s. For å redusere sannsynligheten for at utslippet skal trekkes ned til bakken nær skorsteinen, bør ikke utslippshastigheten for ventilasjonsluften være mindre enn 10 m/s, og dette gir en skorsteinsdiameter på ca 3 m.

#### 2.2 Nødvendig fortynningsgrad

SI har ved målinger av ventilasjonsluften fra renseanlegget RA2 i Skedsmo funnet at denne må fortynnes ca 200 ganger for å

bli "luktfri" (Målinger av ventilasjonsluft RA2. SI-rapporter av 8. mars og 24. august 1977.) Med "luktfri" menes i denne forbindelse den fortykning som er nødvendig for å gi en konsentrasjon hvor halvparten av en gruppe personer begynner å merke lukt og betegnes vanligvis  $ED_{50}$ . Senere målinger ved Festningen renseanlegg (15. november 1977) har  $ED_{50}$  mellom 15 og 65.

En luktgrense eller en nødvendig fortykningsgrad for et fremtidig ventilasjonsutslipp fra et kloakkrenseanlegg må nødvendigvis være forholdsvis usikker, bl.a. fordi en ikke på forhånd kjenner sammensetningen av ventilasjonsutslippet og dessuten fordi sammensetningen vil variere fra dag til dag. I tillegg kommer at mennesker reagerer svært forskjellig på lukt, slik at "nødvendig fortykning" vil variere fra en person til en annen.

Det er således ikke praktisk mulig å angi en grenseverdi som gir en sikker garanti mot at det av og til skal merkes lukt i omgivelsene. På bakgrunn av det materiale som foreligger synes imidlertid en fortykningsgrad på 200 ganger å gi en rimelig sikkerhet mot luktpoblemer. Til sammenlikning kan nevnes at i Sverige benyttes 100 gangers fortykning som veiledende verdi ved vurderinger av ventilasjonsutslipp fra kloakkrenseanlegg.

Det er mulig å kjøre ventilasjonsluften eller deler av denne gjennom en våtvasker ("scrubber") som fjerner ca 90% av de luktende stoffer. Det mest aktuelle er å la de mest "urene" avtrekk (sandfang, riststasjon, slamavvanning, osv.) passere våtvaskeren. SIs målinger viser at luften fra sandfang må fortyknes mellom 500 og 1000 ganger for å bli "luktfri", mens luften fra sedimenteringsbassengene har  $ED_{50}$  mellom 30 og 140.

Et konkret alternativ er å la ca 70 000  $m^3/h$  passere våtvaskeren, mens de resterende ca 210 000  $m^3/h$  slippes ut direkte. Dette alternativet vil samlet gi en  $ED_{50} = 100$  eller lavere. Dersom all ventilasjonsluft går gjennom en våtvasker med 80-90% lukt-reduksjon kan en anta at  $ED_{50}$  vil bli ca 50.

### 2.3 Meteorologiske data

I perioden juni 1977 - mai 1978 er det foretatt kontinuerlig registrering av vindretning og vindstyrke på Bjerkås. Måleren var plassert 10 m over bakken på toppen av åsen, dvs. kote 72 (se figur 1), og er således godt representativ for vindforholdene i den aktuelle utslippshøyde for ventilasjonsluften.

