

NILU
Oppdragsrapport nr 85/74
Referanse: EO-2-31.73
Dato: September 1974

REGLER OG RETNINGSLINJER
FOR FASTSETTELSE AV
SKORSTEINSHØYDER

av

Yngvar Gotaas

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

FORORD

Det gis i mange land spesifiserte regler for fastsettelse av skorsteinshøyder ved utslipp av uønskede stoffer. Regler og retningslinjer baserer seg alle på sterkt forenklete formler. For å gi en forståelse av den praktiske nytte og begrensninger i bruk av generelle retningslinjer, bringer vi en relativt fyldig oversikt over problemene. Tekniske detaljer er samlet i vedlegg.

Beregning av luftstrømmer og spredningsforhold i kupert terreng byr på store og uløste teoretiske problemer. Erfaring alene kan bare gi kvalitative og ufullstendige svar. Retningslinjene må her bli meget grove. For relativt åpent eller jevnt terreng har vi kommet frem til tilsvarende regler som anvendes i andre land, men vårt forslag synes mer fleksibelt og kan lettere tilpasses forskjellige typer av utslipp.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 <u>INNLEDNING</u>	7
2 <u>GENERELLE BETRAKTNINGER</u>	8
3 <u>FORSLAG TIL REGLER OG RETNINGSLINJER TIL BRUK I NORGE</u>	9
3.1 <u>Ukorrigert skorsteinshøyde (referansehøyde)</u>	10
3.2 <u>Tillegg i skorsteinshøyde for bygnings- effekter og omgivende bebyggelse</u>	11
3.3 <u>Tillegg for terrengeffekter</u>	13
3.3.1 <u>Enkeltstående hauger og åser</u>	13
3.3.2 <u>Daler og "gryter"</u>	14
4 <u>KOMMENTARER OG KONKLUSJON</u>	15
VEDLEGG A - REGLER I ANDRE LAND	16
VEDLEGG B - SPREDNINGSFORMLER OG SKORSTEINS- HØYDER	25
VEDLEGG C - BYGNINGSEFFEKTER	39
VEDLEGG D - TERRENGEFFEKTER	43

REGLER OG RETNINGSLINJER FOR FASTSETTELSE AV SKORSTEINSHØYDER

1 INNLEDNING

Ved å la utslipp av uønskede stoffer (gasser eller partikler) skje i tilstrekkelig stor høyde over bakken vil en forhindre spesielt høye bakkekonsentrasjoner og således redusere skadevirkninger.

Regler og metoder for å bestemme nødvendige minste-høyder av skorsteiner varierer fra land til land. For store anlegg blir beregninger som regel utført av spesialister. Praktiske og økonomiske hensyn gjør det imidlertid nødvendig med enkle og lettfattelige regler ved fastsettelse av minste-høyder ved mindre anlegg. Hittil har ikke Norge hatt faste retningslinjer, men i stor utstrekning anvendt de offisielle engelske, tyske eller svenske regler.

Ved beregning av skorsteinshøyder for mange forskjellige anlegg rundt i landet, har "Røykskaderådet fått den erfaring at disse regler kan gi temmelig avvikende resultater og heller ikke i tilstrekkelig grad tar hensyn til norske forhold"¹⁾. Rådet ønsker derfor retningslinjer tilpasset norske forhold. "De bør spesielt dekke fyringsanlegg med kapasitet inntil 5 tonn lett eller tung olje pr time, utslipp av luktende gasser (styrenutslipp, utslipp fra sildeoljefabrikker) og utslipp av forskjellige typer støv"¹⁾.

¹⁾ Brev fra Røykskaderådet til NILU av 19/10 1973.

2 GENERELLE BETRAKTNINGER

Før en behandler konkrete regler, kan noen generelle betraktninger være på sin plass.

- a) Et regelverk som gir faste, konkrete verdier til bruk for planlegger, byggherre, konsesjonssøker og avgjørende myndighet byr på åpenbare fordeler. En unngår å måtte velge mellom fremgangsmåter som hver for seg er like vel funderte, men gir avvikende resultater. Dermed unngås usikkerhet som er uønsket såvel av juridiske som av psykologiske grunner (selv om den kan være reell nok).
- b) Anvendelsen av de enkleste regler må begrenses til mindre utslipp og tilfeller hvor mulige feilvurderinger ikke kan få store konsekvenser.
- c) Beregning av maksimale konsentrasjoner bør suppleres med angivelse av hyppighet. Dette vil gi et mer fullstendig bilde av belastningen, men krever tilgjengelig vindstatistikk og gir mer kompliserte regler.
- d) Følgende ideelle krav kan stilles til regler, tabeller eller diagrammer for praktisk bruk:

1. De må være enkle og gi verdier med en rimelig grad av nøyaktighet. Det må ikke være behov for spesialopplæring. Behov for utregninger må være minimalt.
 2. Nødvendige parametre må være lett tilgjengelige eller enkle å estimere.
 3. Svarene må være entydige. Minst mulig plass for vurderinger.
- e) Ved fastsettelse av regler er det vanlig å bruke midlere vær- og utslippsforhold. En større eller mindre del av tiden vil derfor de fastsatte grenseverdier overskrides. Sannsynligheten for at dette skjer blir sjelden vurdert. Den bør være liten, men må ikke gjøres så liten at kravene fører til urimeligheter.

I vedlegg A er det gitt en oversikt over regler for beregning av skorsteinshøyder i andre land.

3 FORSLAG TIL REGLER OG RETNINGSLINJER TIL BRUK I NORGE

For beregning av skorsteinshøyder har en benyttet en fremgangsmåte som tilsynelatende tar tilstrekkelig hensyn til alle de viktigste faktorer. Men for å komme frem til enkle og oversiktlige diagrammer og regler, må det foretas en rekke vesentlige forenklinger.

Fremgangsmåte og valg av parametre varierer fra land til land og kan i enkelte tilfeller føre til betydelig avvikende resultater. Det foreligger sjelden tilstrekkelig kontrollmålinger til å vurdere nøyaktigheten av hver enkelt metode. (Dette gjelder forøvrig i like stor grad de mer kompliserte fremgangsmåter til bruk ved store anlegg.)

For detaljer og nærmere begrunnelse for våre forslag vises til vedleggene B, C og D.

3.1 Ukorrigert skorsteinshøyde (referansehøyde)

Med ukorrigert skorsteinshøyde menes den minste høyden en kommer frem til ved direkte bruk av spredningsformler alene, etter at det er tatt hensyn til bakgrunnsbelastningen.

For beregning av denne referansehøyden, h_{ref} , som er satt lik den nødvendige fysiske skorsteinshøyde i flatt og åpent terreng, foreslår en følgende uttrykk brukt ved korttidsbelastning (halvtimesmidler)

$$h_{\text{ref}} = \frac{k Q}{A \cdot C_M} \quad (\text{m})$$

Her er: Q utslipp i kg/h. C_M er tillatt maksimal bakkekonsentrasjon i mg/m^3 . Ved valg av verdi for C_M må det tas hensyn til bakgrunnsbelastningen og bidrag fra andre kilder. Faktoren Q/C_M representerer den ønskede fortynningsfaktor, og konstanten k de atmosfæriske forhold. Faktoren A representerer de fysiske utslippsforhold som gir røyken overhøyde.

For konstanten k foreslår en verdien 11 og for A (se vedlegg B) følgende uttrykk:

$$A = 1.5 \cdot w \cdot d + 65d^{3/2} \left(\frac{\Delta T}{T_S} \right)^{1/4} \quad (\text{m}^2\text{s}^{-1})$$

hvor w = vertikal utslippshastighet (ms^{-1})

d = skorsteinsdiameter (m)

T_S = temperatur av utslippet ($^{\circ}\text{K}$)

ΔT = temperaturdifferens utslipp - luft

Utrykket bør ikke brukes ukritisk for utslipp på over 20 MW og/eller for verdier av A større enn $400 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

Ved relativt kalde og/eller små utslipp (A mindre enn $60 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) bør følgende formel brukes

$$h_{\text{ref}} = H - A/2$$

hvor
$$H = 5 \sqrt{\frac{Q}{C_M}}$$

H er den effektive skorsteinshøyde og uttrykket for A beregnes som før. (Det er her regnet med en vindhastighet på 2 ms^{-1} i skorsteinshøyden.)

