

NILU
Teknisk notat nr 6/71
Referanse: IO 000171
Dato: April 1971

FORURENSNING FRA ENKELTKILDE

av

B Sivertsen

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
Postboks 15, 2007 Kjeller, Norge

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 <u>EFFEKTIV SKORSTEINSHØYDE</u>	2
2 <u>LUFTENS SPREDNINGSFORHOLD</u>	3
3 <u>INNFLYTELSE AV TOPOGRAFI OG BEBYGGELSE</u>	7
4 <u>RØYKENS SAMMENSETNING</u>	10
<u>REFERANSER</u>	12

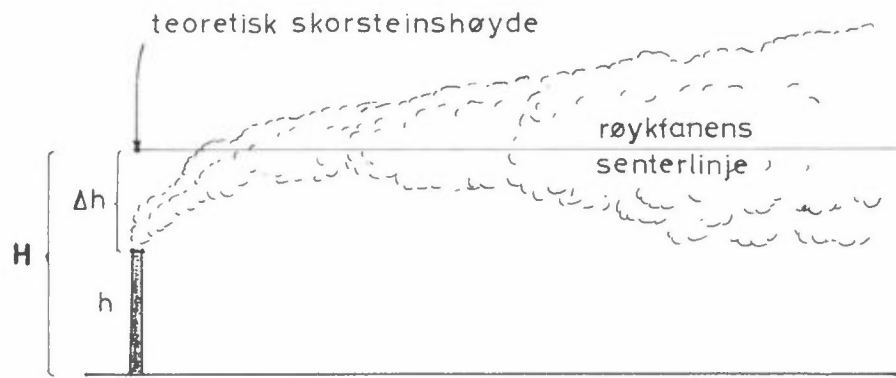
FORURENSNING FRA ENKELTKILDE

Konsentrasjonen av luftforurensning fra en skorstein er avhengig av den mengde røyk som slippes ut fra skorsteinen. Dessuten er den avhengig av følgende parametre:

- 1) Den effektive skorsteinshøyde
- 2) Luftens evne til å spre røyken
- 3) Spredningsområdets topografi og bebyggelse
- 4) Røykens sammensetning (gass, partikler)

1 EFFEKTIV SKORSTEINSHØYDE

Med den effektive skorsteinshøyde menes summen av den fysiske byggehøyde for skorsteinen (h i fig 1) og en tilleggshøyde, Δh som røykfanen får ved utslippet fra skorsteinen:



Figur 1: Effektiv skorsteinshøyde (H),
Fysisk skorsteinshøyde (h),
Tilleggshøyde (Δh)

$$H = h + \Delta h$$

Tilleggshøyden er avhengig av røykens varmeoverskudd i forhold til luften omkring, røykens utslippshastighet, skorsteinens diameter, vindstyrken og luftens statiske stabilitet (se del 2). Det finnes over 30 forskjellige formler til beregning av Δh . Disse gjelder for forskjellig røyktemperatur, forskjellig røykgassmengde og forskjellige

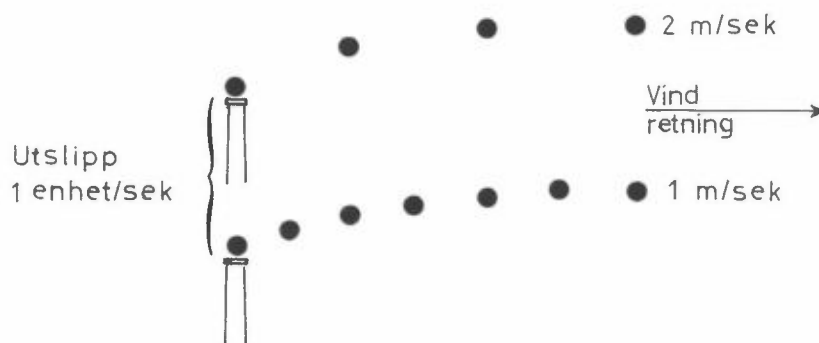
spredningsforhold. Det vil føre for langt å komme inn på disse formlene her, men det skal nevnes at tilleggshøyden som en tilnærming kan settes proporsjonal med utslippshastighet (w), skorsteinsdiameter (d) og røykgassens temperaturoverskudd i forhold til omgivelsene (ΔT). Den er omvendt proporsjonal med vindstyrken (u):

$$\Delta h = \frac{wd}{u} (k_1 + k_2 \Delta).$$

For middels store anlegg kan størrelsen av konstantene⁻² angis: $k_1 \sim 1.5$, $k_2 \sim 10$

2 LUFTENS SPREDNINGSFORHOLD

Når en kjenner den effektive skorsteinshøyden, kan en beregne spredningen av røyken. Det finnes empiriske formler som gir statistiske tidsmidler av røykgasskonsentrasjonen i forskjellige avstander fra utslippet. Disse konsentrasjonene er avhengige av



Figur 2: Direkte uttynning av vind

vindstyrken (anskueliggjort i fig 2) og av luftens blandings-
evne (turbulens).

Den vertikale vindfordeling spiller også en viktig rolle når det gjelder luftens spredningsforhold. Sterk vind gir vanligvis god spredning, svak vind dårligere spredning.

