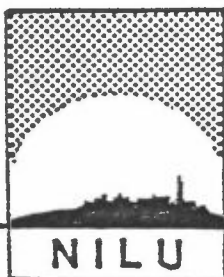


NILU OR : 2/85
REFERANSE: 0-8453
DATO : JANUAR 1985

**SKORSTEINSHØYDEBEREGNINGER FOR
SMÅ FORBRENNINGSANLEGG**

Trond Bøhler



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 2/85
REFERANSE: 0-8453
DATO : JANUAR 1985

*SKORSTEINSHØYDEBEREGNINGER FOR
SMÅ FORBRENNINGSANLEGG*

Trond Bøhler

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN 82-7247-548-0

SAMMENDRAG

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) utarbeidet metoder som kan brukes ved skorsteins-høydeberegninger for små forbrenningsanlegg. Metodene beskrevet her skal senere brukes til å utarbeide enkle instruksjoner til bestemmelse av skorsteinens høyde og diameter for slike anlegg. Med små anlegg menes installasjoner med termisk effekt mindre enn 15 MW og skorsteiner opp til 40-60 m.

Rapporten består av to deler; en generell del og et forslag til praktiske retningslinjer ved dimensjonering av nye anlegg.

Den generelle delen beskriver metoder som gjelder for anlegg med varmeutslipp opptil 20 MW og for skorsteiner mindre enn 100 meter. Den omfatter følgende problemstillinger:

- Evaluering av røykløftformler.
Briggs formel for små utslipp blir foretrukket.
- Bygningsturbulens.
Enkle metoder av Briggs blir brukt for å unngå røyknedslag og lè-virvler bak bygninger.
- Innvirkning av topografi, tettbebyggelse og skog.

Forslaget til praktiske retningslinjer ved dimensjonering av nye anlegg kan summeres slik:

- Utslippshastighet.
 - Denne må tilpasses vindforholdene i området rundt anlegget slik at røyknedslag unngås.
- Bygningsturbulens.
Hvis bygninger forekommer i området, bør anlegget plasseres i en slik avstand at bygningene ikke virker inn på spredningen fra anlegget. Hvis dette ikke er mulig, må diagrammer benyttes for å bestemme skorsteinshøyde, avhengig av anleggets plassering og bygningens dimensjoner.
- Innvirkning av skog og tettbebyggelse.
Midlere høyde av skog/tettbebyggelse estimeres og legges til minimum skorsteinshøyde beregnet for åpent, flatt terreng.

- Topografi.

En skorstein bør ikke plasseres nærmere en enkeltstående haug eller ås enn 5 ganger den beregnede skorsteinshøyden for flatt terreng. Utslippet påvirkes av haugen, hvis det ligger i en avstand av 5 til 30 skorsteinshøyder fra haugen. Tillegg til den beregnede skorsteinshøyden, avhengig av haugens størrelse og plassering i forhold til skorsteinen, er gitt i tabellform.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	6
2 SAMMENLIGNING AV FORSKJELLIGE FORMLER FOR RØYKLØFT	6
3 BEREGNING AV RØYKLØFT - BRIGGS FORMEL FOR SMÅ ANLEGG	8
3.1 Røykløft forårsaket av momentdelen	8
3.2 Røykløft forårsaket av varmeoverskuddet	9
3.3 Innvirkningen av bygninger	9
4 INNVIRKNING AV TETTBEBYGGELSE, SKOG OG TOPOGRAFI	12
4.1 Tettbebyggelse og skog	12
4.2 Topografi.....	12
5 BEREGNINGSMETODE, METEOROLOGISKE FORHOLD	13
5.1 Spredning og stabilitet	13
5.2 Formler for maksimal bakkekonsentrasjon og tilhørende avstand	15
5.3 Dimensjonerende meteorologiske forhold	16
6 FORSLAG TIL RETNINGSLINJER FOR DIMENSJONERING AV NYE ANLEGG	18
6.1 Utslippsbetingelser	18
6.2 Bygningsturbulens	18
6.3 Beregning av røykløft	19
6.4 Topografiske effekter	19
6.5 Skog og tettbebyggelse	19
7 REFERANSER	19

SKORSTEINSHØYDEBEREGNINGER FOR SMÅ FORBRENNINGSANLEGG

1 INNLEDNING

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har fått i oppdrag av SFT å utarbeide et notat om metoder for beregning av skorsteinshøyder ved relativt små anlegg. Notatet vil senere danne grunnlaget for generelle retningslinjer for dimensjonering av små anlegg til forbrenning av olje, kull og avfall. Små anlegg omfatter de med en termisk effekt mindre enn 15 MW.