3.2 Tillegg i skorsteinshøyde for bygningseffekter og omgivende bebyggelse

Skorsteiner bør generelt rage så høyt over tak at en unngår muligheter for selvforurensing. Problemet er oftest av bygningsmessig karakter og bør derfor høre inn under bygningskontrollen. Det finnes regler som forlanger en minimum høydevinkel målt fra takkant til skorsteinstopp, eller baseres på relasjoner mellom bredde, lengde og høyde av bygningen, men disse kan vanskelig gjøres generelle. Spesielt vil en fremheve langstrakte fabrikkbygninger i kombinasjon med kjølig utslipp som en ugunstig konstellasjon.

En grov regel er at skorsteinshøyden bør være den dobbelte av bygningens høyde for å unngå selvforurensning og røyknedslag i den umiddelbare nærhet.

For å kunne ta hensyn til omgivende bebyggelse foreslår vi å bygge på de svenske regler. Skorsteinstillegget Δh_D , for omgivende bebyggelse, velges som den høyeste verdi ifølge punktene a og b:

- a) Ved bebyggelse av høyde B innen en radius av $2 \cdot h_{ref}$ beregnes tillegget etter skjemaet:

$\Delta h_D = 0$	når $\frac{B}{h_{ref}} < 0.3$
$\Delta h_D = \frac{B - 0.3 \cdot h_{ref}}{0.7}$	når $0.3 \leq \frac{B}{h_{ref}} \leq 1.0$
$\Delta h_D = B$	når $\frac{B}{h_{ref}} \geq 1$

- b) I en by eller tettbebyggelse er Δh_D gitt ved høyden over den midlere takhøyde innen en radius av $20 h_{ref}$.

De svenske regler gjelder bare for varme utslipp.

For kalde utslipp (A mindre enn $60 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) foreslår vi at en øker tillegget med 50%.

Kommentar: Generelle regler burde også innbefatte hensyn til fremtidige bygningshøyder. Dette sammen med de usikkerheter som inngår, taler mot en for stringent bruk av de foreslåtte regler.

3.3 Tillegg for terrengeffekter

3.3.1 Enkeltstående hauger og åser

Med referanse til vedlegg D gis et tillegg for terreng-effekter, Δh_t , etter følgende regler:

Når områder som ønskes beskyttet ligger på en enkeltstående ås eller haug i avstand R og i høyde HT over skorsteinsbasis, og når HT er større enn $2 h_{ref}$, settes:

$\Delta h_t = 0$	når $R > 30 h_{ref}$
$\Delta h_t = 0.2 h_{ref}$	når $20 h_{ref} < R < 30 h_{ref}$
$\Delta h_t = 0.4 h_{ref}$	når $10 h_{ref} < R < 20 h_{ref}$
$\Delta h_t = 0.6 h_{ref}$	når $R < 10 h_{ref}$

Når nivåforskjellen, HT , er mindre enn $2 h_{ref}$, men større enn $0.5 h_{ref}$ halveres tillegget. Det faller bort når HT er mindre enn $0.5 h_{ref}$.

Kommentar: Reglene baserer seg i det vesentligste på rent skjønn. De er ment å kunne brukes i alle typer terreng, også ved utslipp i daler. Ved utslipp nærmere en skråning enn $5 \cdot h_{ref}$ er det vanskelig å redusere konsentrasjonene tilstrekkelig ved bare å øke skorsteinshøyden. Slike utslipp bør derfor unngås.

3.3.2 Daler og "gryter"

For et utslipp i en veldefinert dal eller i en "gryte" gjelder at svake og variable vinder forekommer langt hyppigere enn over åpent lende. "Stille" vær med stagnerende luft kan ikke lenger neglisjeres. Grunnlaget svikter for den tidligere brukte beregningsmåte av skorsteinshøyde. Som oftest blir konsentrasjonen i slike tilfeller ganske jevnt fordelt under en "blandingshøyde", H_b . En viss utlufting og avsetning finner sted og effekten kan settes ekvivalent med den vi får ved en jevn gjennomstrømming på u m/s. Dette gir en midlere konsentrasjon

$$C_M = \frac{0.4 \cdot Q}{H_b \cdot B \cdot u} \quad (\text{mg m}^{-3})$$

Her er Q utslippet i kg/h, H_b blandingshøyden i meter og B dalbredden i km i høyden H_b . Tverrsnittet er passende satt lik $2/3 H_b \cdot B$. Vi kan sette H_b lik effektiv skorsteinshøyde (H) beregnet ved en vindhastighet på 1 ms^{-1} , dvs fysisk skorsteinshøyde pluss overhøyden A . Men det kan ofte være mer realistisk å bruke en slags midlere blandingshøyde av størrelsesorden et par hundre meter.

Når denne beregningsmetode gir for høy verdi av C_M må utslippet reduseres. Et enkelt uttrykk for maksimalt utslipp fås ved å anta $u = 0.4 \text{ ms}^{-1}$.

$$Q_{\text{maks}} = H_b \cdot B \cdot C_M$$

I en jevn luftstrøm opp eller ned en dal blir spredningsbildet ikke så vesentlig forskjellig fra åpent terreng. For beregning av de maksimale bakkekonsentrasjoner vil effekten av dalsidene som oftest være ubetydelig. Hvis beregninger av C_M ikke gir for høye bakkekonsentrasjoner, kan derfor skorsteinshøyden beregnes etter de vanlige regler i kapittel 3.1.

Kommentar: Bruk av høye skorsteiner i et dal-
føre løser generelt sett problemene
dårligere enn i åpent terreng.

4 KOMMENTARER OG KONKLUSJON

Høye skorsteiner reduserer ikke bakkekonsentrasjonene vesentlig i avstander over noen kilometer fra utslippet. De tar sikte på å hindre lokale forurensninger, men bidrar lite til å redusere den totale belastning innen et større område.

Bruk av enkle regler gir summarisk behandling og må føre til begrensninger i bruken av disse. Det er allerede antydnet at en ikke bør anvende de enkle skorsteinshøydeformler direkte på varmeutslipp større enn 20 MW. Ved alle større utslipp bør det søkes sakkyndig bistand.

Det samme er tilfelle hvis spesielle værforhold inntreffer relativt hyppig, værforhold som kan føre til store konsentrasjoner ved f.eks. høy vindstillefrekvens etc. En hovedregel er at bare de mindre og relativt enkle tilfeller kan behandles uten bruk av meteorologisk statistikk.

Før det tas endelig standpunkt til de foreslåtte regler bør de utprøves av rådet på konkrete saker. Når den nødvendige erfaring foreligger, med justerings- og endringsforslag, kan det utarbeides diagrammer og retningslinjer som da også bør kunne brukes av andre.

Disse regler gjelder alle typer gasser og partikler (mindre enn 20 mikrometer).

VEDLEGG AREGLER I ANDRE LANDA1 ENGLAND

Regler for beregning av skorsteinshøyder ble fastsatt i "Clean Air Act" i 1956 og 1968. Svoveldioksyd (SO₂) antas å gi et mål for et komplekst forurensningsbilde (1), (2), (3). Reglene omfatter kull- og oljefyrte anlegg med kapasitet inntil 23 tonn/h av fast brensel eller 14 tonn/h av olje som skulle tilsvare ca 200 tonn damp pr time i et varmekraftverk. Ved over 2% svovelinnhold i brenselet legges 10% til den funne skorsteinshøyde. Det brukes forøvrig antatte midlere verdier for utslippsdata og værforhold. Ved enkle diagrammer fastsettes en ukorrigert minste-høyde for skorsteiner avhengig av beliggenhet. Den endelige skorsteinshøyde får en så ved å ta hensyn til høyde og lengde av bygningen skorsteinen står på eller høyden av bygninger i nærheten. Valg av beliggenhet og gruppe (av i alt 5 muligheter) betyr i realiteten et estimat av bakgrunnsbelastningen.

For utslipp inntil ca 15 tonn SO₂/døgn bruker kommunale etater og Alkali Inspectorate enda enklere regler. For utslipp inntil ca 40 tonn SO₂/døgn brukes diagrammer. Større utslipp behandles individuelt.

