NILU : TR 6/85
REFERANSE: Q-303
DATO : FEBRUAR 1985

# NØDVENDIG SKORSTEINSHØYDE
# EFFEKTIV HØYDE OG GAUSSISK SPREDNINGSFORMEL

# BEREGNINGSMETODER VED NILU

Y. Gotaas

NILU

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU : TR 6/85
REFERANSE: Q-303
DATO : FEBRUAR 1985

# NØDVENDIG SKORSTEINSHØYDE
# EFFEKTIV HØYDE OG GAUSSISK SPREDNINGSFORMEL

## BEREGNINGSMETODER VED NILU

Y. Gotaas

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN 82-7247-562-6

## *SYMBOLLISTE*

| | | |
|---|---|---|
| A | - | Overhøydeparameter (=$\Delta h\ u$) - $m^2 s^{-1}$ |
| a | - | Spredningsparameter - |
| b | - | Spredningsparameter - |
| C | - | Konsentrasjon - $g/m^3$ |
| CM | - | Maksimal tillatt bakkekonsentrasjon - $\mu g/m^3$ |
| $c_p$ | - | Spesifikk varme, luft - cal/grad |
| d | - | Skorsteinsdiameter - m |
| F | - | Overhøydeparameter (varmefluks) - $m^4 s^{-3}$ |
| H | - | Effektiv skorsteinshøyde - m |
| h | - | Skorsteinshøyde - m |
| $\Delta h$ | - | Overhøyde =H-h |
| K | - | Konstant = (p+q)/q |
| N | - | Gassutslipp - $m^3/s$, $m_N{}^3/h$ |
| p | - | Spredningsparameter - |
| q | - | Spredningsparameter - |
| r | - | Skorsteinsradius - m |
| $\rho_0$ | - | Tetthet av luft ved 273K - $kg/m^3$ |
| $\sigma_y$ | - | Standard avvik, horisontalt = $a\ x^b$ - m |
| $\sigma_z$ | - | Standard avvik, vertikalt = $b\ x$ - m |
| $T_G$ | - | Gasstemperatur - grader K |
| $T_L$ | - | Lufttemperatur - grader K |
| $\Delta T$ | - | $T_G - T_L$ |
| Q | - | Utslipp av forurensende stoff - g/s, kg/h |
| $Q_H$ | - | Varmeutslipp - cal/s |
| $Q_{MW}$ | - | Varmeutslipp - MW |
| w | - | Utslippshastighet - m/s |
| x | - | Avstand fra skorstein i vindretningen - m |

# INNHOLDSFORTEGNELSE

# NØDVENDIG SKORSTEINSHØYDE
# EFFEKTIV HØYDE OG GAUSSISK SPREDNINGSFORMEL

# BEREGNINGSMETODER VED NILU

## 1 INNLEDNING

Ved utslipp av forurensende stoffer til luft må det beregnes en nødvendig utslippshøyde, tilstrekkelig til at fastsatte bakkekonsentrasjoner ikke overskrides. Den vanlige fremgangsmåte er å anta at konsentrasjonen av forurensninger er normalfordelt og å bruke en Gaussisk spredningsformel med "effektiv" skorsteinshøyde tatt fra en velkjent overhøydeformel (Gotaas, 1974; Sivertsen, 1974, 1980).

Vi vil i det følgende se på konsekvenser ved valg av spredningsparametre og av overhøydeformel. Vi velger ideelle betingelser: flatt og homogent terreng uten bygninger som forstyrrer spredningen.

For bakkekonsentrasjonen i vindretningen gir den Gaussiske spredningsformel ved total refleksjon fra bakken:

$$C = \frac{Q}{\pi\ u\ \sigma_y\ \sigma_z} \exp\left(-H^2/2\sigma_z^2\right) \tag{1}$$

Standardavvikene i konsentrasjonsfordelingen på tvers av vindretningen vil vi uttrykke som potensfunksjoner av avstanden x fra utslippspunktet:

$$\sigma_y = ax^p, \quad \sigma_z = bx^q \tag{2}$$

Ved derivasjon av ligning (1) med hensyn på x får vi avstanden $X_M$, til maksimal bakkekonsentrasjon, $C_M$.

$\partial C/\partial x = 0$ gir:

$$X_M = H^{1/q} \left[\frac{q}{b^2 (p+q)}\right]^{1/2q} \tag{3}$$

som innsatt i (1) gir maksimal bakkekonsentrasjon, $C_M$:

$$C_M = \frac{Q}{\pi\ u\ a\ b} \left(\frac{q}{b^2\ (p+q)}\right)^{-(p+q)/2q} H^{-(p+q)/2q} \exp\left[-(p+q)/2q\right] \tag{4}$$

Den effektive skorsteinshøyde, H, er summen av den fysiske skorsteinshøyde, h, og den overhøyde, Δh, skyen får som følge av utslippshastighet og oppdrift:

$$H = h + \Delta h$$

Vanligvis settes $\Delta h = A\ .\ u^{-n}$, hvor A er en funksjon av utslippsbetingelsene (skorsteinsdiameter, utslippshastighet og gasstemperatur).