2 SAMMENLIGNING AV FORSKJELLIGE FORMLER FOR RØYKLØFT

Med røykløft menes den tilleggshøyden som utslippet fra en skorstein får på grunn av utslippshastighet (moment) og overtemperatur i forhold til omgivelsene (oppdrift, varmeoverskudd). I løpet av de siste 10-20 år er det utviklet en rekke formler for røykløft. Tabell 1 viser hvordan beregnet røykløft varierer med forskjellige utslippsbetingelser. Tabellen viser at røykløftet blir forskjellig avhengig av hvilken formel som benyttes, og at formlene varierer forskjellig med utslippsparametre som diameter, utslippshastighet, temperatur og skorsteinshøyde.

For å finne ut hvilke metoder som er best egnet for våre formål, ble det gjennomført en omfattende litteraturstudie for å undersøke hvilke forutsetninger som lå til grunn for de forskjellige røykløftformler. De fleste røykløftformler var basert på måledata fra store varmekraftverk (50-300 MW, med skorsteinshøyder på 150-300 m). I de opprinnelige artiklene ble det advart mot å bruke disse resultatene på mindre anlegg.

Tabell 1: Røykløft (m).

Sammenlikning av forskjellige røykløftformler ved varierende utslippsbetingelser. (Vindprofil er ikke inkludert i beregningene). Det er antatt en vindhastighet i skorsteinshøyde på 1 m/s.

D : diameter

DT: overskuddstemperatur i forhold til uteluft (deg)

W : utslippshastighet (m/s)

Q : varmeutslipp (MW)

W(M/S)	D=0.5				D=1.0			
	DT=50.		DT=200.		DT=50.		DT=200.	
	10.	20.	10.	20.	10.	20.	10.	20.
Q (MW)	0.1	0.2	0.3	0.6	0.4	0.9	1.2	2.4
HOLLAND	9.	17.	10.	21.	19.	38.	26.	53.
STUMKE	22.	29.	26.	33.	56.	71.	67.	82.
MOSES-CARSON	29.	41.	49.	69.	59.	83.	97.	138.
CONCAWE	17.	26.	31.	46.	38.	57.	69.	102.
ALTOMARE	21.	35.	44.	74.	58.	97.	124.	208.
BRIGGS Q<20MW	27.	42.	34.	51.	46.	74.	58.	88.
BRINGFELT 250M	43.	57.	64.	84.	74.	97.	110.	145.
BRINGFELT 500M	75.	96.	108.	139.	124.	159.	178.	228.
BRINGFELT 1000M	106.	134.	149.	189.	169.	214.	239.	303.
RAUCH	107.	127.	137.	164.	151.	180.	194.	231.
W(M/S)	D=1.5				D=2.0			
	DT=50.		DT=200.		DT=50.		DT=200.	
	10.	20.	10.	20.	10.	20.	10.	20.
Q (MW)	0.1	2.0	2.7	5.4	1.7	3.5	4.8	9.6
HOLLAND	32.	64.	48.	96.	47.	93.	76.	151.
STUMKE	97.	120.	118.	141.	145.	175.	178.	208.
MOSES-CARSON	88.	124.	146.	206.	117.	165.	195.	275.
CONCAWE	61.	91.	110.	164.	85.	127.	153.	229.
ALTOMARE	106.	179.	227.	381.	164.	275.	349.	548.
BRIGGS Q<20M	64.	104.	79.	123.	80.	132.	249.	155.
BRINGFELT 250M	102.	134.	151.	198.	128.	167.	190.	248.
BRINGFELT 500M	166.	213.	238.	306.	204.	261.	293.	376.
BRINGFELT 1000M	223.	283.	315.	399.	271.	344.	383.	485.
RAUCH	185.	220.	238.	283.	214.	254.	275.	327.