For andre helseskadelige utslipp antas at immisjonsverdier under 1/30 av tillatt belastning i arbeidsmiljø gir tilstrekkelig beskyttelse for syke og gamle mennesker. Settes denne verdi til P mg m⁻³ for en 3 minutters periode, blir den effektive skorsteinshøyde, H (3, side,185):

$$H = \sqrt{\frac{9M}{20P}}, \text{ hvor } H \text{ er i meter og hvor } M \text{ er utslippet i kg/døgn.}$$

Ved å trekke fra overhøyden røyken får på grunn av termisk oppdrift og utslippshastighet, finnes så den fysiske skorsteinshøyde. Men denne blir ikke uten videre den endelige skorsteinshøyde. Den fastsettes først når en inspektør har vurdert beliggenhet, bakgrunnsbelastning og eventuelle spesielle værforhold. Ved å følge denne fremgangsmåte har Alkali Inspectorate beregnet skorsteinshøyder og fastsatt regler for en rekke forskjellige utslipp som f.eks. fra svovelsyre-, salpetersyre- og sementfabrikker. Videre for teglverk og anlegg som nytter kupolovner (3).

Det engelske overvåkningssystem tar i sterk grad hensyn til praktiske vanskeligheter. Unøyaktigheten ved bruk av matematisk/fysiske formler gir også tilstrekkelig spillerom for enkle regler og bruk av sunt omdømme grunnet i lang erfaring.

A2 TYSKLAND

De tyske regler (4), presentert i VDI 2289, Blatt 1, 2 og 3, er under revisjon. En vil her gi utdrag av de nåværende regler og en omtale av de nye ideer. Det tyske system gjelder bare utslipp av SO_2 . Det er mer spesifikt i valg av parameterverdier enn det engelske. Det brukes også her en middelvei for luftstabiliteten, men en kan velge mellom tre vindhastigheter. Inngangsparametre i diagrammene for ukorrigert skorsteinshøyde er: skorsteinsdiameter, avgassmengde, gasstemperatur og svovelinnhold, samt bakgrunnsbelastningen.

Det er gjort følgende vanlige forutsetninger:

- a) Utslippet består av gass og/eller partikler under 10 mikrometer.
- b) Det skjer ikke kjemiske eller fysiske endringer under spredningsprosessen i luften.
- c) Utslippet er kontinuerlig med konstante utslippsbetingelser.
- d) Spredningen skjer over flatt, åpent terreng uten annen bebyggelse av betydning.

Nomogrammene i Blatt 1 er enkle i bruk og det byr ikke på noen vanskeligheter å bestemme ukorrigert skorsteinshøyde.

Det større antall inngangsparametre gjør systemet mer detaljert enn det engelske, men valg av vindhastighet kan føre til en viss usikkerhet.

I et tillegg angis beregningsmåte for differansen mellom tillatt bakkekonsentrasjon og bakgrunnsbelastning som blant annet avhenger av værforhold og en generell usikkerhet rettfærdiggjør neppe en såvidt omstendig fremgangsmåte. Ved bruk av de tyske regler i Sverige ble det anbefalt å bruke midlere verdier (5).

Blatt 2 til VDI 2289 gir nødvendige korreksjoner som skyldes den omgivende bebyggelse. Det tas her hensyn såvel til midlere hushøyde som til enkeltstående høybygg. Det nevnes at det også bør tas hensyn til uheldige virkninger av luftstrømmen over og rundt bygninger, men uten detaljerte analyser.

Blatt 3 tar hensyn til nivåforskjeller i terrenget. Diagrammene er uoversiktlige og fremgangsmåten virker unødige komplisert når en tenker på usikkerheten i parameterverdier. Imidlertid representerer metoden det første seriøse forsøk på å ta terrengeffekter med i et regelverk.

Nye regler er som nevnt under utarbeidelse. En kan her bare trekke frem synspunkter presentert av Manier og Gilbert.

Manier (6) omtaler den kritikk som er reist av de eksisterende regler: De fører til krav om unødige høye skorsteiner. Som en av grunnene nevner han bruken av middelverdier for meteorologiske parametre. Manier går inn for å bruke frekvensfordelinger av vind og stabilitetsforhold som gir sannsynlighet for hvor ofte fastsatte konsentrasjoner kan ventes overskredet.

Gilbert (7) behandler nødvendige og mulige korreksjoner til de beregnede ukorrigerede skorsteinshøyder:

- a) Forsøk i vindtunnel viser at skorsteins-
høyden bør være $1\frac{1}{2}$ til $2\frac{1}{2}$ ganger bygningens
høyde for å unngå problemer med levirvler
og nedslag. I praksis er det ikke bare
vanskelig, men ofte ugjørlig å oppfylle
dette kravet. For utslipp over tak må det
settes en absolutt minste høyde og for-
holdet mellom høyden over taket og av-
standen til kanten av taket må være
over en bestemt verdi.

- b) I by eller tettbebyggelse er den midlere takhøyde en viktig parameter ved fastsettelse av skorsteinshøyder.
- c) De nåværende regler tar hensyn til høyhus innen en avstand på 1 km når vindretningen er fra skorsteinen mot huset i mer enn 1% av tiden. Gilbert mener denne regel med fordel kan anvendes den motsatte vei, når bygningsmyndighetene skal vurdere oppførelse av høyhus.
- d) Reglene forutsetter ingen kjemisk/fysiske endringer. En vet videre at det ofte foregår avsetning på bakken både av gassmolekyler og av partikler. Nedbør kan føre til utvasking. Heller ikke tas det hensyn til at støtvisse utslipp fører til større overhøyde og at det samme skjer med røykfaner som smelter sammen.
- e) Til slutt nevner Gilbert problemet "vindstille", som ikke dekkes av de vanlige spredningsformler. Som oftest forekommer stille vær såvidt liten del av tiden at problemet betraktes som uten praktisk betydning. (Dette kan nok ha sin berettigelse for bakke-konsentrasjoner ved utslipp over flatt terreng, men kan i Norge være en farlig antagelse i en dalatmosfære.)

Gilbert (8) har senere lagt frem forslag til nye retningslinjer. Det foreslås blant annet inndeling av Vest-Tyskland i 4 topografiske forskjellige soner og bruk av i alt 6 forskjellige spredningsklasser. Detaljerte diagrammer foreligger ennå ikke.

A3 SVERIGE

"Råd och anvisningar från Luftvårdsnämnden" (5), utgitt i 1966, var en forenklet utgave av de tyske regler. Senere har Statens Naturvårdsvärk utarbeidet nye retningslinjer for luftforurensninger. Siste reviderte utgave fra 1973 (9) fastsetter i sitt Appendix I minimum skorsteins-høyde ved utslipp av svoveldioksyd. Reglene bygger på beregninger utført ved Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Det angis en sannsynlighet på 75% for at forholdene er gunstigere enn vist i diagrammene. Spesielle utredninger anbefales:

- a) Når beregningene gir en skorsteinshøyde over 80 m.
- b) Ved brenseleffekt over 300 MW.
- c) I spesielt kupert terreng.
- d) Når det er flere skorsteiner med betydelige utslipp.

For å finne den ukorrigerede skorsteinshøyde brukes en fortynningsfaktor. Denne faktor er lik forholdet mellom konsentrasjon ved utslipp og største tillatte bakke-konsentrasjon. Det regnes med følgende bakkekonsentrasjoner:

0.20 mg SO ₂ m ⁻³	i tettbebyggelse
0.30 " "	ved anlegg som ligger avsides.
0.25 " "	i alle andre tilfeller.

Av andre utslippsdata brukes temperatur og luftmengde pr tidsenhet.

To av diagrammene er generelle, hvorav det ene er tilpasset små anlegg. Et tredje diagram gjelder konvensjonelle, oljefyrte anlegg for produksjon av varme og/eller damp. Diagrammet er forenklet ved at det på forhånd er antatt midlere luftmengde og gasstemperatur. Det er tilstrekkelig å kjenne varmeeffekten og svovelinnholdet i oljen.

Til slutt beregnes eventuelle skorsteinstillegg på grunn av omgivende bebyggelse eller skråning av terrenget.

En legger spesielt merke til at vindhastigheten ikke lenger inngår som parameter.

A4 SAMMENLIKNING AV REGLER OG RETNINGSLINJER I ØVRIGE LAND

Tyske forskere (10) har sammenholdt reglene og retningslinjene fra Vest-Tyskland med tilsvarende fra Frankrike, Storbritannia (de engelske), Sverige, Øst-Tyskland, Japan og Sovjetsamveldet, samt Concawe's retningslinjer (11).

De franske regler (som bygger på de øst-europeiske) gir jevnt over de laveste skorsteinshøyder. I forhold til den tidligere omtale av de engelske og tyske regler bringer artikkelen lite nytt, men inneholder en rekke meget interessante detaljsammenlikninger.