Blandingsforholdene i luften avhenger av den vertikale temperaturfordeling (statisk stabilitet). Ved nøytral statisk stabilitet, se fig 3a, avtar temperaturen med høyden med ca 1°C pr 100 meter for tørr luft og ned til ca $0,6^{\circ}\text{C}$ pr 100 meter for meget fuktig luft. Under slike forhold er spredningen vanligvis meget god, både horisontalt og vertikalt, og den typiske situasjon er karakterisert ved overskyet være med vind.

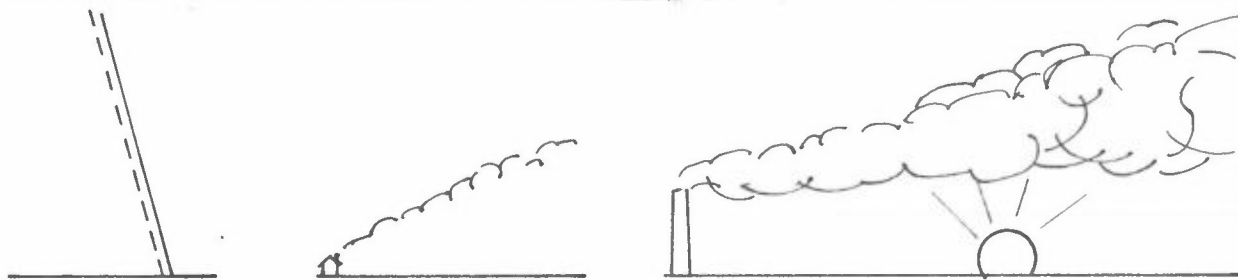
Avtar temperaturen mer med høyden enn ved nøytral statisk stabilitet (ustabil sjiktning), se fig 3b, vil de vertikale spredningsforhold oftest være svært gode. Ustabil sjiktning forekommer vanligvis nær jordoverflaten ved stor lokal oppvarming. Som et eksempel kan nevnes strålingsopphetning av luften ved bakken en solrik sommerdag. Bakken og luften nærmest denne blir da oppvarmet og luften stiger til væres som "bobler" fra de steder hvor bakken absorberer mest strålevarme. Dette gir en termisk turbulens i tillegg til den mekaniske, og spredningen av forurensninger er oftest meget god. Ved svak vind kan det imidlertid oppstå høye konsentrasjoner nær utslippsstedene på grunn av røyknedslag.

Den stabile sjiktning, se fig 3c, er karakterisert ved at temperaturen avtar mindre med høyden enn ved nøytral sjiktning. Ofte øker temperaturen med høyden og situasjonen betegnes da som en inversjon (omvendt temperaturvariasjon).

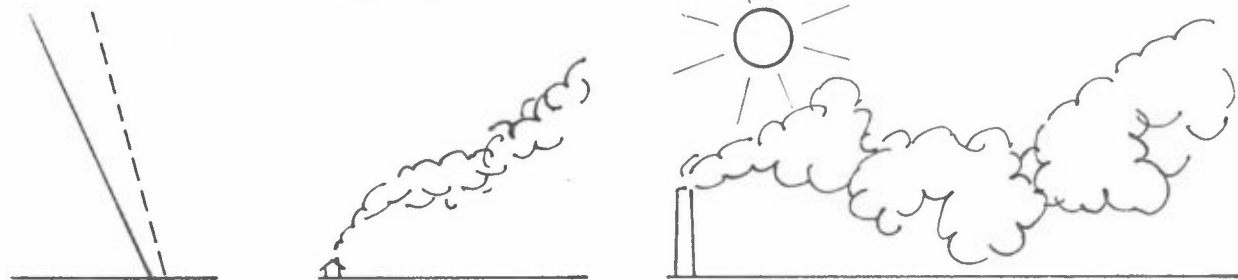
Nederst på fig 3 er vist et par blandede situasjoner som ofte forekommer.

Under stabile sjiktningforhold er den vertikale spredning vanligvis liten. I klarvær med svak vind og liten eller ingen solstråling vil varmestrålingen fra bakken føre til avkjøling av det jordnære luftsjikt med dannelse av lokale inversjoner.

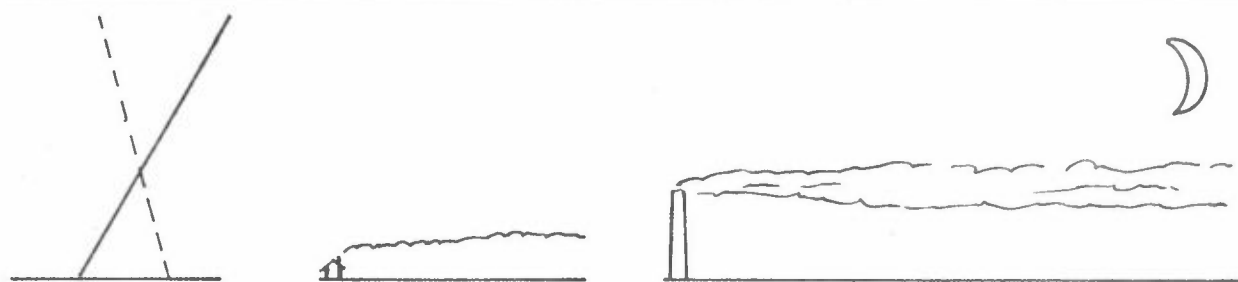
Bakkeinversjoner kan opptre til alle årstider, men inversjonshøyden blir størst og avkjølingen sterkest i vinterhalvåret. Når dagene blir kortere, vil bakkeinversjonen ofte ikke brytes opp i løpet av dagen og holde seg gjennom døgn og uker. Den kan da dekke store områder, og temperaturen ved bakken når de laveste verdier.



