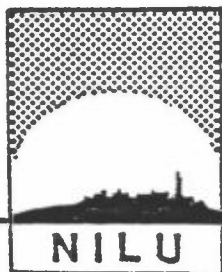


NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR. 27/82
REFERANSE: 23179
DATO: AUGUST 1982

FORENKLET METODE FOR SPREDNINGS-
BEREGNINGER VED VEGTUNNELER

AV

TROND IVERSEN



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR. 27 /82
REFERANSE: 23179
DATO: AUGUST 1982

FORENKLET METODE FOR SPREDNINGS-
BEREGNINGER VED VEGTUNNELER

AV

TROND IVERSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN 82-7247-315-1

FORORD

Vegdirektoratet har gitt økonomisk støtte til utvikling av metoder for å klarlegge belastningen av omgivelsene i planleggingsfasen av vegtunneler. Det er ytret ønske om en metode som kan gis som nomogrammer slik at man raskt kan anslå forurensningsbelastningen. Dette er forsøkt imøtekommet i denne rapport.

SAMMENDRAG

En forenklet metode til å beregne spredning av forurensninger fra vegtunneler er foreslått, idet en antar at spredningen utenfor tunnelmunningen kan skilles i to faser.

I jet-fasen benyttes formler utarbeidet av Ukeguchi et.al. (1977), og i plume-fasen Gauss-formelen tilpasset trafikkforhold med spredningsparametre gitt av Chock (1977).

Den foreslåtte metode kombinerer formler for de enkelte fasene avhengig av utslippsforhold, og et nomogram basert på metoden er gitt.

Nomogrammet vil ved bruk antakelig overdrive forurensningsbelastningen noe, men vil være nyttig som et første anslag som raskt kan utføres. Ved nøyaktigere vurderinger bør metoden benyttes sammen med subjektivt skjønn. Ved ekstreme tilfeller av svak vind og utslippshastighet, vil ikke metoden kunne erstatte sporstoffundersøkelser.

Effekten av at vegen fortsetter utenfor tunnelen og dermed er en linjekilde for CO, er ikke inkludert i metoden.

INNHOOLD

	Side:
FORORD	3
SAMMENDRAG	5
1 INNLEDNING	9
2 GRUNNLAG	10
2.1 Jet-formelen	10
2.2 Plume-formelen	11
3 FORSLAG TIL FORENKLET METODE	13
4 EKSEMPLER	15
5 SVAKHETER VED METODEN	16
6 BRUK AV NOMOGRAM	17
7 KONKLUSJON	20
8 REFERANSER	20

FORENKLET METODE FOR SPREDNINGSBEREGNINGER
VED VEGTUNNELER

1 INNLEDNING

Ved spredning av forurensninger utenfor tunnelmunninger, er det en rekke faktorer som kompliserer beskrivelsen av forholdene. For utarbeidelse av en beregningsmetode er det viktig å være klar over hvilke parametre som er essensielle. Problemet skiller seg ut fra andre spredningsproblemer på flere måter.

- (1) Generelt er det av tredimensjonal karakter; tre uavhengige retninger bestemmes av: vindhastighet, lufthastighet ut av tunnelmunningen (utslippshastighet) og oppdriftskraften (tunnellufta kan ha annen temperatur enn omgivelsene).
- (2) Jet-bevegelsen ut av tunnelen har en egenturbulens som skyldes virvelavløsning bak biler og friksjon mot veggene i tunnelen. Denne turbulens forårsaker god blanding i luftstrømmen uavhengig av turbulenstilstanden i atmosfærens grensesjikt.
- (3) Forurensningsutslippet er ikke bare konsentrert til tunnelmunningen, men fortsetter som en linjekilde langs vegen utenfor, men med mindre intensitet enn ved tunnelmunningen.
- (4) Det er to tunneltyper: énveistunneler og toveistunneler. Jethastigheten er vesentlig større ved énveistunneler.

I tillegg til disse spesielle forhold, må man, som ofte ved spredningsberegninger ellers, ta hensyn til topografiske forhold. Dette gir alt i alt et meget komplisert dynamisk problem, som i alminnelighet bare kan løses numerisk ved hjelp av regnemaskin. Et slikt arbeid ligger dessverre utenfor rammene av dette prosjektet, og derfor forsøkes en forenklet metode ved å kombinere

empiriske formler utarbeidet av Ukeguchi et al. (1977) og Chock (1977).

2 GRUNNLAG

Vi skal finne en forenklet metode basert på den empiriske modell til Ukeguchi et.al. (1977), og den Gaussiske atmosfærespredningsmodell tilpasset forholdene ved vegtrafikk (Chock, 1977).

Det er viktig å være klar over at en slik halvempirisk metode vil ha betydelige svakheter, dersom de empiriske data som modellen bygger på ikke dekker forholdene som skal beskrives.