Maksimal bakkekonsentrasjon, $C_M$, inntreffer ved en kritisk vindhastighet, $u_K$. Denne finnes ved å derivere ligning (4) med hensyn på u (Gotaas, 1977).

$\partial C_M/\partial u = 0$ gir:

$$u_K^n = A(k.n-1)/h \tag{5}$$

og $$H = h[1 + (K.n-1)^{-1}] \tag{6}$$

hvor $k = (p+q)/q$

Av ligning (6) går det frem at n må være større enn 1/(k.n). Formlene gjelder ikke for vindhastigheter under 1-2 m/s, som imidlertid er lavere enn aktuelle kritiske.

I de aller fleste overhøydeformler settes n = 1. Av de mer kjente er det bare Concawe (Brummage, 1966) som velger en annen verdi, nemlig 0.75.

I overensstemmelse med vanlig praksis velger vi i det følgende n = 1. Det gir for kritisk vindhastighet, maksimal bakkekonsentrasjon, den tilhørende avstand, $X_M$, og effektiv skorsteinshøyde:

$$U_K = A/h \,.\, p/q \tag{7}$$

$$C_M = h^{-p/q} \,.\, L \,.\, Q/A \tag{8}$$

$$X_M = D \,.\, h^{1/q} \tag{9}$$

$$H = h(1 + p/q) \tag{10}$$

hvor $L = \pi^{-1} a^{-1} \,.\, b^{p/q} \,.\, (p+q)^{-(p+q)/2q} \,.\, q^{(q-p)/2q} \,.\, p^{p/q} \; \exp\,[-(p+q/q]$

og $D = [(p+q)/q]^{1/2q}\,(b)^{-1/q}$

De høyeste bakkekonsentrasjoner vil inntreffe ved ustabil eller nær nøytral luftstabilitet. Brookhaven (Smith og Singer, 1966) setter p = q. Dette forenkler uttrykkene betydelig. n = 1 gir:

$$U_K = A/h \tag{11}$$

$$C_M = h^{-p/q}\, L \,.\, Q/A \tag{12}$$

$$X_M = 2^{1/2q} \,.\, b^{-1/q}\, h^{1/q} \tag{13}$$

$$H = 2h$$

[n=0.75 gir H=3h]

$$L = (2\pi.a.e)^{-1}\, b/a$$

Nødvendig skorsteinshøyde, h, for ikke å overskride bakkekonsentrasjonen $C_M$, blir:

$$h = L/A \,.\, Q/C_M = \frac{Q}{2\pi.e.A.C_M}\,\frac{b}{a} = \frac{N \cdot C_o}{2\pi e A C_M} \cdot \frac{b}{a} \tag{14}$$

Dette er generelle, almengyldige uttrykk, som gjelder under de forutsetninger det er vanlig å gjøre:

1. Normal (Gaussisk) konsentrasjonsfordeling med standardavvik uttrykt som potenser av avstanden.

2. Overhøyden er omvendt proporsjonal med vindhastigheten.

3. At vi ved beregning av såvel overhøyde som maksimal bakkekonsentrasjon kan bruke den samme midlere vindhastighet, uten å spesifisere referansehøyde. Vindhastigheten må imidlertid være representativ såvel for spredningen som for røykløftet. I uttrykket for minste skorsteinshøyde, h, inngår ikke vindhastigheten. Effekten av økt røykløft ved mindre vindhastighet kompenseres av minsket konsentrasjon, og omvendt.

## 2 VALG AV SPREDNINGSPARAMETRE

Spredningsparametrene a, b, p og q er alle empirisk bestemte. De varierer derfor med de forsøksdata som legges til grunn.

<u>Konsekvenser av parametervalg - generelle utsagn</u>

1. Kritisk vindhastighet er uavhengig av valg av a og/eller b. For p=q avhenger hastigheten bare av utslippsbetingelsene, dvs. av A og h. Den mister mening for meget lave skorsteinshøyder (når h går mot 0), og kan bli urealistisk høy ved meget store varmeutslipp (A).