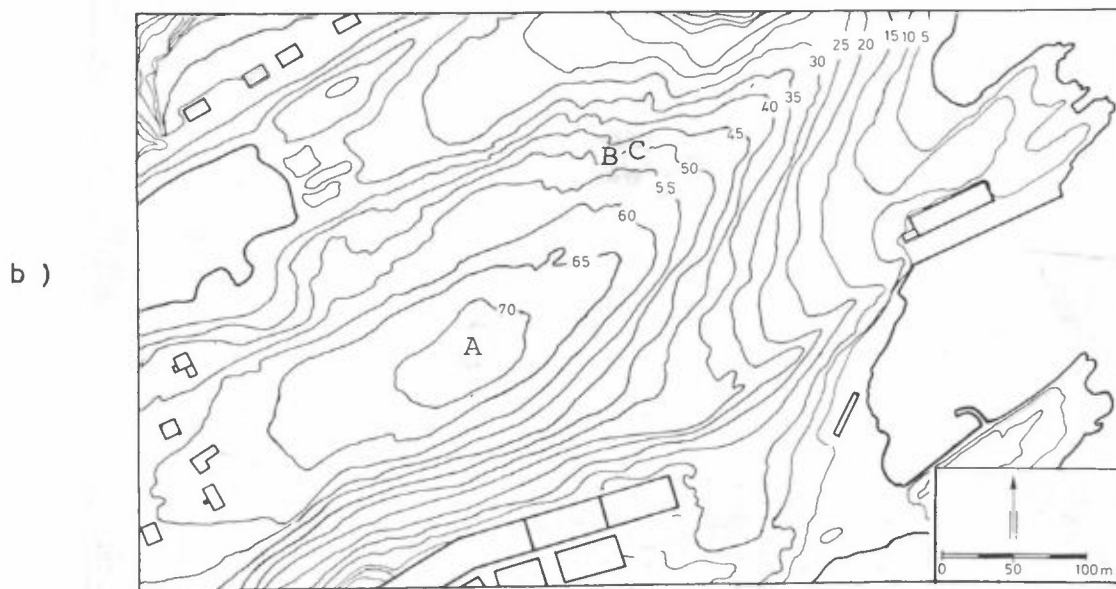
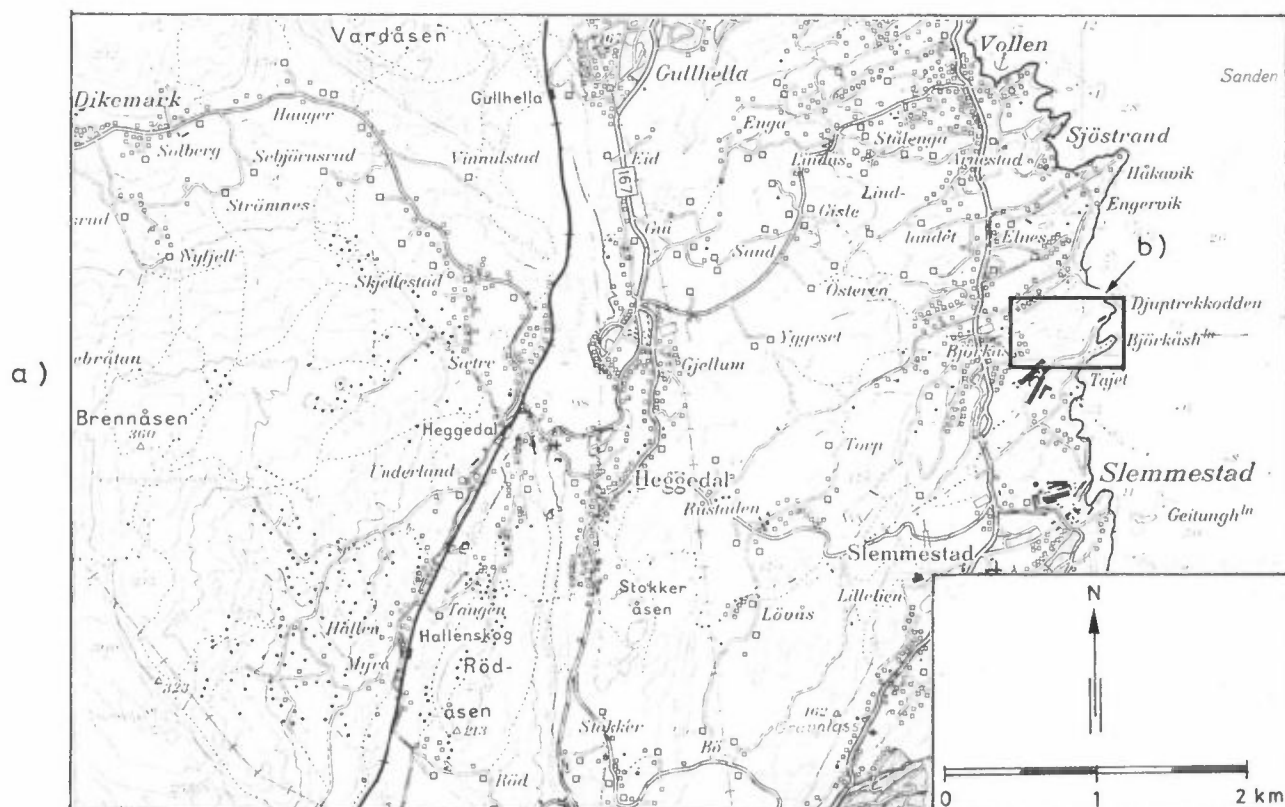
I databearbeidingen er det benyttet middelveidier for hver time. Resultatene er presentert som vindroser (figur 2) for hver årstid. Vindrosene viser hyppigheten av vind fra forskjellige 30<sup>o</sup>-sektorer.

