

## VURDERING AV SKORSTEINSHØYDEN VED AKER SYKEHUS

1 INNLEDNING

NILU har fått i oppdrag å vurdere hvor høy skorsteinen ved Aker Sykehus må være for at luftkvaliteten på sykehusområdet og i områdene omkring skal være tilfredsstillende etter en økning av kapasiteten til 33 tonn damp/time tilsvarende et utslipp av  $SO_2$  på 37 kg/time.

Fyringssesongen med olje innskrenker seg til vintermånedene (som regel desember-februar). En har derfor valgt å konsentrere vurderingene til vintermånedene. En har imidlertid også stipulert en vindfordeling for resten av året ved Aker Sykehus.

Beregninger av skorsteinshøyder i et område med høye bygninger er kompleks og usikker. En har derfor i det følgende foretatt en del antagelser for å komme frem til best mulig estimat. Resultatene er presentert med anslåtte sannsynligheter for de beregnede verdiene, basert på målte meteorologiske parametre. Tidligere målinger av  $SO_2$  på sykehusområdet indikerer at antagelsene om bygningens innvirkning på spredningsforholdene er holdbare (1).

2 NORMER FOR  $SO_2$  I UTELUFT

En har i det følgende valgt å legge svenske normer til grunn for vurderingene av skorsteinshøyden ved Aker Sykehus. Disse angir tolerable grenser for  $SO_2$  i uteluft (2). En vil imidlertid nevne at det nå i Sverige diskuteres å gå over til WHO's normer for  $SO_2$  i støv i luft (3). Disse normene er strengere enn de svenske.

Ved den endelige fastsettelsen av skorsteinshøyden på et sykehusområde bør en også ta spesielle helsemessige hensyn. Undersøkelser i New York 1953 (4) viste at konsentrasjoner av  $SO_2$  fra 182  $\mu g/m^3$  til 650  $\mu g/m^3$  i 4 dager førte til en økning av hjerte- og lungesykdommer. Konsentrasjoner på 550  $\mu g/m^3$  var uheldig for helsen hos pasienter med bronkitt.

3 TOPOGRAFI OG BYGNINGSMØNSTER

Terrenget heller svakt oppover fra SV(sørvest) mot NE(nordøst). I området ENE(øst-nordøst) til SE(sørøst) for pipen, hvor hovedtyngden av bygningene ligger, er det forholdsvis flatt.

Pipens plassering i forhold til de nærmeste og høyeste bygningene i området, medisinsk avdeling og den planlagte lungeavdelingen, fremgår av figur 1.

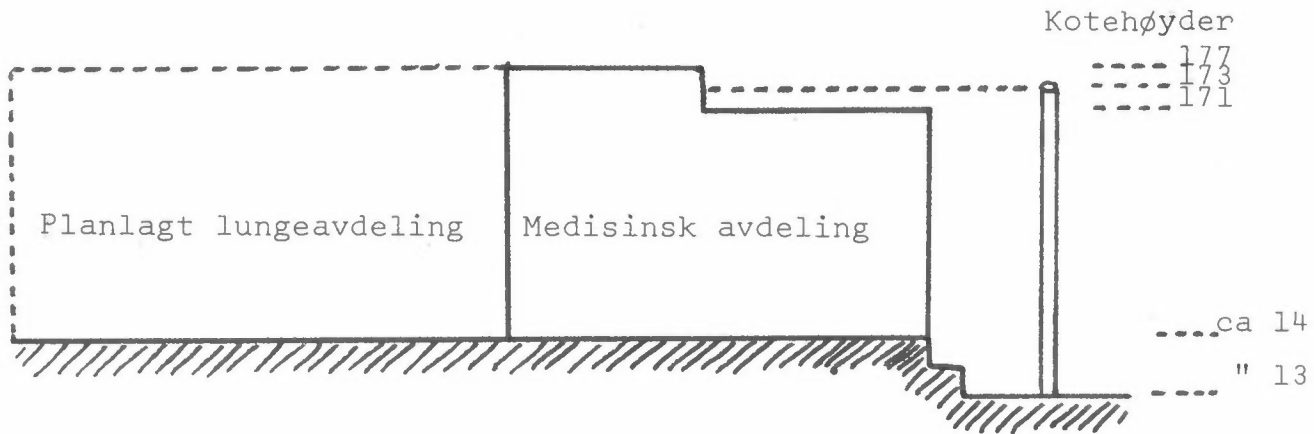


Fig 1: Pipens plassering i forhold til bygningene.