Tabell 1 viser tildels stor spredning i resultatene av beregnet røykløft, noe som klart viser at de forskjellige formlene, hvor parametrene er tilpasset empiriske data, er basert på forskjelligartete utslipp.

Briggs har i en artikkel (Briggs, 1973) beskrevet en metode som beregner røykløft og bakkekonsentrasjoner for små anlegg ($Q < 20$ MW, $h_s < 100$ m), hvor det er tatt hensyn til bygningsturbulens. Denne røykløftformelen er også tatt med i tabell 1. Konklusjonen av undersøkelsen ble at denne formelen bør benyttes, da den er spesielt tilpasset små anlegg. Metoden er beskrevet nedenfor.

3 BEREGNING AV RØYKLØFT - BRIGGS FORMEL FOR SMÅ ANLEGG

Metoden som presenteres i dette kapitlet gjelder for flatt, homogent terreng, med modifikasjonene for enkeltstående bygninger ved eller i nærheten av utslippet.

Briggs metode for beregning av overhøyde består av to ledd:

$$h_L = h_m + h_b \quad (1)$$

hvor h_m er løftet forårsaket av momentdelen (utslippshastighet) og h_b er løftet forårsaket av varmeoverskuddet.

Ved beregning av momentleddet inngår en vurdering av bygningsturbulens. Løft på grunn av varmeoverskudd neglisjeres ($h_b = 0$) hvis momentdelen ikke løfter utslippet ut av turbulenssonen rundt en bygning, dvs. hvis røykfanen "fanges" i turbulenssonen.

3.1 RØYKLØFT FORÅRSAKET AV MOMENTDELEN

Et vertikalt utslipp fra en skorstein kan løftes pga av sitt moment, forårsaket av utslippshastigheten. Hvis vindhastigheten er stor i forhold til utslippshastigheten, kan røyken trekkes ned på lé-siden av skorsteinen.

Tidligere erfaringer viser at nedtrekk langs skorsteinen ikke forekommer hvis utslippshastigheten er større enn 1.5 ganger vindhastigheten (Hanna et al.; 1982). Røykløftet pga momentum, h_m , kan uttrykkes ved:

$$h_m = 2D(w/u - 1.5) \quad (2)$$

hvor D er skorsteinens diameter, w er røykens vertikalhastighet ut av skorstein (m/s) og u er vindhastigheten (m/s).

3.2 RØYKLØFT FORÅRSAKET AV VARMEOVERSKUDET

Et utslipp vil få oppdrift på grunn av varmeoverskuddet i røykfanen. Det er gitt forskjellige formler for dette, og Briggs uttrykk for små utslipp er:

$$h_b = 21 F^{2/3} / u \quad (3)$$

Denne gjelder for utstabil og nøytral sjikting, eller ved lett stabil og stabil sjikting for vindstyrker over 3.5 m/s. For lav vindstyrke og stabil sjikting brukes formelen:

$$h_b = 19F^{1/3} \quad (4)$$

I begge uttrykkene er F gitt ved:

$$F = gwr^2 (T_g - T_a) / T_g = 8.8Q_{mw} \quad (5)$$

hvor w er utslippshastigheten, r er radius, T_g og T_a er henholdsvis røykgassens og omliggende lufts temperatur og Q_{mw} er varmeutslippet i MW.

3.3 INNVIRKNINGEN AV BYGNINGER

Hvis utslippet skjer i nærheten av en bygning, kan røyken trekkes ned mot bakken på grunn av strømningsbildet over og rundt bygningen.

La L_B være den minste av bygningens høyde, H, eller bredde, B, normalt på vindretningen.

Beregn uttrykket:

$$h' = h_s + h_m \quad (6)$$

hvor h_s er skorsteinshøyden og over bakken i flatt, homogent terreng og h_m er momentleddet gitt i likning (2).