Vind fra sektoren nordvest-nordøst var dominerende i alle periodene, og særlig om vinteren. Vind fra østlig og vestlig kant hadde liten hyppighet i alle periodene, mens frekvensen av vind fra sørlig kant varierte betydelig. Vind fra øst var hyppigst i sommerperioden, men også om våren og høsten forekom vind fra denne retningen relativt ofte.

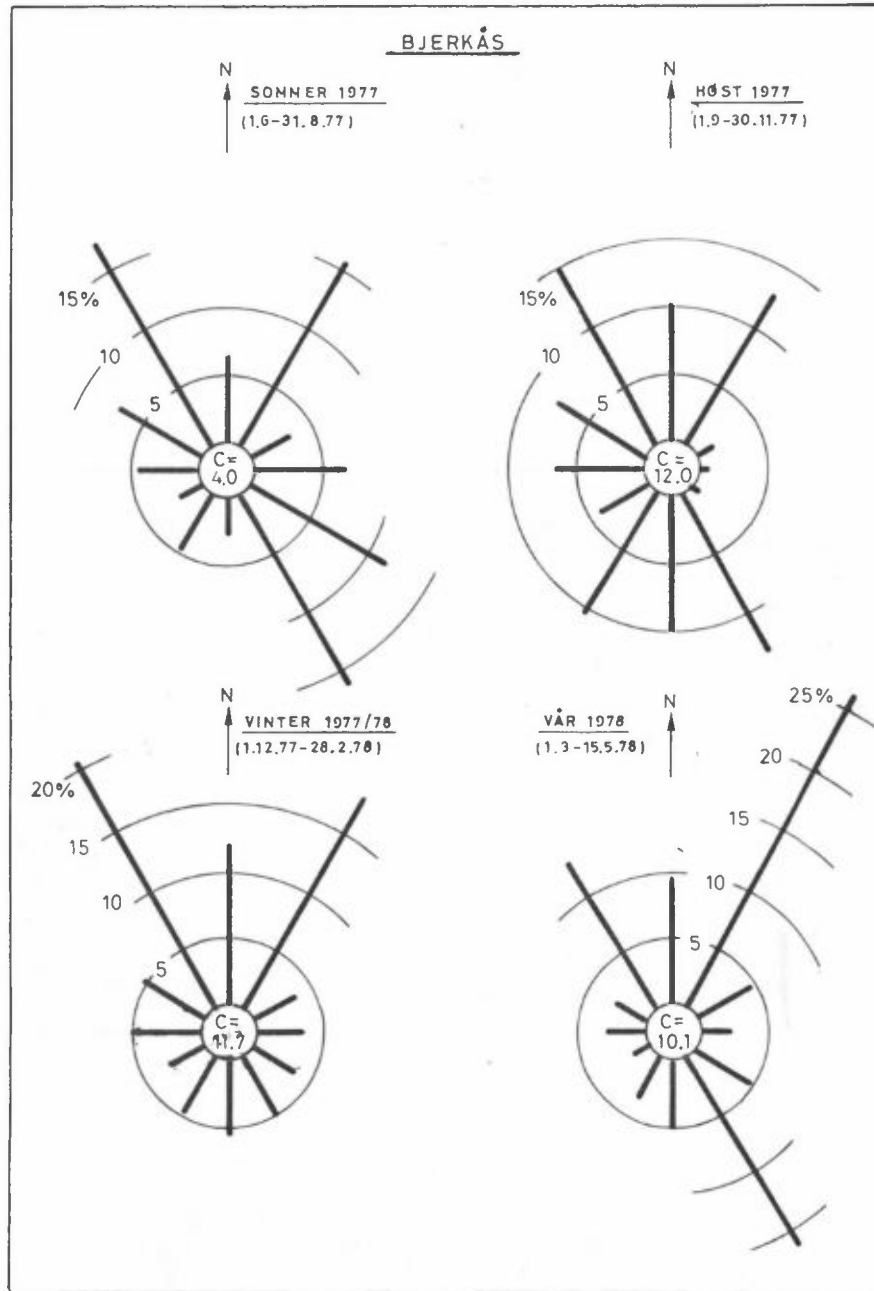
Den døgnlige variasjonen i vindretningen var mest utpreget i sommerhalvåret (sommerperioden og deler av våren og høsten), med sørøstlig vind dominerende om ettermiddagen og nordøstlig vind om natten og morgenen.

Gjennomsnittlig vindhastighet for hver 30<sup>o</sup>-sektor er vist på figur 3 for sommeren og høsten 1977. Vind fra nordlig kant var noe sterkere enn de andre retninger, men stort sett ligger middelvindhastighetene omkring eller litt over 2 m/s.