Foten på pipen står på kote 133 moh, ca 7 m under bakkenivå ved medisinsk avdeling, ca 17 m fra bygningen. Toppen av den nåværende 40 m høye skorsteinen ligger under bygningens gesims. Øst for pipen ligger røntgen-, kirurgisk-, operasjons- og fødeavdelingen. Sammen med medisinsk avdeling og den planlagte lungeavdelingen, regner en at dette området har en gjennomsnittlig byggehøyde på 30 m i forhold til foten av skorsteinen. Vest og sørvest for pipen ligger kjøkken, vaskeri, sosialmedisinsk avdeling, elevhjem og sykepleieskole. Det er antatt at gjennomsnittlig byggehøyde i dette området er ca 15 m over foten av pipen.

4

#### METEOROLOGISKE VURDERINGER

Vindmålinger er foretatt ved Aker Sykehus vinteren 1971/72 (1). Disse målingene er sammenlignet med tilsvarende målinger på Blindern og med lange måleserier på Blindern (1931-1960)(5). Ved hjelp av dette har en stipulert en vindfordeling for sykehusområdet for alle årstidene og for året totalt.

I tillegg til vind mot medisinsk avdeling ( $300^{\circ}$  og  $330^{\circ}$ ) og i hovedvindretningen ( $30^{\circ}$  og  $60^{\circ}$ ) har en også angitt vindfrekvensen mot røntgen-, kirurgisk-, operasjons og fødeavdeling. Bygningene er utsatt ved vind fra  $240^{\circ}$  og  $270^{\circ}$ . Selv om frekvensen av vinden mot disse bygningene er større enn mot medisinsk avdeling og den planlagte lungeavdelingen, er deres høyde mindre og de har større avstand fra pipen enn medisinsk avdeling, slik at konsentrasjonen av  $SO_2$  vil være lavere. Den prosentvise andel vind mot bygninger på sykehusområdet fremgår av tabell 1:

Vindretning	240° og 270°	300° og 330°	30° og 60°
Årstid			
Vinter	10	5	25
Vår	20	5	20
Sommer	25	10	15
Høst	15	5	25
År	20	5	20

Tabell 1: Prosentvis andel vind i retning mot bygninger på sykehusområdet basert på vindmålinger ved Aker Sykehus og Blindern i perioden 1.12.1971 - 29.2.1972, samt ved Blindern i perioden 1931-1960.

For å kartlegge stabilitetsforholdene har en brukt temperaturmålinger ved Kongeveien (Holmenkollen) og Blindern i perioden 1.12.1971 - 29.2.1972, samt vindmålinger ved Aker Sykehus og Blindern i samme periode.

## 5 VURDERING AV RØYKENS OVERHØYDE I EN UHINDRET LUFTSTRØM

Ved henvendelse til Byggedirektøren, Oslo kommune, har en fått oppgitt pipens diameter til  $d=1,5$  m. Utslippshastigheten er  $w=10$  m/s ved full belastning (ca 5 m/s ved halv belastning). Røykgasstemperaturen er  $t_g=250^\circ\text{C}$  maksimalt (normalt mellom  $220^\circ\text{C}$  og  $250^\circ\text{C}$ ).

Da utslippet anses å være av relativ beskjedne størrelse, er overhøyden vurdert ut fra Hollands formel (6).

Beregninger gir overhøyde ca 20 m for  $w=10$  m/s,  $u=3$  m/s (midlere vindstyrke) og overhøyde ca 10 m for  $w=5$  m/s,  $u=3$  m/s. Dette gjelder for en uhindret luftstrøm. I en luftstrøm påvirket av et komplekst bygningsmønster er det ikke realistisk å regne med noen overhøyde i det hele tatt ved midlere vindstyrker på 3 m/s eller mer.