A5 REFERANSER

- (1) Chimney heights. Second edition of the 1956 Clean Air Act Memorandum. Her Majesty's stationary office, London 1967.
- (2) Nonhebel, G. British charts for heights of industrial chimneys. Air and Water Poll. Int. 7, 10 (1966), 183-189.
- (3) Ireland, F.E. Die Bestimmung der Schornsteinhöhen in England. VDI Berichte 149, (1970), 180-186.
- (4) VDI 2289 (1963).
VDI - 2289 Anhang
VDI - 2289 Blatt 2
VDI - 2289 Blatt 3
VDI Richtlinien - Reinhaltung der Luft.
- (5) Bestämning av erforderlig skorstenshöjd för oljeeldade värmecentraler. Råd och Anvisningar från Statens Luftvårdsnämnd - Utgåva I, (1966).
- (6) Manier, G. Eine neue Methode zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. VDI Berichte 149, (1970), 157-162.
- (7) Gilbert, T. Über die Anwendung der Ausbreitungsrechnung in der Praxis. VDI Berichte 149, (1970), 163-168.
- (8) Gilbert, T. Praxisnahe Schornsteinhöhen. Berechnung für eine Einzelquelle. (VDI Richtlinie 2289, Blatt 1, Entwurf Sept. 1973.) VDI Berichte 200, (1973), 7-11.

- (9) Riktlinjer för luttvård.
Statens Naturvårdsverk, 1973:8.
- (10) Strott, J.,
Falser, H.V.,
Michelmann, K.,
Weber, E. Vergleich von Richtlinien für
die Berechnung von Schornstein-
höhen.
VDI Berichte 200, (1973),
13-27.
- (11) The calculation of atmospheric
dispersion from a stack.
Working Group
Brummage, K.G., Chairman
Stichting Concawe, The Hague,
(1966).

VEDLEGG BSPREDNINGSFORMLER OG SKORSTEINSHØYDERB1 VANLIG FREMGANGSMÅTE VED FASTSETTELSE AV SKORSTEINSHØYDER

Den generelle fremgangsmåten ved fastsettelse av skorsteinshøyder er:

1. Først fastsettes den maksimale bakkekonsentrasjon en vil tillate, idet det tas hensyn til det allerede eksisterende forurensningsnivå.
2. Ved hjelp av spredningsformler bestemmes den "effektive skorsteinshøyde", som kreves for å unngå overskridelser. Denne er videre lik summen av den fysiske skorsteinshøyden og den tilleggshøyden (overhøyden) røyken får på grunn av termisk oppdrift og utslippshastighet.
3. Fra utslippsdata som skorsteinsdiameter, gasstemperatur og gassmengde, beregnes tilleggshøyden.
4. Den ukorrigerede skorsteinshøyden finnes ved å trekke beregnet tilleggshøyde fra den tidligere funne effektive skorsteinshøyde. Over flatt lende uten annen høy bebyggelse trengs ingen flere korreksjoner og den ukorrigerede skorsteinshøyde blir den søkte høyde.

5. I alle andre tilfelle korrigeres skorsteins-
høyden ved at det gis eventuelle ekstra til-
legg avhengig av terreng, høyde og type av
bygningen skorsteinen står på og av den om-
givende bebyggelse.

B2 BAKKEKONSENTRASJONER

For bakkekonsentrasjonen, C_0 , bruker vi den vanlige
spredningsformel som forutsetter normalfordelinger av
konsentrasjonen horisontalt og vertikalt på vind-
retningen. Med x-aksen i vindretningen, z-aksen
vertikalt og origo på bakken rett under kilden,
har vi

$$C_0 = C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2} - \frac{H^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \quad (1.1)$$

Her er

C_0 = bakkekonsentrasjonen (gm^{-3})

Q = utslipp (gs^{-1})

u = middelvinden (ms^{-1})

H = effektiv skorsteinshøyde (m)

σ_y = standardavviket langs y-aksen (m)

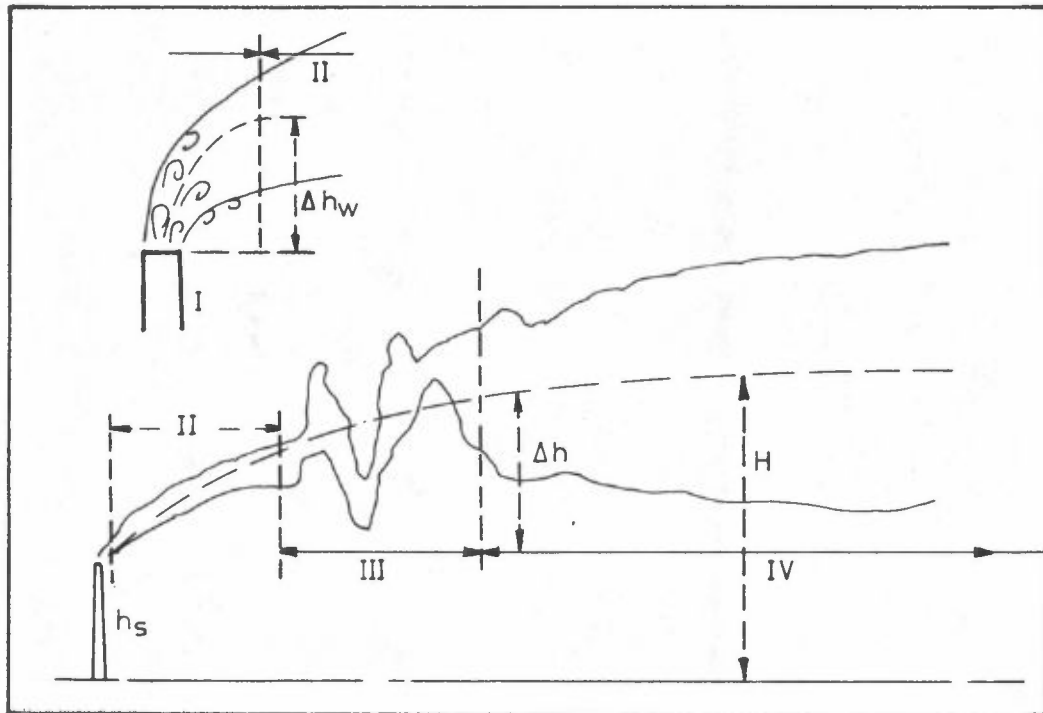
σ_z = standardavviket langs z-aksen (m)

Den effektive skorsteinshøyde er her definert som summen
av den fysiske skorsteinshøyde og den endelige overhøyde
røykskyen når som følge av termisk oppdrift og utslipps-
hastighet.

Vi har her forutsatt at intet stoff avsettes på bakken
eller forsvinner på annen måte og at partiklene er så små
(diameter under 20 mikrometer) at en kan neglisjere fall-
hastigheten.

B2 EFFEKTIV SKORSTEINSHØYDE

Røykutslipp kan deles inn i forskjellige faser som vist i figur 1.



Figur 1: Skorsteinsutslipp, etter Csanady (1).

- | | | |
|-----|---|------|
| I | = utslippsfase. | B2.1 |
| II | = oppdriftsfase. | B2.2 |
| III | = overgangsfase (mer eller mindre markert). | |
| IV | = spredningsfase. | B2.3 |

B2.1 Utslippsfasen

Gasshastigheten ut av skorsteinen gir en "jet-fase" av meget kort varighet. I denne fase når utslippet en høyde Δh_w som er proporsjonal med utslippshastighet og skorsteinsdiameter og omvendt proporsjonal med vindhastigheten.

En vil i det følgende bruke betegnelsene:

d	= skorsteinsdiameter (m).
Δh_w	= overhøyde som følge av utslippshastigheten (m)
Δh	= total overhøyde (m)
h_s	= virkelig skorsteinshøyde (m)
H	= effektiv skorsteinshøyde = $h_s + \Delta h$
C_m	= maksimal bakkekonsentrasjon ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
x	= avstand fra kilden (m)
x_m	= avstand til maksimal bakkekonsentrasjon (m)
u_k	= kritisk vindhastighet (ms^{-1})
e	= 2.7182--
F	= oppdriftsparameter proporsjonal med utslippets varmeoverskudd ($\text{m}^4 \text{s}^{-3}$)
T_L	= lufttemperatur (i skorsteinshøyden) ($^{\circ}\text{K}$)
T_S	= temperatur av utslippet ($^{\circ}\text{K}$)
ΔT	= temperaturdifferens, utslipp - luft
w	= utslippshastighet (ms^{-1})
Q_h	= utslippets varmeoverskudd ($\text{cal} \cdot \text{s}^{-1}$)
Q	= utslippsmengde ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)

Overhøyden Δh_w avhenger av hvor hurtig utslippet blandes med den omgivende luft. Fortynningsfaktoren er allerede i en avstand på 3 - 5 ganger skorsteinsdiameteren normalt av størrelse 30, bevegelsesmomentet har avtatt med 95% og skyen har fått en horisontalhastighet meget nær vindhastigheten.