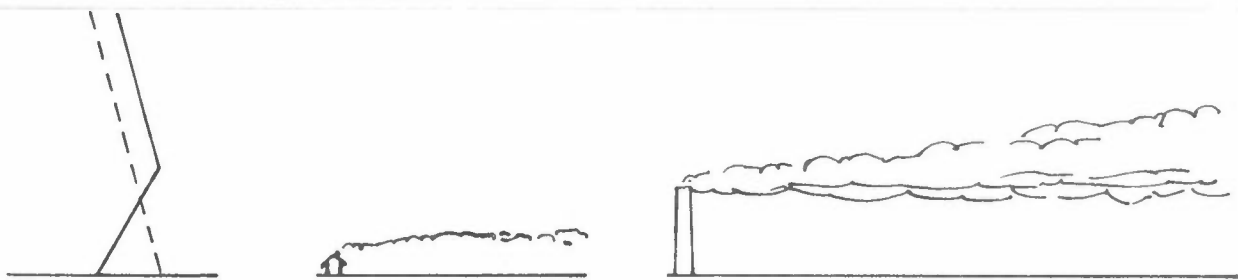
a. Nøytralt



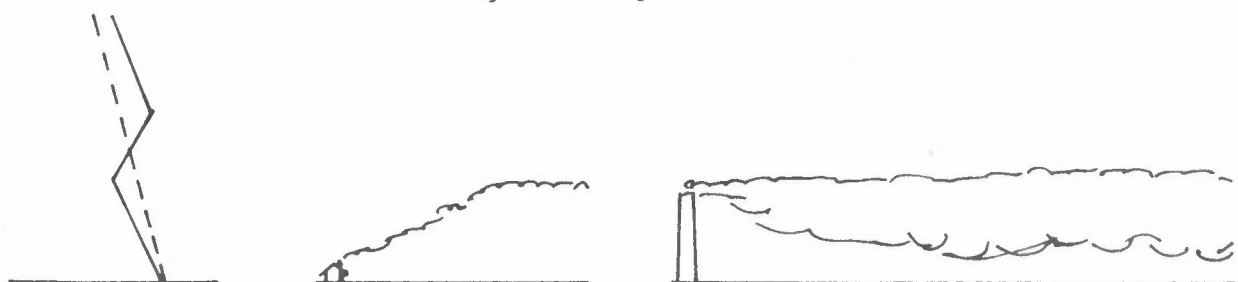
b. Ustabilt



c. Stabilt

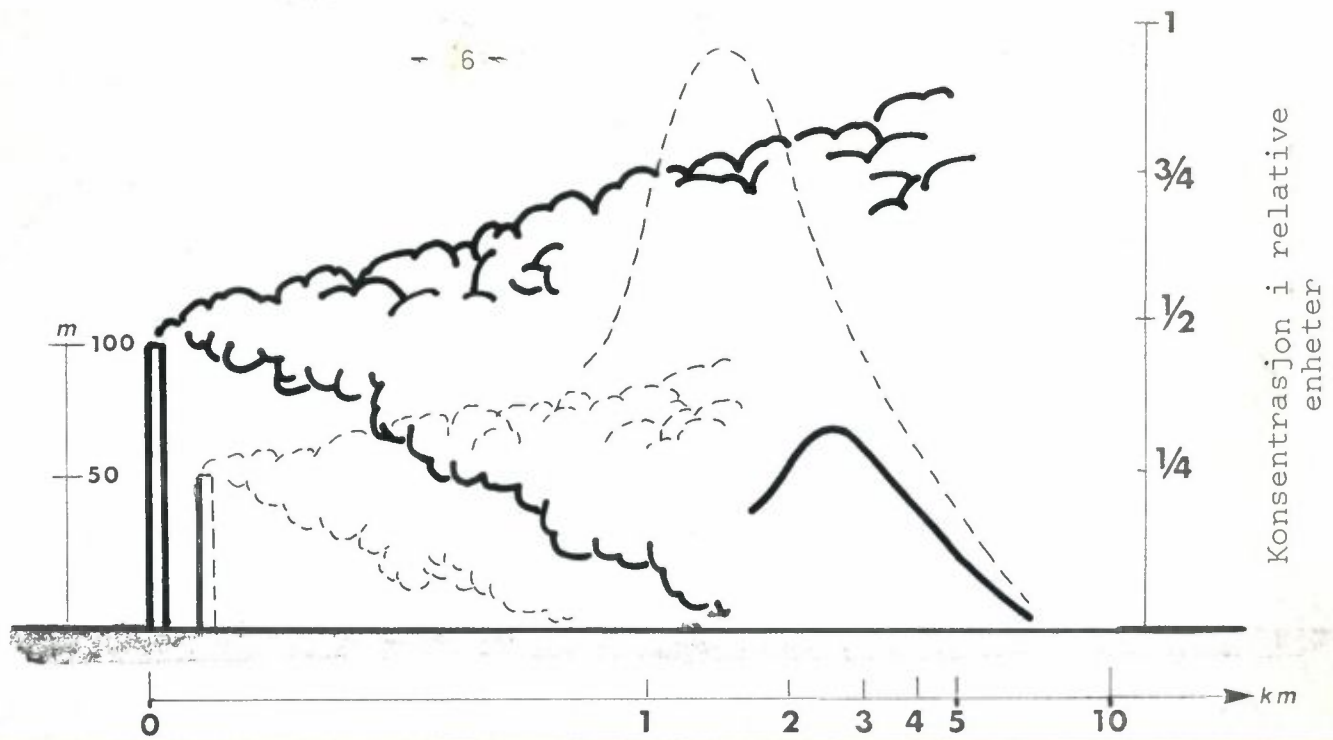