## 6 LUFTSTRØMNINGER RUNDT EN BYGNING

Blokker (7) og Halitsky (8) har undersøkt luftstrømning rundt bygninger og kommet frem til endel generelle trekk ved strømningsbildet. Fra omtrent 2,5 ganger bygningens høyde og oppover vil luftstrømmen være upåvirket av bygningen. En turbulenssone hvor det er fare for røyknedslag er antydning å ligge i området fra 30% til 100% høyere enn bygningen. Dette betyr at en eventuell skorstein i nærheten av bygningene ved Aker Sykehus ikke bør være lavere enn 55 meter. Et 100 meter høyt utslipp vil ligge i den upåvirkede luftstrøm og det er ingen fare for  $\text{SO}_2$ -konsentrasjoner i nærheten av svenske

normer for  $SO_2$  i uteluft (2).

Med disse angitte øvre og nedre grensene for krav til skorsteinen ved Aker Sykehus har en i det følgende presentert endel beregningsmåter som grunnlag for nærmere å vurdere skorsteinens endelige høyde.

## 7 BEREGNINGSMÅTER

### 7.1 Belastning på bakken bak bygningene sørøst for utslippet

Med nåværende pipehøyde har en antatt at ved vind fra pipen mot medisinsk avdeling vil hele utslippet komme inn i kavitetsområdet bak bygningen og vil bli ført ned bak denne. Bakkekonsentrasjonen bak bygningene er beregnet for maksimalt tillatt utslipp ifølge konsesjonen. En har antatt lett instabilitetemperatursjiktning og en midlere vindstyrke på 3 m/s. Beregningene er gjort ved å fordele utslippet over hele bygningstverrsnittet (8) og ved å betrakte en imaginær punkt-kilde tilbaketrukket fra det nevnte tverrsnitt.

Beregningene viser at en rett bak bygningen får halvtimesverdier av størrelsesorden  $1000 \mu g SO_2/m^3$ . Inntil 100 m bak bygningen vil bakkekonsentrasjonen være høyere enn de svenske normene. Disse beregningene viser at det ikke vil være tilfredsstillende å øke fyringskapasiteten med den nåværende pipehøyden.

Ved hjelp av vindmålinger ved Aker Sykehus vinteren 1971/72, samt vurderinger av stabilitetsforholdene basert på målinger i Holmenkollåsen, bygningsmønster, vindstyrke og lokal topografi har en anslått sannsynligheten for nedslag bak medisinsk avdeling til å ligge rundt et par prosent i fyrings-sesongen.

Total frekvens av vind mot medisinsk avdeling vinteren 1971/72 var 4% (tabell 3).

### 7.2 Beregning av maksimal belastning ved midlere byggehøyde 30 m

En har antatt midlere byggehøyde 30 m i forhold til foten av skorsteinen i sektoren mellom nordøst og sørøst. En har beregnet den effektive skorsteinshøyde for at konsentrasjonen i nevnte byggehøyde ikke i noe punkt skal overstige den svenske normen for halvtimesverdier av  $SO_2$  i uteluft. Til beregningene har en benyttet vanlige spredningsformler (9). Det er forutsatt maksimalt tillatt utslipp, at utslippet er konstant og kontinuerlig og at plasseringen av pipen er uforandret.

Resultatene viser at ved instabil sjiktning og midlere vindstyrke 1 m/s må en ha en effektiv pipehøyde på 72 m før ikke å overstige den svenske normen. I dette tilfellet er det rimelig å regne med en viss overhøyde. Det kritiske punkt vil være 450 m fra pipen, dvs mer enn 200 m på andre siden av Sinsenveien. I dette området er midlere byggehøyde vesentlig lavere enn 30 m over nivået ved foten av pipen. Ved vindstyrke 3 m/s vil det kritiske punktet være 250 m fra pipen, d

dvs like på den andre siden av Sinsenveien. Pipehøyden i dette tilfellet er 55 m. Dette er det samme som den minimumshøyde en har kommet frem til tidligere.