En empirisk lov for overhøyden, Δh_w , i overensstemmelse med forsøk utført i vindtunnel, er

$$\Delta h_w = 1.5 \cdot w \cdot d/u$$

mens teoretiske betraktninger gir

$$\Delta h_w = \text{konst} \cdot (w \cdot d/u)^{2/3} \cdot x^{1/3}$$

Det henvises forøvrig til en oversiktskalender av Briggs (2).

B2.2 Oppdriftsfasen

Når avgassen er vesentlig varmere enn luften omkring, stiger den som følge av termisk oppdrift. Den blandes med luften og røykfanen vider seg ut, først som følge av den turbulens oppdriften skaper, senere griper luftturbulensen stadig mer inn og oppdriften tar etter hvert slutt.

Teoretisk kan denne fasen behandles som oppdrift av varme fra en kvasihorisonal linjekilde. Dette fører til den såkalte 2/3 loven, at høyden til røykaksen øker med tiden (eller avstanden) opphøyet i 2/3. (Det samme resultat kommer en frem til ved å betrakte vertikalbevegelsen fra et virvelpar med horisontale akser langs vindretningen (3).)

For nøytral sjiktning fant Briggs (4) god praktisk overensstemmelse med følgende formel for den totale overhøyde (idet den termiske oppdrift oftest blir helt dominerende):

$$\Delta h = k \cdot F^{1/3} \cdot u^{-1} \cdot x^{2/3}$$

hvor

$$F = g \cdot w \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \frac{\Delta T}{T} \quad (\text{m}^4 \text{s}^{-3}) \quad (1.2)$$

og k er en konstant.

B2.3 Spredningsfasen

Ser en bort fra værforhold med vindstille eller ustabil temperatursjikting i svak vind, når røykfanen til slutt sin endelige overhøyde og røykaksen holder seg horisontal. Turbulensen i luften dominerer nå spredningen.

Når turbulensen er markert kan det opptre en kortvarig overgangsfase mellom oppdriftsfasen og spredningsfasen med store variasjoner av røykfanens høyde over bakken.

I svak turbulens skjer overgangen umerkelig.

De vanlige spredningsformler gjelder spredningsfasen.

B2.4 Valg av uttrykk for effektiv skorsteinshøyde

Det foreligger en serie forskjellige hel- og halv-empiriske formler for den endelige overhøyden Δh , og dermed for den effektive skorsteinshøyde H . De kan gi til dels betydelig forskjellige resultater. Det vises til oversikter av Briggs (2), (4), Sivertsen (5) og Concawe-publikasjonen om spredning fra skorsteiner (6). For varme utslipp, hvor oppdriftseffekten er helt dominerende, gir Briggs' formel for nær nøytral sjikting med faste verdier av x , ifølge Altomare (7):

$$\Delta h = 1.6F^{1/3} \cdot u^{-1} (3.5 x^*)^{2/3}$$

For $F < 55$ settes $x^* = 14F^{5/8}$, som gir

$$\Delta h = 21.4 \cdot F^{0.75} \cdot u^{-1}$$

For $F > 55$ settes $x^* = 34F^{2/5}$, som gir

$$\Delta h = 38.7 \cdot F^{0.60} \cdot u^{-1}$$

For vanlige industriutslipp vil Stümke's formel passe godt (2)

$$\Delta h = \left[1.5 \cdot w \cdot d + 65d^{3/2} \left(\frac{\Delta T}{T_s} \right)^{1/4} \right] \cdot u^{-1} = A \cdot u^{-1}$$

Se forøvrig (5).

B3 BEREGNING AV MAKSIMALE BAKKEKONSENTRASJONER, KRITISK VINDHASTIGHET OG MINIMUM SKORSTEINSHØYDE

Bakkekonsentrasjonen avtar med økende vindhastighet, men det gjør også overhøyden. Det fører til en maksimal konsentrasjon ved en bestemt, kritisk vindhastighet u_k .

Begge overhøydeformler er på formen $\Delta h = A \cdot u^{-1}$. Ligning (1.1) fører da til en enkel sammenheng mellom maksimal bakkekonsentrasjon, kritisk vindhastighet og minimum skorsteinshøyde når vi setter:

$$\sigma_y = ax^b, \quad \sigma_z = cx^f \quad \text{og} \quad \sigma_y \cdot \sigma_z = px^q$$

hvor a, b, c, f, p og q er konstanter.

Ved derivasjon av ligning (1.1) og betingelsen $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$, finner vi

$$x_m = \left(\frac{H^2 f}{c^2 q} \right)^{\frac{1}{2f}} \quad (1.3)$$

som innsatt i (1.1) gir

$$C_m = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot p} \left(\frac{H^2 f}{c^2 q} \right)^{-\frac{q}{2f}} \cdot \exp \left(-\frac{q}{2f} \right) \quad (1.4)$$

Betingelsen $\frac{\partial C_m}{\partial u} = 0$

gir
$$u_k = \frac{q \cdot A}{H \cdot f} \quad (1.5)$$

Da
$$H = h_s + A \cdot u_k^{-1}$$

får vi
$$H = h_s \cdot \frac{q}{q - f}$$

som gjelder uavhengig av verdiene for q og f .

Ifølge Cramer (8), (9) og Wippermann og Klug (10) er i nær nøytral sjikting $b \approx f \approx 0.9$. Dette gir $q \approx 1.8$. Mer relevante for skorsteinsutslipp tør være verdier av Singer (11) og av Klug (12). De angir også $b \approx f$. Singer gir konstantene b og f verdien 0.8; Klug verdien 0.7. I alle tilfelle får vi $q = 2f$.

Dette gir, når vi bruker $b \approx f \approx 0.8$,

$$x_m = \left[\frac{H^2}{2c^2} \right] \frac{1}{1.6} \quad (1.6)$$

$$u_k = \frac{2A}{H}$$

og
$$H = 2h_s, \quad \text{som gir } u_k = \frac{A}{h_s}$$

Fra
$$C_m = \frac{2 \cdot H}{u \cdot \pi \cdot H^2} \cdot \frac{c^2}{p \cdot e} \quad \text{finner vi} \quad (1.8)$$

$$h_s = \frac{Q}{2\pi \cdot A \cdot C_m} \cdot \frac{c^2}{p \cdot e}$$

Dette er den søkte formel som vil gjelde så lenge betingelsen $H = 2h_s$ er realistisk, dvs. for varme utslipp. I alle andre tilfelle må vi bruke ligning (1.4) eller (1.8) og spesifisere verdien av u .

Som passende verdier for a og c over en ujevn overflate, i nær nøytral sjikting og for midlingstider på 30 minutter, velger vi verdier overensstemmende med Singer. Dette fordi målingene fra Brookhaven refererer seg spesifikt til skorsteinsutslipp. Vi har da $a \approx 0.32$ og $c \approx 0.22$. Dette gir $p = 0.07$.

Dette gir videre

$$h_s = 11 \cdot \frac{Q}{A \cdot C_m} \quad (\text{m}) \quad (1.9)$$

der uttrykkes A i m^2s^{-1} og Q i kg/h og C_m i mg/m^3 .

Den søkte virkelige skorsteinshøyde (ukorrigerte) blir altså direkte proporsjonal med uttynningsfaktoren

$$\frac{Q}{C_m}.$$

For C_m finner vi

$$C_m = 11 \cdot \frac{Q}{A \cdot h_s} \quad (\text{mg m}^{-3}) \quad (1.10)$$

og fra ligning (1.6)

$$x_m = 10.2 \cdot h_s^{1.25} \quad (\text{m})$$

En ser at maksimalkonsentrasjonen for $u = u_k$ f.eks. inntreffer i en avstand av 720 m fra en skorsteins- høyde på 30 m og i en avstand av 3.2 km når skorsteinshøyden er 100 m.