Bakkeinversjon. Nøytralt over.

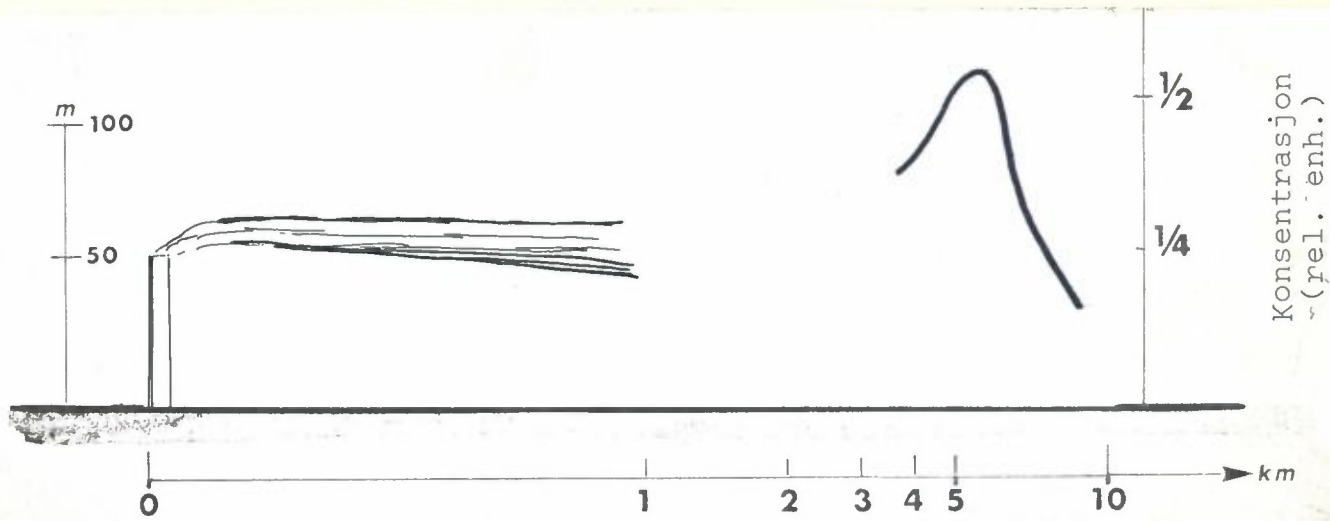


Høy inversjon

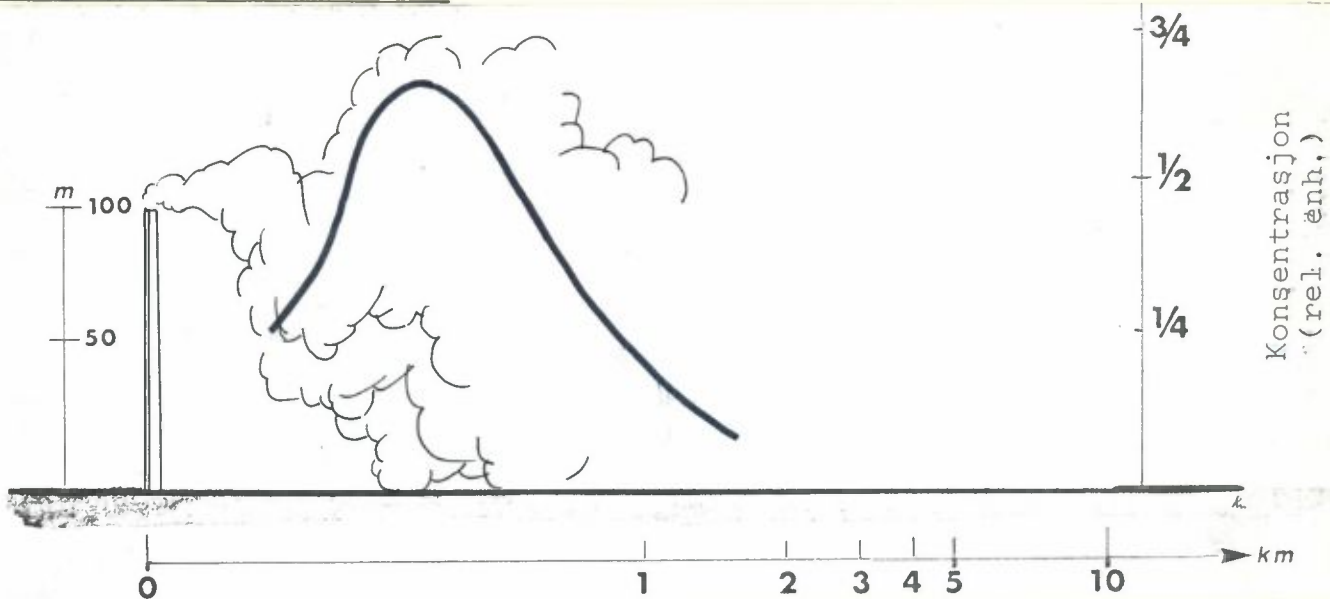
Figur 3: Stabilitetsfordelingens innvirkning på røykspredningen