### 7.3 Belastning på toppen av medisinsk avdeling ved uhindret luftstrøm

For å beregne høyden av den nye skorsteinen har en som neste tilnærming beregnet konsentrasjonen på toppen av medisinsk avdeling (kote 177) som skyldes en skorstein i en uhindret luftstrøm. Beregningene er gjort i en horisontal avstand 100 m og 150 m fra pipen. Den planlagte lungeavdelingen vil strekke seg inntil 150 m fra pipen. Ventilasjonssystemet på medisinsk avdeling består av små ventiler (10 x 10 cm) ved hvert vindu i bygningen, unntatt på tverrsidene. Det er antatt at med tilfredsstillende forhold på toppen av bygningen, vil også forholdene ellers ved bygningene være akseptable.

Et konsentrat av beregningene er gitt i tabell 2 som viser hvor høy pipen må være for at svenske normer for halvtimesverdier av  $SO_2$  ikke skal overskrides.

Avstand fra skorsteinen	100 m			150 m		
	1 m/s	3 m/s	5 m/s	1 m/s	3 m/s	5 m/s
Midlere vindstyrke						
Stabilitetsforhold						
Instabilt	64	61	59	70	65	61
Nøytralt	58	56	55	62	59	58
Stabilt	55	54	53	59	57	56

Tabell 2: Nødvendig effektiv skorsteinshøyde for at halvtimesverdier av  $SO_2$  skal ligge under svenske normer ved ulike stabilitetsforhold og midlere vindstyrker (m).

For å kunne vurdere disse resultatene ut fra de meteorologiske spredningsforholdene, har en i tabell 3 gitt den prosentvise andelen av vind fra pipen mot medisinsk avdeling for ulike stabilitetsforhold og vindstyrke-klasser basert på vindmålinger ved Aker Sykehus vinteren 1971/72. Vind fra de to  $30^\circ$ -sektorene  $300^\circ$  og  $330^\circ$  (omkring nordvest) er betraktet under ett for dette formålet.

Midlere vindstyrke	Under 2,1m/s	2,1-4,0m/s	Over 4,0m/s
Stabilitetsforhold			
Instabilt	0,1	0,0	0,1
Nøytralt	0,8	0,3	0,1
Stabilt	2,4	0,1	0,1

Tabell 3: Prosentvis vindfordeling mot medisinsk avdeling ved ulike stabilitetsforhold og vindstyrke-klasser for vinteren 1971/72.

Tabellene viser at ved instabile forhold og ved så lav vindstyrke som 1 m/s kreves en effektiv skorsteinshøyde på 64 m for at normene ikke skal overskrides 100 m fra pipen, dvs midt i bygningskomplekset bestående av medisinsk- og lungeavdeling. For å overholde normen 150 m fra pipen må denne ha en effektiv høyde av 70 m under nevnte betingelser. Frekvensen av denne situasjonen er bare 0,1%, dessuten er det rimelig å anta en viss røykhevning ved så lav vindstyrke (se kap 4), slik at den fysiske skorsteinshøyde er lavere enn 70 m.

For å overholde normen 100 m fra pipen ved nøytral stabilitet kreves en effektiv skorsteinshøyde på minst 58 m. Ved vind under 2 m/s vil en da ha et forurensningsnivå rundt den svenske halvtimesnormen i 0,8% av tiden om vinteren. Med denne skorsteinshøyden vil en ved instabile forhold, som totalt opptrer 0,2% av tiden, kunne vente overskridelser av svenske normer. Dette gjelder selv ved vindstyrke over 4 m/s, som opptrer i ca 0,1% av tiden. I disse situasjonene kan en ikke vente noen overhøyde på røyken ved Aker Sykehus.

#### 7.4 Valg av skorsteinshøyde etter svenske retningslinjer

Ved bruk av svenske nomogrammer for beregning av skorsteinshøyde (2) viser det seg at ved det relativt lave utslippet en har ved Aker Sykehus, kommer en til den konklusjon at skorsteinen bør være minst 10 m over medisinsk avdeling. Det betyr at den fysiske skorsteinshøyden bør være minst 54 m.