Hvis $h' < H + 1.5L_B$

og utslippet skjer:

- 1) på taket
- 2) nærmere enn $L_B/4$ fra bygningen oppstrøms
- eller 3) mindre enn $3L_B$ rett nedstrøms av bygningen

så vil røykfanen være i et område som er influert av bygningsturbulensen.

Hvis forutsetningene ovenfor ikke er oppfylt, påvirkes utslippet ikke av bygningsturbulens, og røykløftet blir da:

$$h_L = 2D(w/u - 1.5) + 21F^{2/3}/u \quad (7)$$

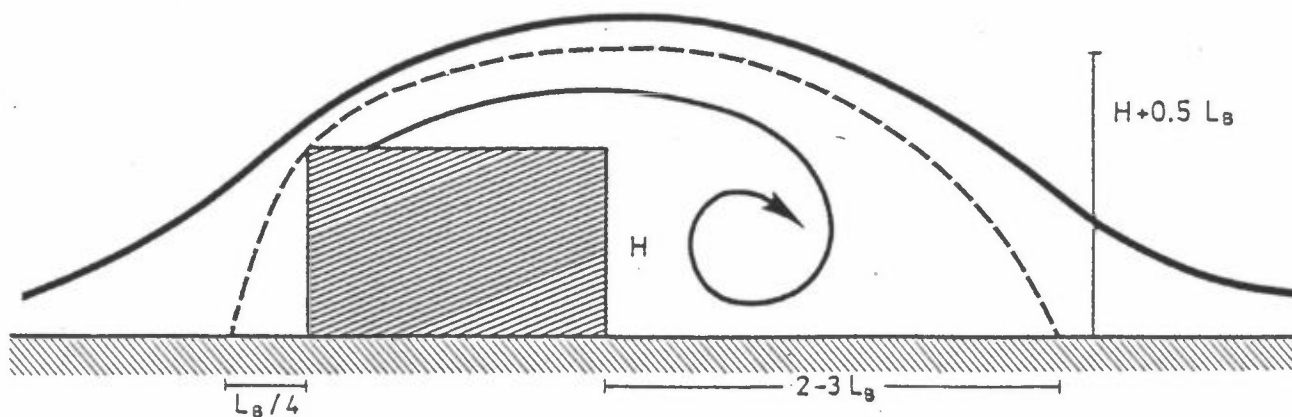
for ustabil eller nøytral sjiktning og for alle forhold ved vindstyrke over 3.5 m/s.

Eller

$$h_L = 2D(w/u - 1.5) + 19F^{1/3} \quad (8)$$

for vindstyrker lavere enn 3.5 m/s ved lett stabil og stabil sjiktning.

Hvis h' er mindre enn $H + 1.5L_B$, så vil deler av eller hele utslippet sirkulere i den aerodynamiske virvel som dannes på lé-siden av bygningen. Virvelsonen begynner på kanten av taket på bygningen oppstrøms, og vokser til en høyde på ca. $H + 0.5L_B$ med en bredde som er litt større enn B og har en utbredelse på $2-3L_B$ nedstrøms for bygningen (se figur 1).



Figur 1: Dimensjoner på turbulenssonen rundt en bygning.

Hvis utslippet skjer i virvelsonen, beregnes den effektive skorsteinshøyden h_e på forskjellige måter avhengig av forholdet mellom h' og $H + 1.5L_B$.

1) Hvis $H < h' < H + 1.5L_B$

$$\text{så er: } h_e = 2h' - (H + 1.5L_B) \quad (9)$$

2) Hvis $h' < H$

$$\text{så er: } h_e = h' - 1.5L_B \quad (10)$$

Hvis h_e er større enn $0.5L_B$, betraktes utslippet som en vanlig punktkilde, og røykløftet på grunn av varmeoverskuddet legges til:

$$h_L = h_b + h_e \quad (\text{for } h_e > 0.5L_B) \quad (11)$$

Hvis h_e er mindre eller lik $0.5L_B$, behandles utslippet som en bakkekilde med utslippsareal $A = L_B^2$.