a) Nøytral sjiktning. — 100 m skorstein, - - - - 50 m skorstein



b) Stabil luft 50 m skorstein.



c) Ustabil luft 100 m skorstein.

Figur 4: Skorsteinshøydens og stabilitetens innvirkning på bakkekonsentrasjon av forurensning fra en skorstein.

Vindstyrken er den samme i de 4 eksemplene.

Hvordan virker så luftens blandingssevne på røyk som slippes ut fra en skorstein? Vi antar i første omgang flatt homogent spredningsområde og gassformig røyk.

I fig 4 er skorsteinshøydens og stabilitetens innvirkning på bakkekonsentrasjonen av røyk anskueliggjort i fire tilfeller. Avstand fra utslippet og relativ verdi av røykkonsentrasjonen er angitt i figurene. I tillegg kommer så vindstyrken som en uttynningsfaktor, slik at konsentrasjonen blir direkte omvendt proporsjonal med denne.

Av fig 4a ser en at maksimal bakkekonsentrasjon fra en lav skorstein er høyere og ligger nærmere utslippet enn konsentrasjonen fra en høyere skorstein. Fig 4b og 4c viser at i stabil luft ligger området for maksimumkonsentrasjon ved bakken mye lengere bort fra utslippet enn i instabil luft. I stabil luft er konsentrasjonen ved bakken (ved flatt terreng) mindre enn i instabil luft. For kupert terreng eller områder med høye bygninger kommer andre effekter inn og fører til at stabil sjiktning kan gi ekstremt høye konsentrasjoner i enkelte punkter i terrenget.

For å vise hvordan konsentrasjonene fordeler seg i utbredningsområdet er verdiene for bakkekonsentrasjonen av røykgass i flatt, homogent terreng gitt i tabell 1 for et utslipp på 100 g gass/sek. Verdiene er gitt i mg/m^3 og representerer 10-minutters midlele bakkekonsentrasjoner langs aksene av røykfanen.

3 INNFLYTELSE AV TOPOGRAFI OG BEBYGGELSE

Vi har i kapittel 2 sett på røykspredningen i flatt, homogent terreng. Denne betingelsen er sjelden oppfylt i Norge. Spredningsområdet er ofte både kupert og inhomogent. Mange utslipp ligger i grenseområdet mellom sjø og land, i bunnen av en dal eller i et område med bebyggelse som går opp i høyde med utslippet. Disse forholdene påvirker røykspredningen slik at effektene må tas hensyn til i konsentrasjonsberegninger.