2. Kritisk vindhastighet avtar med skorsteinshøyden. Dette stemmer med observasjoner. Ifølge Csanady (1972) inntreffer de høyeste bakkekonsentrasjoner ved Sudbury (skorsteinshøyde 381 meter) ved vindhastigheter på 4-5 m/s. Videre: "Tennessee Valley: ... critical ground level pollution occurs under unstable conditions in light to moderate wind" og "High Marnham: ... individual highs in 2-6 m/s". (High Marnham er et av de største kullfyrte kraftverk i England.)

3. Minimum skorsteinshøyde er omvendt proporsjonal med maksimal tillatt bakkekonsentrasjon. For p=q avhenger den bare av parametrene a og b, foruten av utslippsparametrene. Dette gjelder alle stabilitetsklasser.

4. For p = q intreffer maksimal bakkekonsentrasjon når overhøyde = skorsteinshøyde. Konsentrasjonen øker med kvadratet av effektiv skorsteinshøyde og proporsjonalt med fysisk skorsteinshøyde.

5. Avstand til maksimal bakkekonsentrasjon øker med skorsteinshøyden og avtar med økende b.

6. Nødvendig skorsteinshøyde er proporsjonal med utslippet, Q, er omvendt proporsjonal med overhøydeparameteren A og med tillatt bakkekonsentrasjon, $C_M$. Den er videre proporsjonal med uttynningsfaktoren $C_0/C_M$ og med gassutslippet $N=Q/C_0$, hvor $C_0$ er her konsentrasjonen i utslippet.

## 3 OVERHØYDEFORMLER

Det finnes en rekke formler og uttrykk for beregning av røykløft og effektiv skorsteinshøyde. De fleste bygger på fysiske prinsipper og bruk av empiriske koeffisienter, mens enkelte formler bygger på ren korrelasjonsanalyse.

I de fleste tilfelle er varmeoverskuddet den alt dominerende effekt. Det uttrykkes i cal/s ($Q_H$), eller MW ($Q_{MW}$). Sammenhengen er:

$$Q_H = 2.39 \cdot 10^7 \, Q_{MW}$$

$$Q_{MW} = 4.18 \cdot 10^{-6} \, Q_H$$

Vi har:

$$Q_H = \pi r^2 \cdot w \cdot c_p \cdot \varrho_o \cdot (T_o/T_G) \cdot \Delta T$$

Antar vi luftmengden dominerer utslippet kan vi sette $\varrho_o = 1.29 \cdot 10^3$ g/m$^3$ og $c_p = 0.24$ cal/grad. Det gir:

$Q_H = 2.66 \cdot 10^6 \cdot |r^2 \cdot w \cdot \Delta T/T_G| = 2.7 \cdot 10^4 |F|$, hvor F er Briggs overhøyde-parameter:

$$F = g \cdot w \, (d/2)^2 \, \Delta T/T_G = 8.8 |Q_{MW}| = 3.7 \cdot 10^{-5} |Q_H|$$

hvor g = tyngdens aksellerasjon.

Ofte kan F med fordel uttrykkes som:

$$|F| = 3.17 \cdot 10^{-6} \cdot |N \Delta T|$$

hvor N = gassmengde i normalkubikkmeter/time ($m^3_N$/h).

Overhøydeformlene er sterkt bundet til de utslippsdata de representerer. Noen formler separerer effekten av det vertikale moment og kan formelt også brukes ved kalde utslipp, selv om dette ikke har vært hensikten. I de øvrige formler er momentet inkludert i uttrykket for varmefluksen.

Den eneste formel hvor overhøyden ikke er direkte proporsjonal med vindhastigheten er Concawe's:

$$\Delta h = 0.175\ Q_H^{0.5} \cdot u^{-0.75}$$ – nøytral og nær nøytral sjikting

$$\Delta h = 0.047\ Q_H^{0.5} \cdot u^{-0.75}$$ – stabil sjikting

I de øvrige formler og uttrykk er overhøyden, $\Delta h$, omvendt proporsjonal med vindhastigheten, og vi setter $u\Delta h = A$.
De følgende formler er hentet fra en rikholdig litteratur (se referanselisten):