4 INNVIKNING AV TETTBEBYGGELSE, SKOG OG TOPOGRAFI

4.1 TETTBEBYGGELSE OG SKOG

Som tettbebygd område er det naturlig å benytte definisjonen til Statistisk Sentralbyrå gitt i statistisk årbok, der den gjennomsnittlige avstand mellom husene skal være mindre enn 50 m. Hvis et anlegg skal plasseres i tettbebyggelse beregnes midlere hushøyde i området, og denne legges til beregnet skorsteinshøyde i åpent terreng (h). For et område med skog finnes tilsvarende middelhøyden av skogen, og denne legges til h beregnet etter metodene vist i kap. 3.

4.2 TOPOGRAFI

Det generelle formelverk omfatter ikke slike problemer. Det er derfor vanskelig å utforme en forenklet generell metode. Det påpekes at forslagene nedenfor gjelder for en enkeltstående haug/ås i åpent, flatt terreng. For andre mer kompliserte topografiske effekter anbefales egne utredninger.

I et åpent, landlig område tillates ikke plassering av utslippet nærmere enn $5h_s$ fra haugen, hvor h_s er beregnet skorsteinshøyde i åpent, flatt terreng. I tabell 2 er det satt opp tillegg i skorsteinshøyde på grunn av en enkeltstående haug av høyde H_T avhengig av utslippets plassering i forhold til haugen.

Tabell 2: Tillegg i skorsteinshøyde på grunn av enkeltstående haug av høyde H_T (Gotaas, 1974).

Avstand	$H_T \geq 2h_s$ $\Delta h_T =$	$2h_s > H_T \geq 0.5h_s$ $\Delta h_T =$	$H_T < 0.5h_s$ $\Delta h_T =$
$X \geq 30h_s$	0	0	0
$X \geq 20h_s$	$0.2h_s$	$0.1h_s$	0
$X \geq 10h_s$	$0.4h_s$	$0.2h_s$	0
$X \geq 5h_s$	$0.6h_s$	$0.3h_s$	0

5 BEREGNINGSMETODEN, METEOROLOGISKE FORHOLD

I modellberegningene benyttes Gaussiske spredningsformler, hvor konsentrasjonsfordelingen er normalfordelt både horisontalt og vertikalt vinkelrett på vindretningen (Sivertsen, 1980). Bakkekonsentrasjonen C fra et utslipp blir da:

$$C(x,y) = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2} \right] \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad (12)$$

hvor Q = utslippsmengden

H_e = effektiv utslippshøyde ($h_s + h_L$)

y = avstanden fra røyken akse normalt på vindretningen

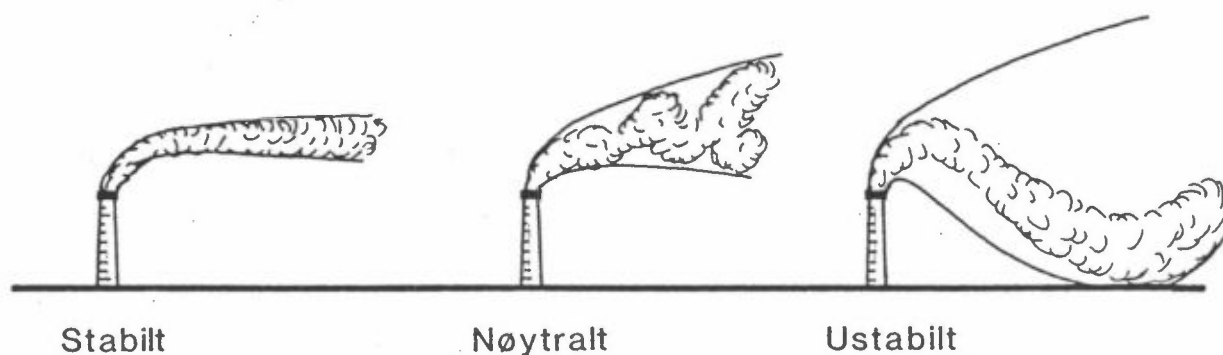
σ_y, σ_z = spredningsparametre i henholdsvis y - og z -retning (horisontalt og vertikalt normalt på vindretningen)

Det er i (12) antatt total refleksjon av forurensninger ved bakken (ingen avsetning).