INSTABIL Q= 1.00+002 G/S U= 2.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	4.9823	10.1412	8.6418	4.7966	2.1952	0.9101	0.3787	0.1508	0.0592	0.0234	0.0096	0.0063	0.0063
50	0.0014	0.2880	2.0271	2.7163	1.7694	0.8423	0.3676	0.1492	0.0590	0.0234	0.0096	0.0063	0.0063
75	0.0000	0.0008	0.1808	1.0529	1.2352	0.7403	0.3498	0.1466	0.0586	0.0234	0.0096	0.0063	0.0063
100	0.0000	0.0000	0.0061	0.2793	0.7469	0.6179	0.3264	0.1430	0.0581	0.0233	0.0096	0.0063	0.0063
125	0.0000	0.0000	0.0001	0.0507	0.3911	0.4993	0.2985	0.1385	0.0574	0.0232	0.0095	0.0063	0.0063
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	0.1774	0.3687	0.2676	0.1332	0.0566	0.0231	0.0095	0.0063	0.0063
INSTABIL Q= 1.00+002 G/S U= 4.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	2.4912	5.0706	4.3209	2.3983	1.0976	0.4551	0.1894	0.0754	0.0296	0.0117	0.0048	0.0032	0.0032
50	0.0007	0.1440	1.0135	1.3581	0.8847	0.4212	0.1838	0.0746	0.0295	0.0117	0.0048	0.0032	0.0032
75	0.0000	0.0004	0.0904	0.5264	0.6176	0.3702	0.1749	0.0733	0.0293	0.0117	0.0048	0.0032	0.0032
100	0.0000	0.0000	0.0031	0.1397	0.5734	0.3090	0.1632	0.0715	0.0290	0.0116	0.0048	0.0032	0.0032
125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0254	0.1956	0.2449	0.1492	0.0692	0.0287	0.0116	0.0048	0.0032	0.0032
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0887	0.1844	0.1338	0.0666	0.0283	0.0115	0.0048	0.0032	0.0032
SIGY	19.5	29.5	44.7	67.6	102.3	154.9	234.4	354.5	537.0	812.8	1230.3	1862.1	1862.1
SIGZ	10.7	16.2	25.4	40.6	65.9	110.0	177.5	296.3	500.1	834.8	1350.0	1350.0	1350.0
NØYTRAL Q= 1.00+002 G/S U= 2.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	0.0268	1.8657	3.2401	9.9447	6.7817	3.6839	1.8504	0.8889	0.4168	0.1940	0.0913	0.0432	0.0432
50	0.0000	0.0000	0.0367	0.9381	2.3764	2.2620	1.4573	0.7913	0.3940	0.1887	0.0911	0.0429	0.0429
75	0.0000	0.0000	0.0000	0.0183	0.4139	1.0034	0.9789	0.6513	0.3587	0.1803	0.0880	0.0424	0.0424
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0358	0.3215	0.5607	0.4968	0.3145	0.1691	0.0852	0.0417	0.0417
125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0744	0.2739	0.3505	0.2657	0.1558	0.0818	0.0408	0.0408
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0124	0.1141	0.2283	0.2161	0.1409	0.0777	0.0398	0.0398
NØYTRAL Q= 1.00+002 G/S U= 4.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	0.0134	0.9329	4.1200	4.9723	3.3909	1.8420	0.9252	0.4444	0.2084	0.0970	0.0457	0.0216	0.0216
50	0.0000	0.0000	0.0184	0.4690	1.1882	1.1310	0.7287	0.3956	0.1970	0.0944	0.0450	0.0214	0.0214
75	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.2069	0.5017	0.4894	0.3259	0.1793	0.0902	0.0440	0.0212	0.0212
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0179	0.1603	0.2804	0.2484	0.1573	0.0846	0.0426	0.0208	0.0208
125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0372	0.1370	0.1752	0.1328	0.0779	0.0409	0.0204	0.0204
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0571	0.1144	0.1081	0.0705	0.0389	0.0199	0.0199
SIGY	10.5	16.0	24.2	36.6	55.3	83.3	126.8	191.9	290.4	439.5	665.3	1006.9	1006.9
SIGZ	5.3	8.7	13.2	19.9	29.9	43.3	62.7	89.3	129.0	185.0	260.8	365.3	365.3
STABIL Q= 1.00+002 G/S U= 2.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	0.0000	0.0020	0.5639	4.7619	8.3841	7.5128	4.9973	2.9383	1.6373	0.8930	0.4813	0.2617	0.2617
50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.1635	0.9891	1.6159	1.5347	1.1106	0.7028	0.4142	0.2372	0.2372
75	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0337	0.2462	0.5199	0.5816	0.4714	0.3225	0.2014	0.2014
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0177	0.1142	0.2351	0.2695	0.2271	0.1601	0.1601
125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0163	0.0734	0.1314	0.1447	0.1192	0.1192
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0177	0.0546	0.0835	0.0832	0.0832
STABIL Q= 1.00+002 G/S U= 4.0 M/S													
H	X>	100	158	251	398	631	1000	1585	2512	3981	6310	10000	15849
25	0.0000	0.0010	0.2820	2.3309	4.1920	3.7564	2.4987	1.4691	0.8187	0.4465	0.2406	0.1308	0.1308
50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0818	0.4946	0.8080	0.7673	0.5553	0.3514	0.2071	0.1186	0.1186
75	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0169	0.1231	0.2599	0.2908	0.2357	0.1612	0.1007	0.1007
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0088	0.0571	0.1176	0.1348	0.1136	0.0801	0.0801
125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0081	0.0367	0.0657	0.0724	0.0596	0.0596
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0088	0.0273	0.0417	0.0416	0.0416
SIGY	6.3	9.5	14.5	21.9	33.1	50.1	75.9	114.8	173.8	263.0	398.1	602.6	602.6
SIGZ	3.5	5.1	7.5	10.9	15.4	21.5	28.8	38.0	49.1	62.6	79.0	97.7	97.7

Tabell 1: Konsentrasjon av forurensning ved bakken, langs aksene i røykfanen.