For å vurdere hvor representativ den forholdsvis korte måleperioden på Bjerkås var, er vindfrekvensene fra Fornebu for de samme periodene sammenliknet med et 10-års middel (figur 4, data fra Meteorologiske institutt). Selv om det er forskjellige vindforhold på Fornebu og Bjerkås, vil avvikene fra "normalen" være sammenliknbare på de to stedene.

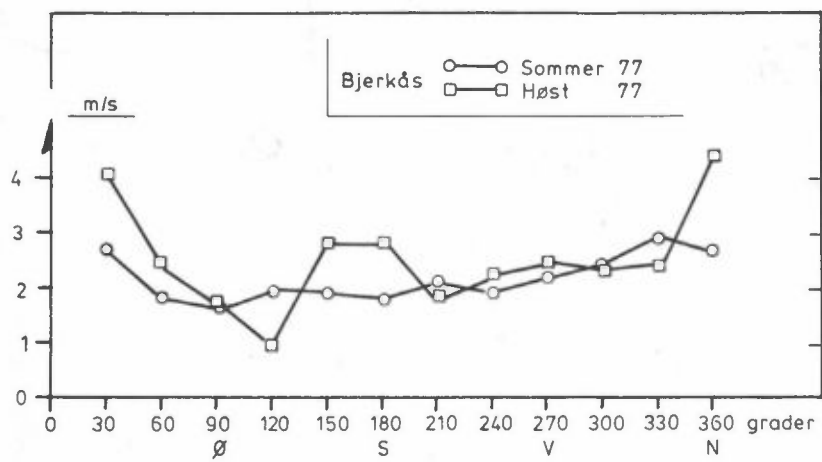


Figur 1: Plassering av Sentralrenseanlegg Vest ved Bjerkås. Vindmålingene er foretatt i punktet merket A, og aktuelle plasseringer for ventilasjonsutslippet er merket B og C.