| | |
|---|---|
| Holland (1953) | : $A = 1.5\ w\ d + 4.1 \cdot 10^{-5} Q_H$ |
| Stümke (1961) | : $A = 4.38\ w\ d + 1.2 \cdot 10^{-4} Q_H$ |
| Stümke (1963) | : $A = 1.5\ w\ d + 65 \cdot d^{3/2} (\Delta T/T_G)$ |
| Thomas et al. (1970) | : $A = 1.5\ w\ d + 8 \cdot 10^{-5} Q_H$ |
| Scorer (1962) | : $A = 3.0 \cdot 10^{-4} Q_H$ |
| Lucas, Moore og Spurr (1963) | : $A = 24 \cdot Q_H^{1/4}$ |
| Rauch (1964) | : $A = 8.4 \cdot Q_H^{1/4}$ |
| Bringfeldt (1968) | : $A = 103\ Q_{MW}^{0.39}$ – avstand 250 m |
| | $A = 167\ Q_{MW}^{0.36}$ – avstand 500 m |
| | $A = 224\ Q_{MW}^{0.34}$ – avstand 1000 m |
| Carson og Moses (1969) | : $A = -0.29\ a^* \cdot w \cdot d + 5.35\ a^* \cdot (10^{-3} Q_H)^{0.5}$ |
| | ustabilt: $a^* = 2.65$ |
| | nøytralt: $a^* = 1.08$ |
| | stabilt : $a^* = 0.68$ |

Briggs (1971, 1982) : $A = 1.6.x^{2/3}.F^{1/3}$ - for $x < 10h$

$A = 1.6\ F^{1/3}(10h)^{2/3}$ - for $x \geq 10h$,

eller når N i $m_N^3/h$:

$A = 0.11(N.\Delta T)^{1/3} \cdot h^{2/3}$

Altomare (1971) : $A = 1.6\ F^{1/3}(3.5b*)^{2/3}$

$b* = 14\ F^{5/8}$, når $F < 55\ m^4\ s^{-3}$,

gir $A = 21.4\ F^{0.75}$

$b* = 34\ F^{2/5}$, når $F \geq 55\ m^4\ s^{-3}$,

gir $A = 38.7\ F^{0.60}$

Mer kompliserte formler er gitt av Moore (1974) og av Schatzmann (1979, 1980). For denne diskusjon vil vil imidlertid holde oss til de presenterte, hvorav NILU særlig gjør bruk av Brigg's og delvis også av Stümke (1963).

Tabell 1 viser resultater ved bruk av de forskjellige overhøydeformler for små og store utslipp uttrykt gjennom overhøydeparameteren, A.

Tabell 1: Parameter (A) = overhøyde ved vindhastighet 1 m/s for små og store utslipp. Lufttemperatur = 10$^0$C. Stabilitet: nær nøytral. Skorsteinshøyder: 20 m og 60 m i Briggs formel.

| Overhøyde formel | Diameter = 0.5 m | | | | Diameter = 4 m | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T = 50$^0$C | | T = 210$^0$C | | T = 50$^0$C | | T = 210$^0$C | |
| | w = 10 | w = 20 | w = 10 | w = 20 | w = 10 | w = 20 | w = 10 | w = 20 |
| F ($m^4 s^{-3}$) | 0.92 | 1.84 | 2.54 | 5.07 | 58.9 | 117 | 162 | 325 |
| $Q_{MW}$ | 0.105 | 0.208 | 0.287 | 0.573 | 6.65 | 13.3 | 18.4 | 36.7 |
| $10^4 Q_H$ (cal/s) | 2.49 | 4.98 | 6.86 | 13.7 | 159 | 319 | 439 | 879 |
| N ($m_N^3$/s) | 1.66 | 3.32 | 1.13 | 2.27 | 106 | 212 | 72.5 | 145 |
| 1.5 w d | 7.5 | 15 | 7.5 | 15 | 60 | 120 | 60 | 120 |
| Holland | 9 | 17 | 10 | 21 | 125 | 250 | 240 | 480 |
| Stümke II | 22 | 29 | 26 | 33 | 384 | 444 | 477 | 537 |
| Concawe | 28 | 39 | 46 | 65 | 228 | 313 | 367 | 519 |
| Bringfeldt(1) | 74 | 95 | 107 | 137 | 330 | 424 | 476 | 611 |
| Bringfeldt(2) | 105 | 131 | 147 | 185 | 427 | 540 | 602 | 762 |
| Briggs(20-60m) | 53-111 | 67-139 | 74-155 | 94-195 | 212-443 | 267-558 | 297-620 | 375-782 |
| Altomare | 20 | 34 | 43 | 72 | 446 | 676 | 819 | 1243 |
| Thomas | 10 | 19 | 13 | 26 | 187 | 375 | 411 | 823 |