Konsentrasjonen gitt i mg/m³

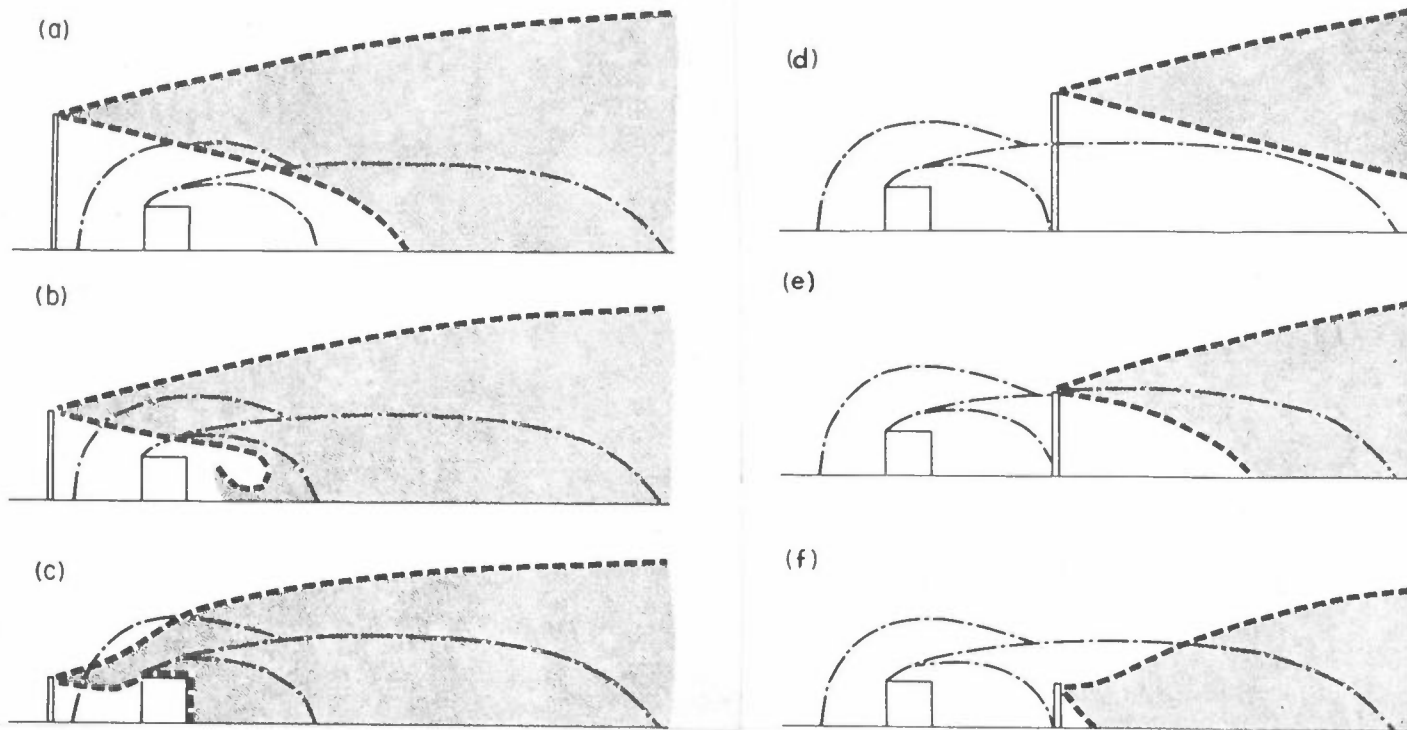
for: forskjellig effektiv skorsteinshøyder (H)(meter)
 forskjellige avstander (x) i meter fra kilden
 vindstyrke: U = 2 m/s, U = 4 m/s
 instabil, nøytral og stabil sjiktning
 utslipp Q = 100 g/sek

Med hensyn til topografien vil fordelingen av åser og daler i første omgang virke til at vinden delvis kanaliseres. Dette innfluerer på fordelingen av vind fra de forskjellige retninger. I en trang dal kan føringseffekten resultere i at vinden nesten alltid blåser enten opp dalen eller ned dalen. Kanalisering kan også føre til at røykfanen blir smalere og konsentrasjonene større enn i flatt terreng.

Hvis terrenget heller eller stiger fra utslippet må dette tas hensyn til i konsentrasjonsberegningene. Når en skal vurdere minste skorsteinshøyde for et nytt utslipp legger en ofte inn hellende terreng ved å heve eller sene "bakkenivå" i det punkt en skal beregne konsentrasjonen.

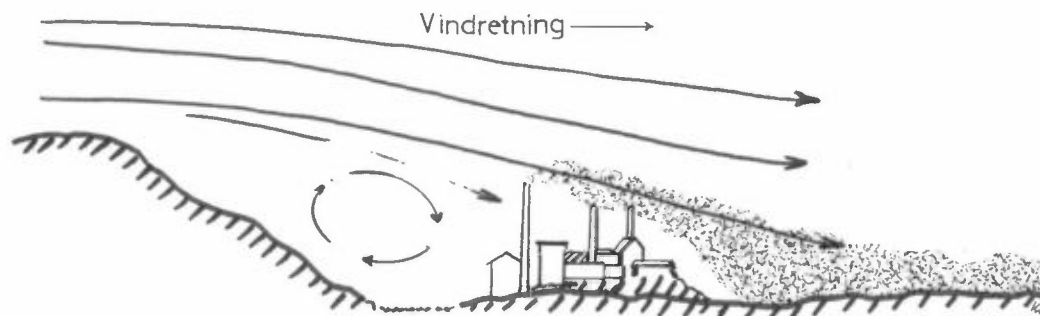
Når det gjelder bygninger i nedslagsområdet, tas det også hensyn til høyden av den midlere bebyggelse. Det kan nevnes at i tyske retningslinjer for beregning av skorsteinshøyder heter det at hvis skorsteinen er mer enn ti ganger så høy som midlere bebyggelse i området blir ingenting korrigert. Når skorsteinen er mindre enn 4 ganger så høy som bebyggelsen (vegetasjon), blir den midlere byggehøyde (vegetasjonshøyde) i helhet lagt til den beregnede skorsteinshøyde. I området mellom blir det interpolert linjært. For skorsteiner lavere enn 35 meter tar en hensyn til bebyggelse innenfor en radius av 500 meter, for høyere skorsteiner betrakter en et område innenfor en radius på 15 ganger skorsteinshøyden (1).