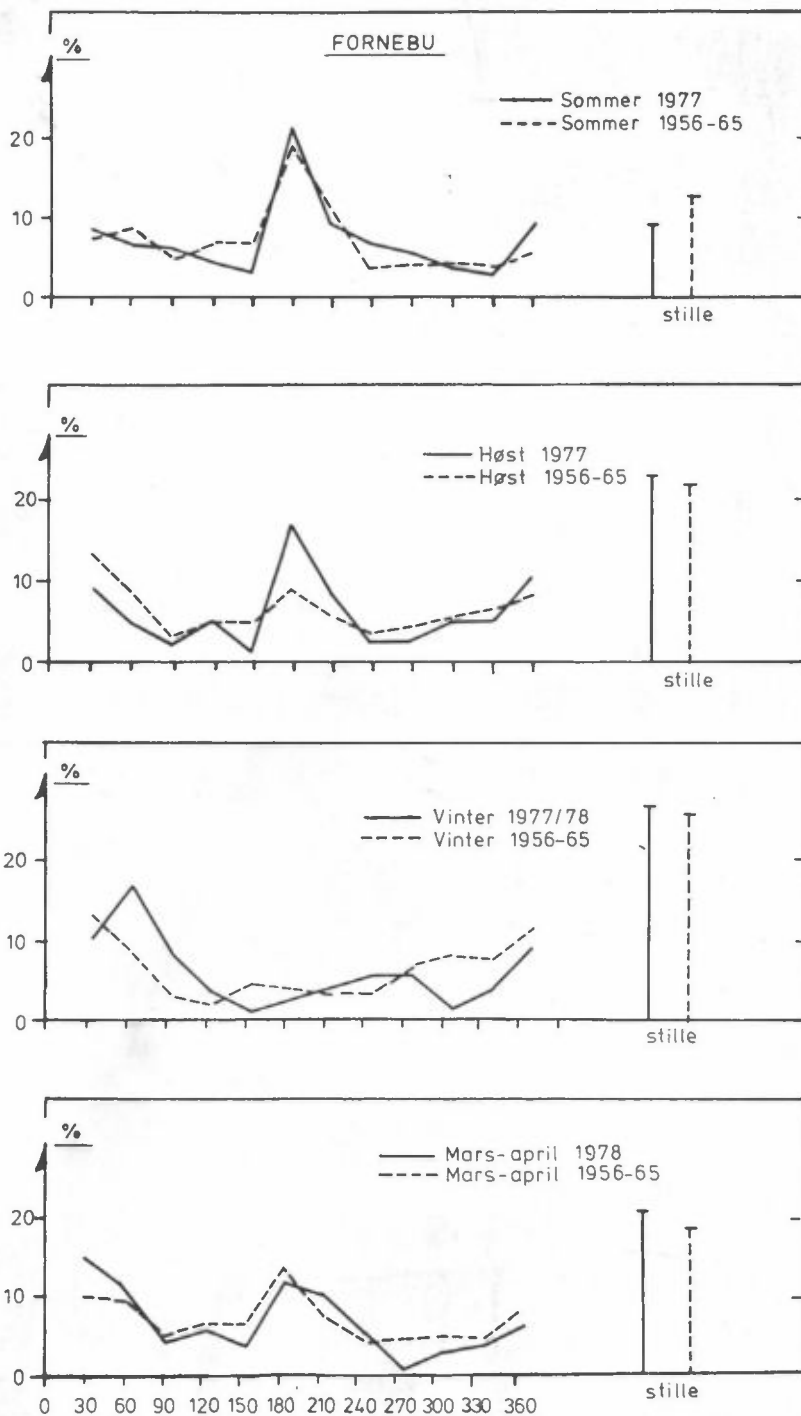


Figur 2: Vindroser for Bjerkås for de angitte periodene i 1977/78. Lengden av linjestykkene gir hyppigheten av vind fra den angitte retning. Tallene inne i sirklene gir vindstillefrekvensen (%).





Figur 3: Midlere vindhastighet (m/s) som funksjon av vindretningen på Bjerkås sommeren og høsten 1977.



Figur 4: Vindfrekvenser fra Fornebu for 1977/78 og ti-års midlet 1956-65. (Data fra Meteorologiske institutt.)

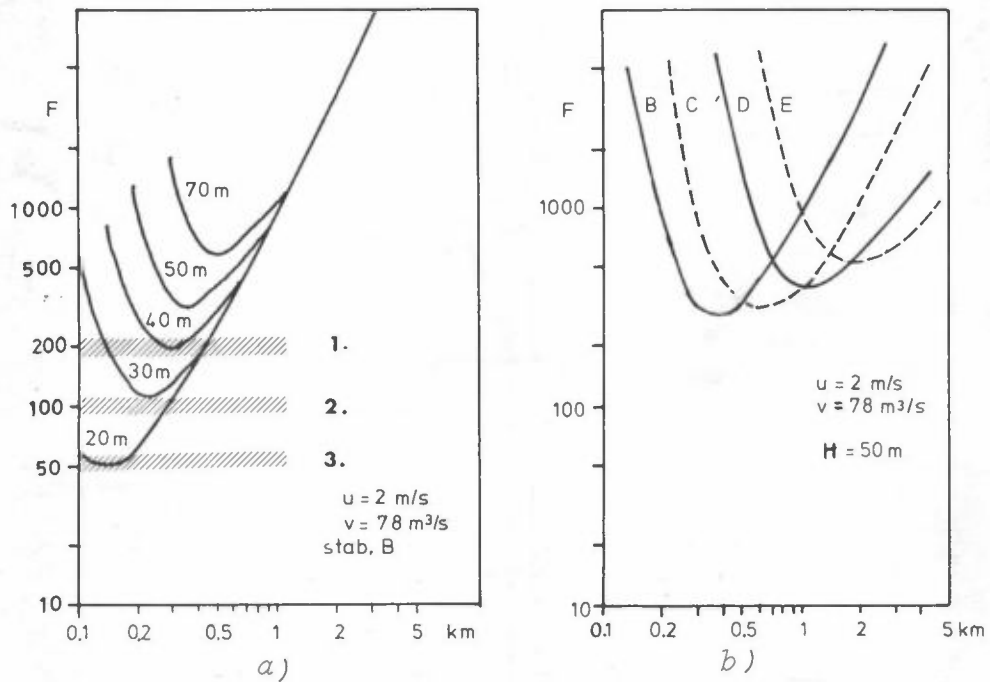
(Det er bare benyttet observasjoner tatt kl. 07, 13 og 19 i vindstatistikken fra Fornebu. En kan derfor ikke direkte sammenlikne figurene 2 og 4).