5.1 SPREDNING OG STABILITET

Spredningsforholdene avhenger av vindhastighet og turbulensforhold. Vindhastigheten bestemmer hvor fort stoffene føres bort, og turbulensen i luften påvirker spredningen på tvers av vindretningen. Turbulensen varierer med overflatens egenskaper, vindstyrke og nettostrålingen (luftens stabilitet).

I en nøytral tørr atmosfære avtar temperaturen med 1°C pr. 100 m og spredningen er da god. Hvis den avtar mer enn 1°C pr. 100 m, er atmosfæren ustabil, og det kan oppstå termiske turbulensvirvler som medfører at røykfanen fluktuerer horisontalt og vertikalt. Hvis temperaturen avtar mindre enn 1°C pr. 100 m er sjiktningen stabil, og dette hemmer turbulensen og den vertikale blandingen. Figur 2 viser karakteristiske trekk ved spredningen for forskjellige stabilitetsklasser.



Figur 2: Stabilitet - spredning.

Spredningsparametrene σ_y og σ_z er definert som standardavviket i konsentrasjonsfordelingen i henholdsvis y- og z-retning (horisontalt og vertikalt normalt på vindretningen). Disse er en funksjon av avstanden fra utslippet og atmosfærens stabilitet. Standardavvikene er bestemt empirisk ved hjelp av sporstoffeksperimenter og målinger av vindfluktuasjoner. Når målinger av vindfluktuasjoner ikke er tilgjengelige, benyttes følgende uttrykk for spredningsparametrene:

$$\sigma_y(x) = ax^p \quad (13)$$

$$\sigma_z(x) = bx^q \quad (14)$$

hvor x er avstanden fra utslippet og a , b , p og q er empiriske konstanter gitt for forskjellige klasser av stabilitet.

Hvilke verdier for de empiriske konstantene a , p , b og q som skal benyttes er avhengig av blant annet skorsteinshøyde, overflatens ruhet og i noen tilfeller midlingstid og transporttid. I tabell 3 er det satt opp to sett med spredningsparametre som er basert på utslipp fra lave kilder. "Glatt overflate" skal benyttes i åpent terreng, mens "ru overflate" skal brukes i tett bebyggelse.

Tabell 3: Verdier for koeffisientene a, b, p og q i spredningsparametrene. Verdiene er basert på utslipp fra lave kilder. (Sivertsen, 1980).

Param.	GLATT OVERFLATE				RU OVERFLATE			
	Ustab.	Nøytr.	L.stab.	Stab.	Ustab.	Nøytr.	L.stab.	Stab.
a	0.31	0.22	0.24	0.27	1.70	0.91	1.02	1.02
p	0.89	0.80	0.69	0.59	0.72	0.73	0.65	0.65
b	0.07	0.10	0.22	0.26	0.08	0.91	1.93	1.93
q	1.02	0.80	0.61	0.50	1.20	0.70	0.47	0.47

5.2 FORMLER FOR MAKSIMAL BAKKEKONSENTRASJON OG TILHØRENDE AVSTAND

Maksimal bakkekonsentrasjon finnes av (12) for $y = 0$, dvs. langs senteret av røykfanen. Deriveres (12) med hensyn på x med uttrykkene (13) og (14) for σ_y og σ_z fås:

$$\frac{dC}{dx} = k \left[\left(\frac{qH^2}{b^2} \right) x^{-p-3q-1} - (p+q) x^{-(p+q)-1} \right] \quad (15)$$

Avstanden fra utslippet til maksimal konsentrasjon, x_{\max} , finnes ved å sette $\frac{dC}{dx} = 0$, som gir:

$$x_{\max} = \left[\frac{qH^2}{b^2(p+q)} \right]^{\frac{1}{2q}} \quad (16)$$

Maksimum konsentrasjon finnes da av (15) ved å sette inn verdier for

x_{\max} :

$$C_{\max} = \frac{Q}{\pi u a b} \left[\frac{qH^2}{b^2(p+q)} \right]^{-\frac{(p+q)}{2q}} \cdot \exp \left[-\frac{(p+q)}{2q} \right] \quad (17)$$