En bygnings innflytelse på røykspredningen fra en skorstein er anskueliggjort i fig 5, med skorsteinen foran og bak bygningen i forhold til vindretningen.



Figur 5: En bygnings innvirkning på røykspredningen fra en skorstein i forskjellige høyder og posisjoner i forhold til bygningen. [3]

Også når en legger skorsteinen for nært opptil en åsrygg vil luftstrømmingene føre til at en får uønskede virkninger av røykspredningen, ved at røyken kan slå ned mot bakken nærmere utslippet enn i flatt terreng (se fig 6).



Figur 6: Luftstrømning bak en ås

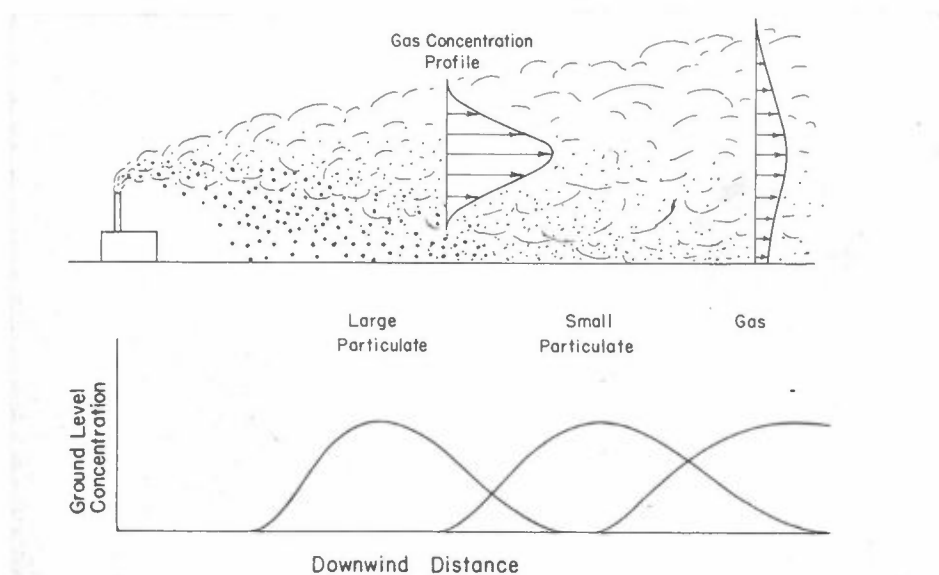
4 RØYKENS SAMMENSETNING

De betraktninger som er gjort ovenfor gjelder for røyk i gassform. Det betyr at røyken ikke må inneholde partikler med merkbar fallhastighet (dvs partikler med diameter $> 10 \mu\text{m}$). Hvis røyken inneholder slike partikler vil dette føre til en

forskyvning av konsentrasjonsfordelingen langs bakken i utbredelsesretningen. Fig 7 viser at de største partiklene faller ut nærmest utslippet, mens røykgassen transporteres lengere før den når bakken.

Hvis røyk i gassform undergår kjemiske eller fysiske endringer under transporten, vil også dette modifisere den konsentrasjonsfordelingen en beregner. Hvis røyk inneholder en spesiell gass, som under transporten reagerer kjemisk og går over til en annen gass, må en kjenne reaksjonshastigheten for å kunne beregne konsentrasjonene.

Nedbør i form av regn eller snø vil også virke modifiserende på røykspredningen. En bør kjenne hyppighet, varighet og intensitet av slik nedbør, før en kan ta hensyn til virkningen av den.



Figur 7: Sammenligning mellom gassformig røyk, og røyk med innhold av partikler for gitt vindstyrke [4]

Gjennom en analyse av topografi, bebyggelse, meteorologi samt tidligere forurensning i et område, kan en når en kjenner utslippsdata for en planlagt skorstein, beregne minste byggehøyde for denne. Dette gjøres da slik at de betingelser en stiller til maksimal tillatt bakkekonsentrasjon ikke overskrides på noe punkt i nedslagsområdet.

LITTERATUR

- (1) Manier, G : Eine neue Methode zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. VDI Berichte Nr 149, 1969.
- (2) Scorer, G : Air Pollution. Pergamon Press (1968).
- (3) Smith, M : Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluence. ASME (1968).
- (4) Stern, A C : Air Pollution. Vol I. Ch. 8 Atmosph. Dispersion of Stack Effluents. Acad. Press N.Y. London (1968).