Sommeren 1977 og våren 1978 var avvikene fra "normalen" forholdsvis små. Høsten 1977 var det langt mer sørlig vind og mindre nordlig og nordøstlig vind enn normalt, og vinteren 1977/78 var det på Fornebu mer nordøstlig og tilsvarende mindre nordvestlig vind enn normalt. Frekvensen av vindstille er vesentlig større på Fornebu enn på Bjerkås og det er derfor vanskelig å korrigere Bjerkås-vindrosene for avvik fra langtidsmidlet. Det vesentligste avviket er sannsynligvis også her at frekvensen av sørlig vind høsten 1977 var høyere enn normalt, mens en for de øvrige måleperiodene har fått et forholdsvis representativt bilde av vindforholdene på Bjerkås.

### 3 NØDVENDIG UTSLIPPSHØYDE - PLASSERING AV VENTILASJONS-UTSLIPPET.

På grunnlag av metodene beskrevet i vedlegg A, har en beregnet minimum fortykning som funksjon av avstanden fra kilden. Beregningene gjelder for flatt terreng i bakkenivå langs "røykskyens" midtakse (maksimal konsentrasjon) for midlertidig 1 minutt. Det er ikke tatt hensyn til overhøyde i beregningene, og dette gjør at i de fleste tilfeller blir fortykningen større enn beregnet.

I figur 5 er vist hvordan fortykningsgraden avhenger av skorsteinshøyde og turbulensintensitet (spredningsforhold). Minst fortykning (høyeste konsentrasjoner) får en ved instabil sjiktning. Disse situasjoner forekommer oftest på sommerdager. Ved økende stabilitet får en i bakkenivå litt høyere fortykning, samtidig som områdene med de høyeste konsentrasjonene flyttes lenger fra kilden.



Figur 5: Minimum fortynninggrad (F) i bakkenivå (1 min middel) som funksjon av avstanden fra kilden.

a) Utslippshøyder: 20, 30, 40, 50 og 70 m. Vindhastighet 2 m/s og sterk turbulens (stabilitetsklasse B, forekommer på varme sommerdager). De horisontale linjene merket 1, 2 og 3 representerer antatt nødvendig fortynningsfaktor ved henholdsvis ingen rensing av ventilasjonsluften, rensing av de mest luktende deler av ventilasjonsluften, og rensing av all ventilasjonsluft.

b) Utslippshøyde 50 m, vindhastighet 2 m/s og stabilitetsklassene B-E. Klasse B og C representerer henholdsvis instabil og lett instabil temperatur-sjiktning (sommerdager), klasse D nøytral temperatur-sjiktning (typisk i overskyet vær og ved sterk vind) og klasse E stabile forhold (typisk for klare netter og vinterperioder med svak vind).

Nærmeste boligområder til det planlagte utslippssted er Bjerkås terrasse som ligger ca 25 m o.h. og ca 250 m vest-nordvest for dette, og gården Bjerkås ca 60 m o.h og ca 400 m vest-sørvest for utslippsstedet (se figur 1). Sør og sørvest for renseanlegget ligger et fabrikkområde ca 15 m o.h. Utslippet fra ventilasjonstårnet vil således transporteres mot de nærmeste boligområdene når vindretningen ligger innenfor en 90<sup>o</sup>-sektor omkring øst (nordøst-sørøst). Vindmålingene (figur 2) viser at vind fra denne sektoren ikke forekommer særlig hyppig på årsbasis i ca 12% av tiden. De aktuelle vindretningene er imidlertid hyppigst om sommeren, f.eks. var frekvensen av øst-sørøstlig vind over 10% sommeren 1977. Det er således sommerforhold med instabil sjiktning, dvs. figur 5a, som bør legges til grunn for vurderingen av nødvendig utslippshøyde. På grunn av høydeforskjellene er det forholdene ved gården Bjerkås det bør legges mest vekt på, selv om vind fra utslippsstedet mot gården bare forekommer i 3-4% av tiden.

Det er angitt to aktuelle steder for bygging av ventilasjonstårn. Beregningene og vurderingene nedenfor gir imidlertid ikke grunnlag for å skille mellom disse to stedene. Nødvendige utslippshøyder er angitt i høyde over havet, og en kan så la andre faktorer avgjøre hvilket av de to eller andre punkter i nærheten som skal velges.

Det er vanskelig å forutsi hvordan åsen mellom utslippet og gården Bjerkås vil påvirke luftstrømmen og dermed den effektive utslippshøyden. Fra toppen av åsen og ned mot gården Bjerkås er det imidlertid liten helning og dessuten er vindhastighetene for de aktuelle retninger lave, og det er således ingen grunn til å vente "nedslag" i le av åsen. Vi antar derfor at nødvendig skorsteinshøyde bør bestemmes ut fra beregningene for flatt terreng ved å benytte gården Bjerkås som "bakkenivå".