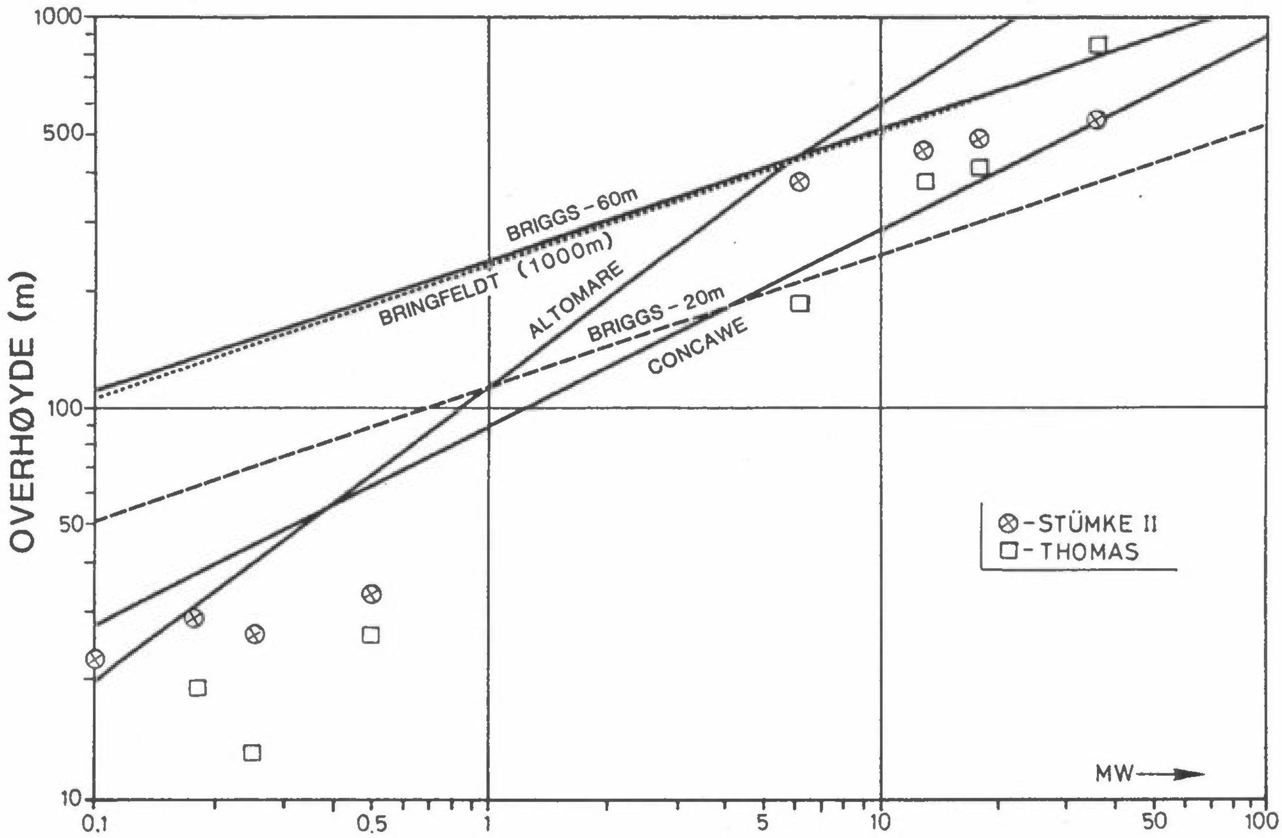
Bringfeldt (1): overhøydeformel for avstand 500 m.
Bringfeldt (2): overhøydeformel for avstand 1000 m.

Overhøydeformlene kan deles inn i 2 forskjellige typer:

1. De som lar momentfluksen være representert som selvstendig ledd proporsjonalt med (w.d). Dette gjelder Holland, Stümke, Thomas, Carson og Moses. En skulle kanskje tro disse var særlig egnet for små og kalde utslipp. Stumkes formel baserer seg imidlertid vesentlig på data for skorsteinsdiameter 3.6 m, utslippshastighet ca 10 m/s og et temperaturoverskudd på 50$^0$C. Carson og Moses's opprinnelige formel hadde dette leddet positivt, som rimelig er. Nye data med ny korrelasjonsanalyse ga imidlertid negativt fortegn, hvilket foruten å være en skjønnhetsplett gir et ufysikalsk inntrykk av momentfluksens betydning.

2. De som uttrykker overhøyden som en ren funksjon av varmefluksen og hvor momentfluksen er inkludert. Dette gjelder formlene av Bringfeldt, Briggs, Concawe og Altomare. Concawe har, som tidligere nevnt, overhøyden ikke omvendt proporsjonal med vindhastigheten, u som de øvrige, men med $u^{1/3}$. Den gir relativt lave verdier, og i England er foreslått å multiplisere med en faktor 2. Briggs formel bygger på en teoretisk betraktning av røykløftet og gir proporsjonalitet med avstanden opphøyet i 2/3. For praktisk bruk ved beregning av nødvendig skorsteinshøyde settes avstanden til 10 ganger den fysiske skorsteinshøyde. Dette gjelder imidlertid bare utslipp fra høye skorsteiner, hvor denne høyst ufysikalske antagelse spiller mindre rolle. For utslipp fra relativt lave skorsteiner vil ukritisk bruk av Briggs formel føre til store og urealistiske forskjeller i overhøyde, illustrert i tabell 1.