Hvis det er gitt en grenseverdi C_0 for et stoff, og maksimum bakkekonsentrasjon settes lik denne, fåes følgende uttrykk for minimum effektiv utslipps-høyde:

$$H_0 = \left[\frac{b^2 (p+q)}{qe} \right]^{1/2} \cdot \left[\frac{Q}{C_0 u \pi a b} \right] \frac{q}{(p+q)} \quad (18)$$

hvor e er grunntallet for den naturlige logaritme. Grunnlaget for beregningene bryter sammen når u blir liten (stagnasjon). Minimum fysisk skorsteins-høyde fåes ved å subtrahere røykløftet beregnet i kapittel 3 fra H_0 .

5.3 DIMENSJONERENDE METEOROLOGISKE FORHOLD

Ved dimensjonering av nye anlegg vil bruk av formlene ovenfor gi en times-verdi for maksimal bakkekonsentrasjon med tilhørende avstand og vindstyrke for hver stabilitetsklasse beskrevet i avsnitt 5.1. I de fleste tilfellene, der skorsteinen rager over de nærmeste bygningene vil de høyeste bakkekonsentrasjonene forekomme ved ustabil sjiktning og lav vindstyrke (3-5 m/s). Dette skyldes de store vertikale fluktuasjoner som da kan inntreffe på grunn av turbulens i lufta.

I tabell 4 er det gitt en fordeling av stabiliteten opp til 36 m over bakken som funksjon av vindstyrken i 10 m på fire utvalgte steder i Norge, hvor NILU har utført slike målinger. Borge og Heimdal blir brukt som representative stasjoner for innlandet på henholdsvis Østlandet og i Trøndelag, mens Sotra og Varanger er typiske stasjoner for kystklima i henholdsvis Vest- og Nord-Norge. Tabellen antyder om de meteorologiske forhold som gir de høyeste bakkekonsentrasjonene i beregningene ovenfor, virkelig forekommer i området hvor anlegget skal plasseres. Dessuten kan tabell 4 brukes til å anslå nødvendig utslippshastighet for å unngå nedslag langs skorsteinen. Tabell 4 viser at i ca 99% av tiden er vindstyrken lavere enn 10 m/s for stasjon a) og c), mens tilsvarende prosentilverdi for b) og d) er ca 15 m/s.

Tabell 4: Fordeling av stabilitet i 10-36 m over bakken som funksjon av vindstyrken i 10 m bakken på fire steder i Norge:

- a) Borge, Sarpsborg (sept 82 - sept 83).
 b) Vindenes, Sotra (sept 77 - sept 78).
 c) Heimdal, Trondheim (juni 83 - juni 84).
 d) Karlebotn, Varanger (feb 77 - feb 78).

Stabilitetsforhold (se kapittel 5.1):

- U : Ustabilt
 N : Nøytralt
 Ls: Lett stabilt
 S : Stabilt

Stabilitet	Vindstyrkeklasser (m/s)									Sum
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
a)										
U	0.9	3.0	3.7	1.8	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	10.2
N	7.9	15.1	15.5	10.5	4.3	1.5	0.4	0.1	0.0	55.3
Ls	5.3	6.6	5.4	2.2	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	20.7
S	8.0	4.9	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8
b)										
U	0.6	3.4	1.2	0.8	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	6.5
N	10.4	20.6	17.0	14.3	9.1	3.2	1.2	0.4	0.1	76.3
Ls	4.0	6.4	2.1	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	13.5
S	1.5	1.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
c)										
U	6.1	7.9	1.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
N	13.9	15.1	7.8	2.9	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	40.5
Ls	11.7	8.4	2.8	1.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	24.6
S	14.6	3.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.9
d)										
U	1.5	2.8	3.1	1.7	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	10.1
N	5.2	9.7	11.0	8.5	5.5	3.1	1.6	1.1	0.3	46.0
Ls	4.6	5.4	3.5	2.2	1.2	0.4	0.2	0.1	0.0	17.6
S	10.3	11.9	3.3	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3

6 FORSLAG TIL RETNINGSLINJER FOR DIMENSJONERING AV NYE ANLEGG

I kapitlene foran er det gjengitt generelle metoder for beregning av maksimale bakkekonsentrasjoner midlet over 1 time forårsaket av utslipp fra en skorstein. Innvirkninger av bebyggelse, topografi og bygningsturbulens er inkludert.