For alternativet uten rensing av ventilasjonsluften er antatt  $ED_{50} = 200$ . Beregningene (figur 5a) viser at ved flatt terreng er dette oppfylt ved en utslippshøyde på 40 m. I de fleste tilfeller vil utslippet ha en positiv overhøyde (se vedlegg A), men på dager med høy lufttemperatur vil ventilasjonsluften sannsynligvis være kaldere enn uteluften, og overhøyden blir da redusert. På denne bakgrunn bør utslippshøyden for alternativet uten rensing av ventilasjonsluften ikke ligge lavere enn kote 100.

For alternativet med rensing av de mest luktende deler av ventilasjonsutslippet har en antatt  $ED_{50} = 100$ . Beregningene viser at for flatt terreng blir dette oppfylt med en skorsteins- høyde på ca 30 m. For dette alternativet bør derfor ikke utslippet skje lavere enn kote 90 m.

Ved rensing av all ventilasjonsluft er antatt  $ED_{50} = 50$ , og dette oppnås ved en skorsteinshøyde på 20 m. En usikkerhetsfaktor ved dette alternativet er at luften etter våtvaskeren vil være forholdsvis kald, slik at overhøyden på sommerdager kan bli svært redusert og kanskje negativ. De høyeste konsentrasjonene vil imidlertid forekomme nær utslippsstedet og boligområdene synes derfor å være tilfredstillende sikret når utslippet ikke skjer lavere enn kote 80.

For de to siste alternativene må en regne med at en i blant vil kunne merke lukt på toppen av åsen (kote 72). Boligområdene omkring skulle imidlertid med de angitte utslippshøyder, og under forutsetning av at de angitte  $ED_{50}$ -verdier (se kap. 2.2) også vil gjelde for Sentralrenseanlegg Vest, ikke bli sjenert av lukt.

#### 4 SYNLIG UTSLIPP

Når ventilasjonsluften eller deler av denne passerer gjennom en våtvasker vil den tilføres fuktighet, og dette vil kunne

medføre kondensasjon, og gi et synlig "røykutslipp", som imidlertid oftest vil oppløses raskt ved blandingen i atmosfæren. For alternativet med rensing av en del av ventilasjonsutslippet viser grove overslag at utslippet vil bli synlig når lufttemperaturen er under  $-10^{\circ}\text{C}$  og relativ fuktighet større enn ca 90%. Dette forekommer i omkring 5% av tiden i vintermånedene. Ved rensing av all ventilasjonsluft må en regne med at utslippet blir synlig i vesentlig større deler av tiden.

VEDLEGG A: BEREGNING AV FORTYNNING I ATMOSFÆREN

A.1 Spredningsformler

Det finnes flere matematiske modeller som gir sammenhengen mellom utslippsmengde, meteorologiske forhold og konsentrasjoner i luften. De mest brukte modeller er de såkalte Gauss-modeller, hvor gass-konsentrasjonen i "røykskyen" antas normalfordelt (Gauss-fordelt) horisontalt og vertikalt. Disse modeller gjelder for flatt, homogent terreng. Konsentrasjonen ( $q$ ) i bakkenivå er gitt ved

$$q = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \cdot e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}} \quad (1)$$

Her er  $Q$  utslippsmengden pr tidsenhet,  $u$  er middelvindstyrken,  $y$  er den horisontale avstanden fra røykskyens akse og  $H$  er effektiv utslippshøyde. Spredningsparametrene  $\sigma_y$  og  $\sigma_z$  angir standardavviket av røykskyens konsentrasjonsfordeling henholdsvis horisontalt og vertikalt. Disse er bestemt ved feltforsøk i forskjellige land, og er avhengig av stabilitetsforholdene (spredningsforholdene) i luften, av avstanden fra kilden og av midlingstiden.

Ved luktvurderinger er ofte utslippsmengdene ukjente, og en kan da istedet beregne fortynningsgrad eller fortynningsfaktor. Hvis konsentrasjonen av luktstoffer i utslippet er  $q_0$  og den totale luftmengden pr tidsenhet  $V$ , er  $Q = q_0 V$ . Fortynningsgraden  $F = \frac{q_0}{q}$  er da gitt ved

$$\frac{1}{F} = \frac{V}{\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \cdot e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}} \quad (2)$$



Når en har tilstrekkelig kjennskap til de meteorologiske forhold på et sted (samhørende verdier av vindretning, vindstyrke og turbulensforhold), kan en i prinsippet beregne hvor ofte fortynningen ligger under "luktgrensen", dvs. hvor ofte en vil kjenne lukt.