Karakteristiske trekk ved overhøydeformlene trer også tydelig frem i figur 1. Den viser størst overensstemmelse for utslipp rundt 5 MW. En ser videre hvor lave verdier formlene av Stümke og Thomas gir ved små utslipp. Vi gjør imidlertid uttrykkelig oppmerksom på at såvel i tabeller som figurer er formlene delvis brukt utenfor sitt opprinnelige gyldighetsområde. Briggs formel er nevnt. For små utslipp har han egen formel, ikke tatt med her. Videre gjelder Altomare-formelen utslipp fra store kjøletårn og Bringsfeldts formel for bestemte avstander.




Figur 1: Overhøyde ved vindhastighet 1 m/s som funksjon av varmeoverskuddet. For Stümke og Thomas er plottet tilsvarende verdier fra tabell 1. For beregninger i gyldighetsområde: se tekst og respektive referanser.

Logaritmisk derivasjon gir den prosentvise økning i overhøydeparameteren, A, ved en prosentvis økning i en utslippsparameter. For type 2, som alle er av formen A =konst. $Q_{MW}^{m}$, får vi:

$$\partial A/A = m\ \partial(\Delta T)/\Delta T = m\ \partial N/N = 2\ m\ \partial d/d \qquad (15)$$

Altomare, som har størst verdi for m, har da også størst helning på figur 1. Ennå større helning ville Scorers formel gitt. Sterkest prosentvis økning med $\Delta T$ gir Stümke, Holland og Thomas.

## 4 ENKEL METODE FOR BEREGNING AV SKORSTEINSHØYDE

Fra ligning (14) s 7, kan vi komme frem til en enkel metode for beregning av nødvendig skorsteinshøyde, ved f.eks. bruk av Brookhavens verdier av spredningsparametrene for ustabil sjikting:

$$a = 0.36 \qquad b = 0.33 \qquad (p = q = 0.78)$$

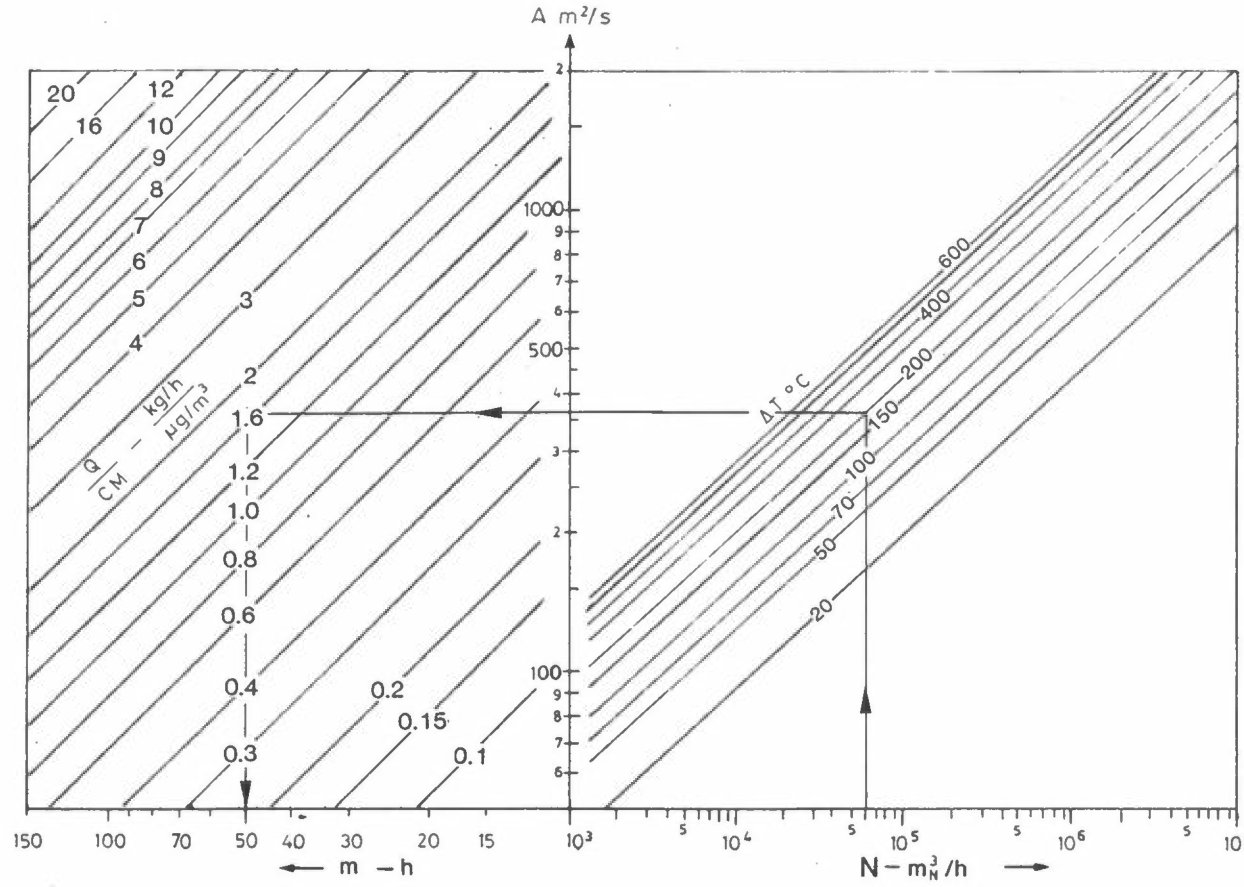
Det gir:

$$h = \frac{bQ}{2\pi ea\ A\ CM} = 0.0537\ Q/(A\ CM) \qquad (16)$$

hvor Q og CM er henholdsvis utslipp og bakkekonsentrasjon som ikke skal overskrides. For Q i kg/time og CM i $\mu g/m^3$ får vi:

$$h = 1.5\ 10^4\ Q/(A\ CM) \qquad (17)$$

For skorsteinshøyder av størrelse 50 m synes Bringfeldt (2) like rimelig som Briggs formel. Nødvendig skorsteinshøyde finnes da lett ved bruk av diagrammet vist i Figur 2. Ønsker vi tilsvarende verdi ved nøytral stabilitet, multipliseres den funne høyden med 0.67.




Figur 2: Grafisk beregning av nødvendig skorsteinshøyde h (m) ved utslipp Q (kg/h), gassmengde N ($m_N^3$/h) og overskuddstemperatur $\Delta T$ for ikke å overskride en bakkekonsentrasjon på CM ($\mu g/m^3$), basert på Bringfeldts overhøydeformel for avstand 1000 m. A = utslippsparameter = $1.44\ [N \cdot \Delta T]^{0.34}$.
Eksempel: N = 60 000 $m_N^3$/h, $\Delta T = 200^0$C, Q/M = 1.6, gir h = 50 m.
Beregningen gjelder nær nøytral temperatursjikting. For ustabil sjikting øker skorsteinshøyden med 40%.
Maksimal bakkekonsentrasjon inntreffer ved kritisk vindhastighet $u_k = \frac{A}{h}$.
For $u_k \geq 5$ m/s anbefales nær nøytral sjikting.

## 5 KONKLUSJONER

Utgangspunktet har vært å studere virkningen av Gaussisk spredningsmodell og eksisterende modeller for røykløft ved beregning av nødvendig skorsteinshøyde, for ikke å overstige en fastsatt bakkekonsentrasjon. Brukes formler hvor løftet er omvendt proporsjonalt med vindhastigheten, blir uttrykket for skorsteinshøyden en entydig funksjon av mengden forurensninger som slippes ut, av fastsatt bakkekonsentrasjon og av parameteren A. A er overhøyden røyken får ved vindhastighet 1 m/s. Dette gir muligheter for en enkel beregning av skorsteinshøyden ved grafisk metode.

All erfaring viser at spredningen gir en nær Gaussisk fordeling horisontalt. Tilsvarende antagelse om den vertikale fordeling er mer tvilsom. Her får det betydning at såvel vinden som turbulensen og det turbulente energispektret, endres med høyden. Små, kortperiodiske hvirvler dominerer vertikalspredningen nær bakken, mens de store, langperiodiske i stor grad er med å spre utslippet fra høye skorsteiner. Videre vil en peke på at empirisk bestemmelse av de 4 parameterverdier, knyttet til de to standardavvikene, kan føre tiltilfeldigheter. Kravet til bevarelse av stoff gir en innbyrdes avhengighet. Sutton nytter f.eks. bare tre parametre i sin klassiske spredningsformel, og unngår derved et overbestemt system.

Men den største usikkerhet i en beregning av skorsteinshøyden ligger utvilsomt i estimatet av overhøyden, dvs. høyden av røykskyen når den flater ut. En må videre ta hensyn til at de presenterte formler i første rekke gjelder utslipp av størrelse og type som brukt ved den empiriske bestemmelse av parameterverdier og være forsiktig med å tøye gyldighetsområdet. Av mer allmengyldig karakter er de nevnte formler av Schatzmann.