Ved vurdering av plassering og dimensjonering av et nytt anlegg, kan metodene forenkles vesentlig, da det er mulig å unngå de mest ugunstige effekter på forhånd. Nedenfor er det satt opp et forslag til retningslinjer for dimensjonering av et nytt anlegg.

6.1 UTSLIPPSBETINGELSER

I tabell 4 er det gitt fordeling av stabilitet og vindstyrke på fire steder i Norge. Tabellen viser bl.a. at 99-prosentilet for vindstyrke er ca 10 m/s og 15 m/s for henholdsvis innlands- og kystklima i Norge. For å unngå nedtrekk langs skorsteinen bør skorsteinsdiameteren velges slik at utslippshastigheten ikke blir lavere enn 15 m/s og 22 m/s for henholdsvis innlands- og kystklima (likning 2).

6.2 BYGNINGSTURBULENS

Skorsteinen bør plasseres i en avstand som er større enn $3L_B$ fra en bygning (L_B er den minste av bygningens høyde og bredde), slik at bygningsturbulens unngås (se avsnitt 3.3).

Hvis dette ikke er mulig, bør skorsteinen være minimum $1.5 L_B$ for å unngå at røykskyen "fanges" i hvirvelsonen på le-siden av bygningen. Forutsetningen for å bruke kun $1.5L_B$ er at utslippshastigheten som gitt i kapittel 6.1 er tilstrekkelig stor. Om ikke dette kravet er tilfredstilt, bør skorsteinen være høyere enn $2.5 L_B$ for å unngå røyknedslag.

6.3 BEREGNING AV RØYKLØFT

Ved beregning av røykløft brukes Briggs formler for små anlegg (likn. 11). Det vil bli utarbeidet kurver som gir minimum skorsteinshøyde, h_s i åpent, flatt område. Skorsteinshøydene angis som funksjon av anleggets termiske effekt og for spredning i henholdsvis åpent terreng og i tettbebyggelse. Dimensjonerende forhold vil være avhengig av utslippsbetingelsene (temperatur, hastighet), men ofte vil ustabil sjikting og lav vindstyrke være forhold som gir de høyeste konsentrasjonene ved bakken, når skorsteinen er tilstrekkelig høy.

6.6 TOPOGRAFI

Her blir kun en enkeltstående haug/ås vurdert, og det anbefales nærmere utredninger hvis andre topografiske forhold forekommer i området.

Et anlegg må ikke plasseres nærmere en haug/ås enn $5h_s$, hvor h_s er minimum beregnet skorsteinshøyde for flatt homogent område (avsnitt 6.3). I avstander $5-30 h_s$ vil spredningen være påvirket av haugen. Tilleggshøyden for skorsteinen i forhold til flatt terreng vil variere mellom $0.1-0.6h_s$ avhengig av avstand fra og høyde på haugen (se tabell 2).

6.5 SKOG OG TETTBEBYGGELSE

Hvis et anlegg skal plasseres i et område med skog eller tettbebyggelse, må gjennomsnittshøyden av skog/tettbebyggelse legges til beregnet minimum skorsteinshøyde i åpent, flatt terreng (h_s).

7 REFERANSER

Briggs, G.A. (1973) Diffusion Estimation for Small Emissions (ATDL Contribution File No. 79). Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory.

Gotaas, Y. (1979) Regler og retningslinjer for fastsettelse av skorsteinshøyder. Lillestrøm. (NILU OR 85/74.)

Hanna, S.R., Briggs, G.A., Hosker, R.P. (1982) Handbook on atmospheric diffusion. Technical information center. U.S. Department of Energy.

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