#### 7.5 Beregning av hyppigste vindretning

Vind fra nord-nordøst ( $30^\circ$ ) til øst ( $90^\circ$ ) er de hyppigste vindretningene på sykehusområdet om vinteren. Vind fra øst fører imidlertid raskt utslippet bort fra sykehusområdet og mot ubebodde områder på andre siden av Trondheimsveien.

Vind fra rundt nordøst (30° og 60°) vil føre forurensningene mot sosialmedisinsk avdeling, elevhjemmet og sykepleieskolen. Terrenget heller svakt nedover i denne retningen. Det er likevel antatt en gjennomsnittlig bygningshøyde i denne spredningssektoren på 15 m i forhold til bakkenivået ved pipen. Beregningene er utført for instabile atmosfæriske forhold, på grunn av innvirkninger fra høye bygninger (medisinsk avdeling) på luftstrømmen før den passerer pipen.

Beregningen viser at en ved en effektiv skorsteinshøyde på 55 m får maksimal bakkekonsentrasjon på 700 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> som halvtimesverdier ved vindhastighet 1 m/s i avstanden 250-300 m fra pipen. Ved en 65 m høy pipe er tilsvarende konsentrasjon 445 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> i avstanden 350-400 m.

Vindmålinger viser at 0,9% av tiden om vinteren har en instabile forhold ved vind under 2 m/s i denne retningen. Dette viser at de svenske normene for halvtimes-konsentrasjoner i hovedvindretningen ikke vil overskrides selv med en pipe på 55 m effektiv høyde.

## 8 AVSLUTTENDE KOMMENTAR

Beregningene viser at en ved nåværende skorsteinshøyde vil få konsentrasjoner bak medisinsk avdeling som overskrider de svenske halvtimesnormene for SO<sub>2</sub>.

Ved krav om at svenske normer ikke skal overskrides på toppen av medisinsk avdeling og den planlagte lungeavdelingen, har en kommet til at pipen bør være 15-20 m høyere enn denne, dvs pipehøyden bør være omkring 60 m. Ved denne høyde vil forholdene være tilfredsstillende også i hovedvindretningen på området.

Utgangspunkt for vurderingene er vindmålingene på taket av medisinsk avdeling 1.12.1971-29.2.1972. En har også stipulert en vindfordeling på sykehusområdet også for de andre årstidene. Det viser seg at vind fra pipen mot medisinsk avdeling forekommer kortere tid om vinteren enn de andre årstidene.

Ved beregningen av skorsteinshøyden har en krevet at svenske normer for SO<sub>2</sub> i uteluft ikke skal overskrides. En bør imidlertid også ta helsemessige hensyn på et sykehusområde, se punkt 2.

REFERANSER

- (1) E Joranger: Målinger av svoveldioksyd omkring Aker Sykehus. NILU Oppdragsrapport nr 45/72, oktober 1972.
- (2) Riktlinjer för emissionsbegränsande åtgärder vid luftförorenande anläggningar. Statens Naturvårdsverk. Publikasjon 2, 1970.
- (3) Air Quality Criteria and Guides for Urban Air Pollutants. World Health Organization, Technical Report Series no 506, Geneva 1972.
- (4) Air Quality Criteria for Sulfur Oxides US Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, March 1967.
- (5) W Johannessen, T: Standard Normals 1931-60 of Monthly Wind. Summaries for Norway. Det Norske Meteorologiske Institutt, 1969.
- (6) Carson, J: The Validity of Several Plume Rise Formulas. Journ. of Air Poll. Control Ass. 19 862 (1969).
- (7) Dr PC Blokker: Influence of Buildings on Air Pollution. Stichting Concauwe, The Hague, March 1970.
- (8) Halitsky, J: Gas Diffusion near Buildings. Meteorology and Atomic Energy. US AEC 1968.
- (9) B Turner, D: Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates 1970. US Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service. Publication no 999-AP-26.