## 6 REFERANSER


Altomare, P.H. (1971) The application of meteorology in determining the environmental effects of evaporate heat dissipation systems. Paper presented at the 64th annual meeting of APCA.

Bringfeldt, B. (1968) Plume rise measurements at industrial chimneys. Atmos. Environ., 2, 575-598.

Briggs, G.A. (1971) Plume rise. A recent critical review. Nuclear Safety, 12, 15-23.

Briggs, G.A. (1982) In: Handbook of atmospheric diffusion, by Hanna, S.R., Briggs, G.A. og Hosker, R.P. Wash. (DOE/TIC-11223)

Brummmage, K.G. (1966) The calculation of atmospheric dispersion from a stack. Hague, Stichting Concawe.

Carson, J.E. og Moses, J. (1969) The validity of several plume rise formulaes. J. Air Poll. contr. Ass., 1, 11, 862-866.

Csanady, G.T. (1972) Effect of plume rise on ground level pollution. Atmos. Environ., 7, 1-16.

Gotaas, Y. (1974) Regler og retningslinjer for fastsettelse av skorsteinshøyder. Kjeller. (NILU OR 85/74.)

Gotaas, Y. (1977) Estimating minimum stack height - a simplified procedure. J. Air Poll. Contr. Ass., 27, 12.

Holland, J.Z. (1953) A meteorological survey of the Oak Ridge area, U.S.A. Oak Ridge, Tenn. (E.C. report ORO-99, Tech. Inf. Ser.)

Lucas, D.H., Moore, D.J. og Spurr, G. (1963) The rise of hot plumes from chimneys. Int. J. Air Wat. Poll., 7, 473.

Moore, D.J. (1974) A comparison of the trajectories of rising buoyant plumes with theoretical empirical models. Atmos. Environ., 8, 441-458.

Rauch, H. (1964) Zur Schornsteinuberhöhung. Beitrage zur Physik der Atmosphere, 37, No. 2, 132.

Schatzmann, M. (1979) An integral model of plume rise. Atmos. Environ., 13, 721-731.

Schatzmann, M. (1981) Neue Ansatze zur Schornsteinuberhöhungsrechnung, Sonderdruck aus "promet"-Meteorologische fortbildung, 11, 2/3, 21-26.

Scorer, R.S. og Barrett, C.F. (1962) Gaseous pollution from Chimneys. Int. J. Air Wat. Poll., 6, 49.

Sivertsen, B. (1974) Plume rise calculations. Kjeller. (NILU OR 80/74.)

Sivertsen, B. (1980). The application of Gaussian dispersion models at NILU. Lillestrøm. (NILU OR 11/80.)

Smith, M.E. og Singer, I.A. (1966) An improved method of estimating concentrations and related phenomena from a point source emission. J. Appl. Meteorol., 5, 631-639.

Stümke, H. (1961) Zur Berechnung der Aufstiegshöhe von Rauchfahnen, VDI Forschungsheft, 483, Ausgabe B 27, 38.

Stümke, H. (1963) Vorschalg einer empirischen Formel für die Schornstein-überhöhung. Staub, 23, 549.

Thomas, F.W., Carpenter, S.B. og Colbaugh, W.C. (1970) Plume rise estimates for electric generating stations. J. of Air poll. Contr. Ass., 20, 170-177.

**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)**
**NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH**

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)

POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

| RAPPORTTYPE<br>Teknisk rapport | RAPPORTNR.<br>TR 6/85 | ISBN-82-7247-562-6 | |
|---|---|---|---|
| DATO<br>Februar 1985 | ANSV. SIGN.<br>[signature] | ANT. SIDER<br>19 | PRIS<br>20 kr |
| TITTEL<br>Nødvendig skorsteinshøyde. Effektiv høyde og Gaussisk spredningsformel.<br>Beregningsmetoder ved NILU. | | PROSJEKTLEDER<br>Y. Gotaas | |
| | | NILU PROSJEKT NR.<br>Q-303 | |
| FORFATTER(E)<br>Yngvar Gotaas | | TILGJENGELIGHET*<br>A | |
| | | OPPDRAGSGIVERS REF. | |
| OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE)<br>Norsk institutt for luftforskning | | | |
| 3 STIKKORD (à maks. 20 anslag)<br>Skorsteinshøyde | Overhøyde | Spredningsberegn. | |

REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer)

Det pekes på konsekvenser ved bruk av Gaussisk spredningsformel sammen med forskellige formler for røykløft.

TITLE Minimum stack height - effective height - Gaussian dispersion formulaes.

ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines)

Consequences are examined when a Gaussian dispersion formula is used together with various plume height formulaes.

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