Wippermann og Klug (9) har gitt problemet en tilsvarende og grundigere teoretisk behandling. De tar blant annet hensyn til vindøkningen med høyden. Ved overhøydeberegninger blir referansehøyden for vindhastighet større enn skorsteinshøyden, mens en tilsvarende referansehøyde for den midlere transporthastighet blir lavere ved beregninger av bakkekonsentrasjonen. Med rimelige parameterverdier blir deres uttrykk for minstehøyden praktisk talt det samme som med ligning (1.9). Vi tolker dette som at våre verdier for h_g ikke ville endres vesentlig ved å ta hensyn til disse effekter.

Concawe (6) finner også at overhøyden blir lik skorsteinshøyden ved kritisk vindhastighet. Men de finner betydelig lavere verdier for skorsteinshøyden enn gitt ved såvel de engelske (ALKALI) som de tyske (VDI) regler. Concawe anbefaler derfor kort og godt at verdiene må multipliseres med en faktor 2.

Tabell 1 viser en sammenlikning av skorsteinshøyder ved bruk av de forskjellige formler og fremgangsmåter. Utgangspunktet med valg av utslippsbetingelser er en tilsvarende tabell i Concawe-publikasjonen (5). Denne har vi her supplert med resultater fra svensk beregningsmetode samt fra vår egen foreslåtte NILU-formel.

Concawe-tabellen refererer seg til en maksimal bakkekonsentrasjon på $0.57 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Vi har også beregnet de tilsvarende høyder for maksimal bakkekonsentrasjon på $0.36 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. De tilsvarende skorsteinshøyder er gitt i parentes, unntatt for de engelske reglene som ikke så lett kan justeres til fastlagte konsentrasjonsverdier.

Det foreligger for få langvarige og detaljerte målinger rundt forskjellige typer utslipp til å kunne fastslå med noen sikkerhet hvilken formel eller fremgangsmåte som gir mest realistiske resultater. Som vi ser fører bruk av Brigg's modifiserte overhøydeformel til de laveste skorsteinshøyder. At den tilsvarende kritiske vindhastighet blir urealistisk stor, betyr at den fastlagte bakkekonsentrasjon ikke vil inntreffe i praksis og at skorsteinshøyden kan velges enda lavere. Spesielt Brigg's formel egner seg ikke så godt til denne type beregninger. Maksimale bakkekonsentrasjoner knytter seg til værforhold med relativt sterkere turbulens enn forutsatt. Avstanden fra kilden er for kort til at hele utslippet kan tenkes foretatt i ett punkt beliggende over skorsteinen i en høyde lik den effektive skorsteinshøyde. Det kan også bli stort avvik mellom en effektiv skorsteinshøyde som inngår i de forenklede spredningsformler og den virkelige høyde av røykfanen som Brigg's formel gir et uttrykk for. For denne type beregning foretrekker vi Stümke's empiriske formel. Den gir relativt lave overhøyder og rimelige verdier av kritisk vindhastighet. Som en nedre grense for denne velger vi 2 m s^{-1} i skorsteinshøyden, h_s . For $h_s = 30 \text{ m}$ svarer dette til $A_{\text{min}} = 60 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. For så "kalde" utslipp at A blir mindre enn $60 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ anbefaler vi å beregne h_s fra formelen $h_s = H - A/2$ og beregne H fra ligning (1.8) med verdien 2 m s^{-1} for u . Brigg's, Concawe's og Bringfeldt's (13) overhøydeformler mangler alle et ledd som spesifikt tar hensyn til overhøydebidraget fra utslippshastigheten og egner seg bare for varme utslipp hvor oppdriftseffekten dominerer.

Utslipp: Nm ³ /s Nm ³ /h	20 7.2·10 ⁴	50 1.8·10 ⁵	100 3.6·10 ⁵	Merknader
VDI 2289 (fra nomogram)	54 (80)	64 (100)	70 *) (120)	Verdier praktisk talt uavhengig av valg av vind- hastighet.
ALKALI (engelske regler)	53	83	106	For distrikts- type E.
Concawe x2	38 (62)	58 (95)	82 (134)	Anbefales av Concawe
Naturvårds- verket (Appendix I)	46 (58)	82 (>100)	>100 (>100)	
NILU	47 (75)	64 (101)	77 (123)	Med Stümke's overhøydeformel
u _{krit}	3.6 (2.2)	4.9 (3.1)	6.7 (4.2)	<u>ANBEFALES</u>
NILU	19 (30)	28 (44)	37 (58)	Med Brigg's modifiserte overhøydeformel
u _{krit}	22 (14)	25 (16)	30 (19)	

Tabell 1: Minimum skorsteinshøyder over flatt, åpent terreng. Utslippsbetingelser ifølge eksempel i Concawe (6, side 56).

Utslipp : 412, 1030 og 2060 kg/h (SO₂)

Gasstemp: 250°C

Utetemp : 20°C

Skorsteinsdiameter : 1.8, 2.8 og 4 m

Utslippshastigheter: 15 ms⁻¹

Maksimal bakkekonsentrasjon: 0.57 mg/m³ (0.20 ppm).

Tall i parentes: For bakkekonsentrasjoner = 0.36 mg/m³

*) trolig for lavt beregnet av Concawe, skal være ca 80 m.

Kommentarer

Tabellen viser tydelig problemene ved fastsettelse av regler og retningslinjer. Det endelige valg av parameterverdier kan gi store variasjoner i skorsteinshøyden og derved få store økonomiske konsekvenser. At vi anbefaler et relativt konservativt valg må også sees i sammenheng med at det kan bidra til å gjøre en reduisering av utslippet mer attraktivt.

B4 REFERANSER

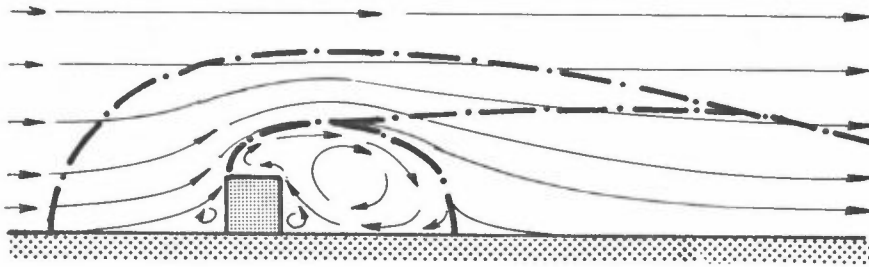
- (1) Csanady, G.T. Turbulent diffusion in the environment. Geoph. Astroph. Monographs, 3, D. Reidel Publ. Co., Boston (1973).
- (2) Briggs, C.A. Plume rise: A recent critical review. Nuclear Safety, 12, (1971), 15-23.
- (3) Schwartz, J., Tulin, M.P. Chimney plumes in neutral and stable surroundings. Atm. Environment, 6, (1972) 19-34.
- (4) Briggs, G.A. Mathematical analysis of chimney plume rise and dispersion. Phil. Trans. Roy. Soc., London A. 265 (1969), 197-203.
- (5) Sivertsen, B. Plume rise calculations. NILU teknisk notat nr 80/74, Norsk Institutt for Luftforskning (1974).
- (6) The calculation of atmospheric dispersion from a stack. Stichting Concawe, Working Group, Brummage, K.G., Chairman, The Netherlands (1966).

- (7) Altomare, P.M. The application of Meteorology in determining the environmental effects of evaporative heat dissipation systems. Paper presented at 64th annual meeting of APCA, Juli 1971.
- (8) Cramer, H. Engineering estimates of atmospheric dispersal capacity. Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 20, (1959), 183-189.
- (9) Cramer, H.,
de Santo, G.M.,
Dumbold, K.R.,
Morgenstein, P.,
Swanson, R.N. Meteorological prediction techniques and data system. Final report. Order DP2-2337, Geophysical Corp. of America, Bedford, Mass., (1964).
- (10) Wippermann, F.,
Klug, W. Ein Verfahren zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. Int. J. Air & Water Poll., 6, (1962), 27-48.
- (11) Singer, F.A., Atmospheric dispersion at Brookhaven National Laboratory. Air & Water Poll., Inst. J. 10 (1966) 125-135.
- (12) Klug, W. Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen. Staub 29 (1969), 143-147.
- (13) Bringfeldt, B. Plume rise measurements at industrial chimneys. Atm. Environm. 2, (1968), 575-598.