Normalt har en ikke tilstrekkelig kjennskap til de meteorologiske forhold til at en såvidt detaljert beregning kan foretas, og dessuten er de topografiske forhold vanligvis såvidt kompliserte at beregningene blir forholdsvis usikre. En kan istedet forenkle beregningene ved bare å bestemme fortynningsgraden som funksjon av utslippshøyden for ugunstige meteorologiske forhold i bakkenivå under røykskyens akse ( $y = 0$ ), dvs. minimum fortynning som funksjon av avstanden fra kilden:

$$\frac{1}{F} = \frac{V}{\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}} \quad (3)$$

## A.2 Overhøyde

Den effektive utslippshøyden er summen av den fysiske skorsteins- høyden og den tilleggshøyden eller overhøyden som utslippet får på grunn av utslippshastigheten og utslippets varmeoverskudd. Det finnes en rekke empiriske formler til å beregne størrelsen av overhøyden. For ventilasjonsutslipp fra et renseanlegg er det sannsynligvis den såkalte Hollands formel som egner seg best. Etter denne er overhøyden ( $\Delta h$ ) gitt ved:

$$\Delta h = \frac{1}{u} (1.5 wd + 0.01 wd^2 \Delta T) \quad (4)$$

hvor  $u$  er vindhastigheten (m/s),  $w$  utslippshastigheten (m/s),  $d$  skorsteinsdiameteren (m) og  $\Delta T$  er temperaturdifferansen mellom ventilasjonsluften og atmosfæren.

Når  $d = 3$  m og  $w = 10$  m/s blir tilleggshøyden på grunn av utslippets hastighet:  $\Delta h_1 = \frac{45}{u}$ . Typiske verdier for  $\Delta h_1$  blir:

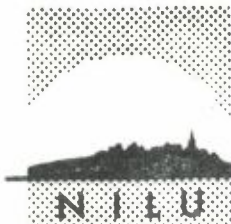
u (m/s)	2	3	5
$\Delta h_1$ (m)	22	15	9

Temperaturen i ventilasjonsutslippet vil om vinteren være høyere enn i luften omkring, og dermed gi en ekstra overhøyde. Et temperaturoverskudd på f.eks.  $10^{\circ}\text{C}$  gir en overhøyde på ca 10 m når vindstyrken er 2-3 m/s. Om sommeren vil temperaturen i ventilasjonsluften stort sett være omtrent lik temperaturen i luften, men i varme perioder må en regne med at utslippsluften vil være kaldere enn luften omkring, dvs. utslippet vil få en "negativ oppdrift", og dermed redusere overhøyden som skyldes utslippets hastighet.

### A.3 Midlingstid

På grunn av turbulente fluktuasjoner i vinden vil konsentrasjonen på et gitt sted variere raskt med tiden. Dette medfører at den tiden konsentrasjonen måles over (midlingstiden) har stor betydning. Vanligvis angis forurensningskonsentrasjoner for midlingstider mellom 30 minutter og 24 timer, men for lukt bør midlingstiden være meget kort, ca 1 minutt eller mindre.

Spredningsparametrene  $\sigma_y$  og  $\sigma_z$  i ligning 3 er i "Workbook on Atmospheric Dispersion Estimates" (U.S. Department of Health, Education and Welfare, 1970) gitt for en midlingstid på 10 minutter. Spredningsparametre for 1 minutts midlingstid er dårlig kjent, men det er vanlig å anta at middelkonsentrasjon over 1 minutt er 1.5 ganger middelkonsentrasjonen for 10 minutter. Denne faktoren er benyttet ved beregningene presentert i figur 5.



# NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

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

TLF. (02) 71 41 70

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. 28/78	ISBN--82-7247-033-0
DATO 21.6.78	ANSV. SIGN. <i>H. Dovland</i>	ANT. SIDER OG BILAG 18                      1
TITTEL Utslipp av ventilasjonsluft fra Sentralanlegg Vest		PROSJEKTLEDER H. Dovland
FORFATTER(E) Harald Dovland		NILU PROSJEKT NR 22276
OPPDRAGSGIVER Vestfjorden Avløpsselskap		TILGJENGELIGHET **
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Kloakkrenseanlegg                      lukt		OPPDRAGSGIVERS REF.
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) Beregninger og vurderinger av nødvendige utslippshøyder for å unngå luktproblemer omkring et kloakkrenseanlegg.		
TITTEL Emission of ventilation air from a sewage plant		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) Calculations of stack heights in order to avoid odours in the vicinity of a sewage plant.		

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