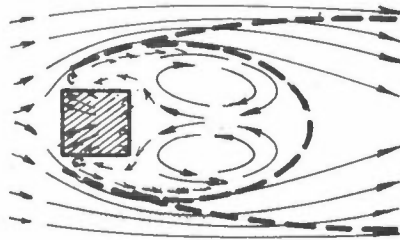
VEDLEGG CBYGNINGSEFFEKTER

Bygningen skorsteinen står på avbøyer luftstrømmen. Dette gir effekter som ikke bare forurensningsmyndigheter, men også arkitekter og bygningskontroll må vie stor oppmerksomhet. Det samme gjelder effekter av nærliggende bygninger. Dessverre blir luftstrømmen oftest så komplisert at den vanskelig lar seg beregne. Vi er i stor grad henvist til vindtunnelforsøk. Det er imidlertid vanskelig å etterligne forholdene i atmosfæren og de fleste resultater er bare kvalitative. Men det foreligger også en del målinger over og omkring virkelige bygninger. En utmerket oversikt over problemene er gitt i en artikkel av Halitsky i "Meteorology and Atomic Energy" (1). Vi gjengir her et par figurer i forenklet form.

Figur 1 og 2 viser hvordan en bygning fører til dannelse av forskjellige soner i luftstrømmen. Virvelsonen umiddelbart over og i le av bygningen fører lett til "selvforurensning". Den turbulente sonen lengre i le kan føre røykfanen nedover, selv om utslippet skjer over virvelsonen.



Figur 1



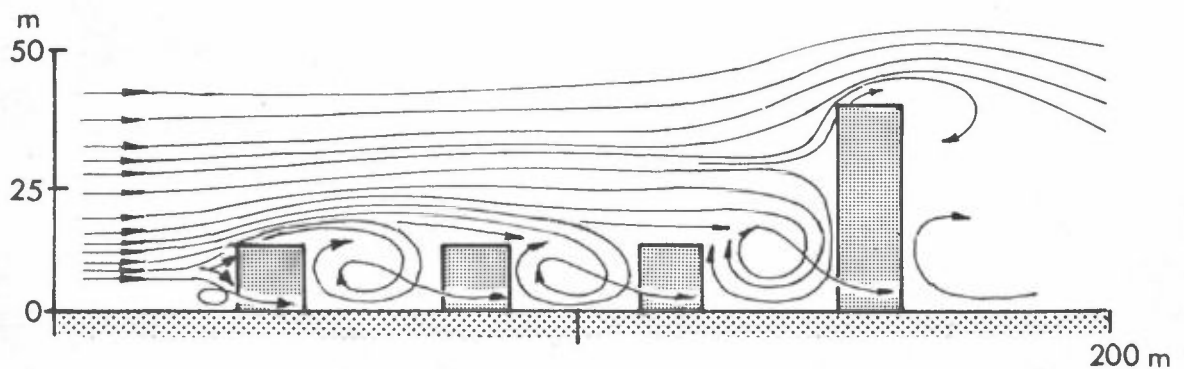
Figur 2

Figurene viser hvordan et lavt utslipp over tak kan føres mot den generelle vindretning. Videre illustreres dannelsen av et virvelpar i le av bygningen.

Høyden fra bakken til overkant av virvelsonen er over bygningen anslått til $1\frac{1}{2}$ til 2 ganger bygningshøyden. Denne verdi er noe lavere enn angitt i de engelske regler. Der kreves justering av skorsteinshøyden når denne er mindre enn $2\frac{1}{2}$ ganger bygningshøyden. (Denne " $2\frac{1}{2}$ regel" skriver seg ifølge Sutton trolig fra en undersøkelse av et luftskips-havari, se referanse (2), og brukes ofte som et estimat for høyden av turbulenssonen bak en ås eller fjellrygg.) For mindre utslipp settes ofte en minstehøyde på 35 m.

Ved utslipp over tak blir utslippshastigheten av stor betydning. Vedlegg B angir den tilsvarende overhøyde i meter $\Delta h_w = 1,5 \cdot w \cdot d/u$, hvor w er den vertikale utslippshastighet og u vindhastigheten, begge i ms^{-1} og d er skorsteinsdiameteren i meter. Hvis h_s er den reelle skorsteinshøyde bør vi ha $\Delta h_w + h_s \geq 2$ ganger bygningshøyden.

Ved rimelige vindhastigheter kan den horisontale utstrekning av turbulenssonen bli langt over 10 ganger høyden av hindringen som frembringer den. Det gjør at luftstrømmen over bygninger oftest er påvirket i ganske sterk grad av andre bygninger og av terrenget foran.



Figur 3

Figur 3 viser luftstrømmen over flere bygninger, basert på målinger i vindtunnel (3). Luftstrømmen blir meget komplisert, selv ved relativt enkle strukturer. Det illustrerer hvor problematisk det i virkeligheten er å angi realistiske minstehøyder for skorsteiner beliggende i et kompleks av bygninger, i en by eller en tettbebyggelse, eller i kupert terreng. Når en så tar i betraktning forhold som at hushøyder stadig endres og oftest punktvis, synes det å være en realistisk løsning å samle utslipp sentralt i meget høye skorsteiner.

Vanlige spredningsformler er strengt tatt bare gyldige for utslipp i en høyde godt over virvel- og turbulenssonen, men de brukes i praksis for langt lavere utslipp. Det blir da vesentlig konsentrasjonene nær kilden som blir usikre, særlig for de nærmeste par hundre metre.

Basert på målinger i vindtunnel over enkeltbygninger foreligger det flere bestemmelser av minstehøyder av skorsteiner basert på bygningens form og høyde. Som eksempel nevnes et detaljert forslag utarbeidet ved universitetet i Toronto (4). Siktemålet synes her i første rekke å være å unngå selvforurensning. Av hensyn til de nærmeste naboer synes det unødvendig med så kompliserte regler når vi tar i betraktning hvor vanskelig og usikkert det er å anslå spredningen og luftkonsentrasjoner i den umiddelbare nærhet.

REFERANSER

- | | | |
|-----|--|---|
| (1) | | Meteorology and Atomic Energy. TID-24190, US Atomic Energy Commission, 221-255 (1968). Slade, D.H., Editor. |
| (2) | Moses, H.,
Strom, G.H.,
Carson, J.E. | Effects of meteorological and engineering factors on stack plume rise. Nuclear Safety, <u>6</u> , (1964), 1-19. |
| (3) | Wise, A.F.E.,
Sexton, D.E.,
Lillywhite, M.S.T. | Urban planning research. Studies of air flow round buildings. The Architects' Journal Information Library, <u>10</u> , (1965), 1185-1189. |
| (4) | Ford, G.R.,
Leutheusser, H. W. | Minimum stack heights for apartment buildings. Technical publ. series 6602, Dept. of Mech. Engineering, University of Toronto, June 1966. |

VEDLEGG DTERRENGEFFEKTER

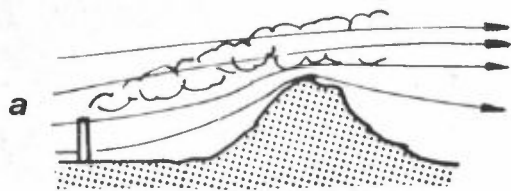
Det foreligger nesten bare kvalitative utsagn om hvordan terrenget endrer luftstrømmer og påvirker spredningsforhold (1). Teoretiske studier må begrenses til meget enkle modeller som f.eks. Stümke's beregninger av spredningen i en luftstrøm fra en slette innover en ås (2), (3). Hans korreksjonsfaktor til skorsteinshøyden brukes i de tyske regler. Senere har Stümke studert spredningen når luften strømmer fra en flate ut over et søkk eller en dal (4), men han når ikke her frem til kvantitative resultater.

Spredningsforhold over byer er studert i vindtunneler. Skalaproblemer gjør det vanskelig å anvende modellforsøk, og da særlig av storstilt terreng. Vi må her fortsatt støtte oss til praktisk erfaring og kvalitative observasjoner.

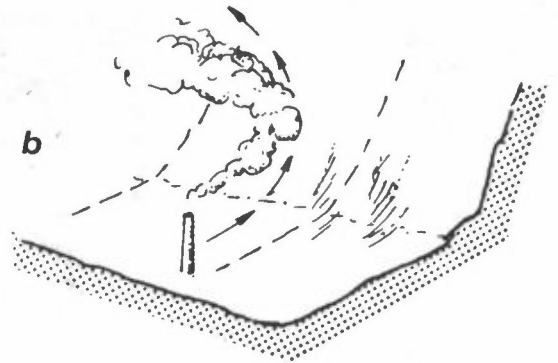
I figurene (a) til (j) har vi søkt å illustrere hvordan terreng og topografi kan påvirke spredningen av et skorsteinsutslipp. Type (a) og (g) er som nevnt teoretisk behandlet av Stümke. Han antar potensialstrømning og foretar også mange andre forenklinger.

- (a) Et tillegg til ukorrigert skorsteins-
høyde avhenger av helningsvinkelen
for skråningen.

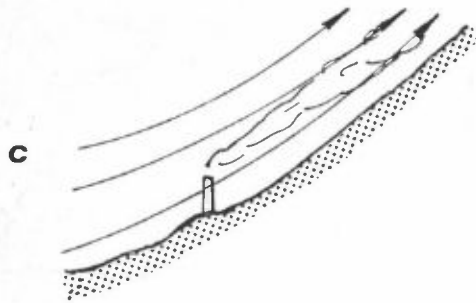
- (b) Luftstrøm mot en høy og bratt dal- eller fjellside bøyer oftest unna. Også her kan det brukes et skorsteinstillegg som i første rekke vil bli avhengig av avstanden.
- (c) Luftstrømmer over et jevnt skrånende terreng kan være mindre eller sterkere enn over flatt terreng, alt avhengig av vindretningen, men gir forøvrig liten grunn til spesielle skorsteinstillegg.
- (d) Sirkulasjonsstrømmer inntreer i rolig vær med relativt stabil sjikting, altså ofte om natten. I daler kan slike tverrsirkulasjoner endre retning periodisk. Resultatet blir en forholdsvis jevn blanding under en bestemt høyde. Høyden av blandingsjiktet er i mange tilfelle bestemt av den effektive skorsteins-høyde, slik at skorsteinstillegg minsker konsentrasjoner.
- (e) og (f) Forholdene bak en ås i henholdsvis ustabil og stabil sjikting kan føre til betydelig økede bakkekonsentrasjoner spesielt type (f).
- (g) Spredning i luft som strømmer fra en slette tvers ut over en forsenkning eller dal. Tilfellet er som nevnt behandlet av Stümke (4). Vanskeligheter med å bestemme virkelige parameterverdier fører til at han bare gir kvalitative resultater.



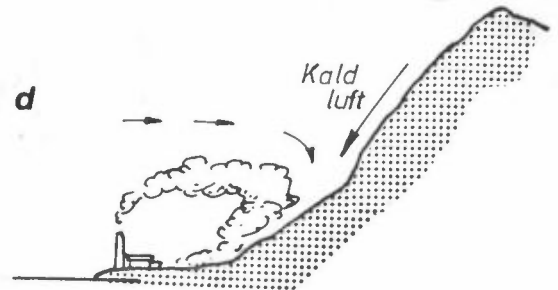
Overstrømming



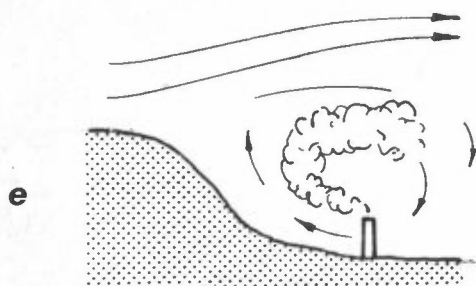
Avbøyning



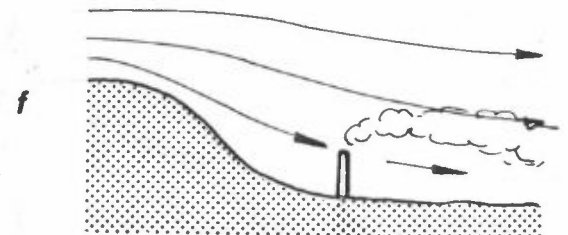
Skrånende luftstrøm



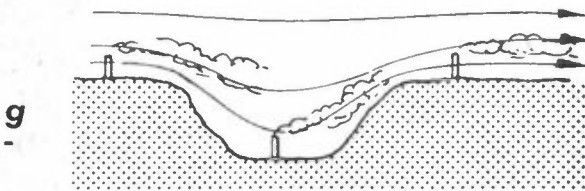
Sirkulasjon - stabil sjiktning



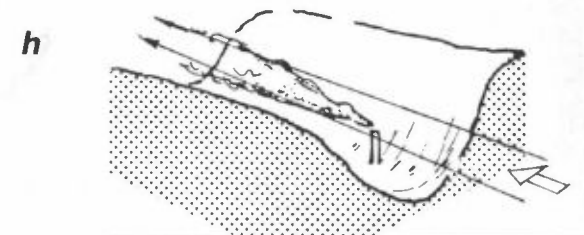
Le-virvel



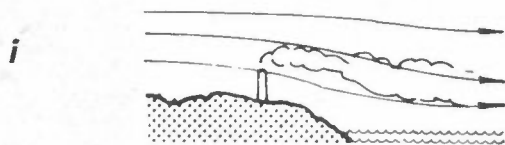
Le-strøm - stabilt



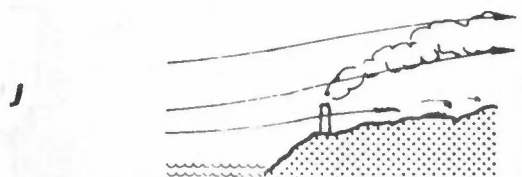
Luftstrøm på tvers av søkk eller dal



Luftstrøm i dalretningen



Luftstrøm fra land ut over sjø



Luftstrøm fra sjø inn over land

- (1) Utslipp fra skorstein på sletten fører ikke til økede bakkekonsentrasjoner i dalen.
- (2) Utslipp i en dal under rolige vindforhold vil føre til relativt høye bakkekonsentrasjoner.
- (h) Luftstrøm i dalens retning. Såvel teoretiske betraktninger som realistiske forsøk viser at spredningsbildet i en dalatmosfære, og spesielt de maksimale bakkekonsentrasjoner, avviker forbausende lite fra verdier målt under tilsvarende vind- og stabilitetsforhold over flatt lende (6), (7).

De vanlige regler for minstehøyder, basert på forholdene over flatt terreng, bør følgelig foretrekkes i en dal fremfor de såkalte boksmodeller, som forutsetter jevn blanding i et tverrsnitt. Den høye frekvens av de dominerende vindretninger opp eller ned dalen øker imidlertid hyppigheten og varigheten av belastningen i disse retninger. Videre forekommer svake vinder relativt hyppig. Disse forhold i tillegg til forholdene nevnt under (d) og (g) gjør det ønskelig med et generelt "dalt tillegg". Dette må da avhenge av stipulert skorsteinshøyde og av dalbredden.

- (i) og (j) illustrerer forholdene ved overgang fra en meget ujevn til en jevn overflate, eller omvendt. Endringer i turbulens og vindhastighet kan gjøre det aktuelt med et skorsteinstillegg i tilfellet (i), hvis det ligger bebyggelse på andre siden av vannet. I tilfellet (j) vil det ikke være nødvendig.

REFERANSER

- (1) Fleming, G. Concerning the effect of terrain configuration on smoke dispersal. *Atm. Environment*, 1 (1967), 239-252.
- (2) Stümke, H. Korrektur der Schornsteinbauhöhe wegen des Geländeeinflusses. *Staub*, 24, (1964), 525-528.
- (3) Stümke, H. Berücksichtigung vereinfachter Geländetypen bei der Berechnung der turbulenten Ausbreitung von Schornsteingasen. *Staub*, 24, (1964), 175-182.
- (4) Stümke, H. Ausbreitung von Schornsteingasen über einer Ebene mit quer zum Windfeld eingeschnittenen Tal oder Talkessel. *Staub*, 33, (1973), 323-327, 344-348.
- (5) Cermak, J.E. Air Motion in and near Cities. Determinations by laboratory simulation. CEP70-71JEC27 Colorado State University, (1970).
- (6) Gotaas, Y. A model of diffusion in a valley from a continuous point source. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, 21, (1972), 13-26.
- (7) Gotaas, Y. Atmospheric dispersion in valleys. NDRE Report no. 65 Norwegian Defence Research Establishment (1974).