2.1 Jet-formelen

Ukeguchi et.al. (1977) har benyttet multippel regresjon til å komme fram til følgende formel for konsentrasjonen C_U :

$$C_U = C_T \exp \left[- \epsilon \left(\frac{x}{\sqrt{A_T}} \right)^m \right] \quad (2.1)$$

der

$$\epsilon = \frac{3.48}{[V_T]^{1.95}} \exp \left\{ 0.66 \Delta T - 0.203 \frac{V_T}{U} + 0.313 \sin \theta_T \right\} \quad (2.2)$$

og

$$m = 0.487 + 0.150 V_T - 0.0395 U \quad (2.3)$$

Her er:

x : avstanden fra tunnelmunningen (m)

A_T : tunnelverrsnittet (m^2)

C_T : konsentrasjonen ved tunnelmunningen (ppm, mg/m^3)

V_T : utslippshastigheten (m/s)

U : vindhastigheten (m/s)

ΔT : temperaturoverskuddet i tunnellufta (K)

θ_T : vinkelen mellom U og V_T

Fra Ukeguchi et.al. er det viktig å merke seg at midlere V_T er 5.81 m/s med standardavvik $\sigma_{V_T} = 1.77$ m/s. Videre hadde de ingen målepunkter mer enn 220 m unna tunnelåpningen. Resultatene er derfor kraftig influert av at utslippslufta definerer en klar jet. Det er derfor ikke å vente at formlene beskriver noe annet enn nærsonen rundt tunnelåpninger med kraftig utslippshastighet, dvs. énveiskjørte tunnellop.

Utpregete svakheter ved metoden er at den ikke sier noe om hvor utslippet beveger seg eller om den romlige utstrekning av forurensningsskya.

2.2 Plume-formelen

Den Gaussiske formel for atmosfærespredning er utledet fra en forenklet, stasjonær adveksjonsdiffusjons likning, med fullstendig reflekterende randbetingelse ved horisontal bakke.

Den er gitt ved

$$C = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (2.4)$$

der C er konsentrasjonen,

x, y, z er kartesiske koordinater med x parallell

med vinden og z vertikal og lik null i bakkehøyde.

Q: kontinuerlig kildestyrke (utslipp pr. tidsenhet) (mg/s)

H: utslippshøyde (m)

U: vind (m/s)

$\left. \begin{array}{l} \sigma_y \\ \sigma_z \end{array} \right\}$ diffusjonsparametre, standardavvik i konsentrasjonsfordeling i y- og z-retning (m).

Utleddning av (2.4) kan eksempelvis finnes i Csanady (1973).

Formelen kan bare benyttes når adveksjonen med U kan regnes mye større enn diffusjonen i x-retningen. Det er vanlig å anta 1 m/s

som minimal vind (Sivertsen, 1980). Videre er (2.4) basert på konstant vind og konstante diffusjonsparametre (med høyden).

Ved trafikkforurensning kan vi anta $H=0$. Parameteren σ_y er vanskelig å bestemme og avhenger av fluktuasjonene i vindretning. For spredning i y -retning beregnes midlere konsentrasjon over en 30° sektor.

$$\begin{aligned}\bar{C}(x, z) &\cong \frac{1}{L(x)} \int_{-\infty}^{+\infty} C(x, y, z) \cdot \delta y \\ &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{U\sigma_z(x)L(x)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right]\end{aligned}\quad (2.5)$$

der

$$L(x) = 2 \cdot \tan 15^\circ \cdot x + L_0$$

og L_0 angir initiell, horisontal utstrekning av forurensningsskya. For konsentrasjonsberegninger i bakkehøyde fås

$$C_G = \bar{C}(x, 0) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{U\sigma_z L} \quad (2.6)$$

For spredning av trafikkforurensning er σ_z -verdier bestemt empirisk av Chock (1977):

$$\sigma_z = (a+bx)^p \quad (2.7)$$

For nøytral skiktning angir Chock følgende verdier:

$$a = 1.14, \quad b = 0.10, \quad p = 0.97$$

når x måles i m. Verdiene varierer lite med skiktningen. Videre gis et tillegg ΔU til vindhastigheten U for å kompensere for øket spredning på grunn av virveldannelse bak kjøretøyer. For nøytral skiktning gir Chock $\Delta U = 0.38$ m/s.

Ved $x = 0$ er $\sigma_z = a^p$. På grunn av bilturbulensen har forurensningsskya en initiell vertikal størrelse. Denne bør i vårt tilfelle være større på grunn av tilleggseffekter av tunnelen. Vi setter derfor

$$\sigma_z = [a+b(x+\hat{x})]^p \quad (2.8)$$

med

$$\hat{x} = \frac{1}{b} (h_T^{1/p-a}) \cdot \alpha$$

der

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{for } V_T \geq 7.5 \text{ m/s} \\ V_T / (7.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}) & \text{for } V_T < 7.5 \text{ m/s} \end{cases}$$

og

h_T er høyden av tunnelen.

På denne måten vil den vertikale utstrekning av skya for $x = 0$ øke lineært med utslippshastigheten V_T mellom 0 og 7.5 m/s:

$$\sigma_z(x=0) = \begin{cases} a^p & \text{for } V_T = 0 \\ h_T & \text{for } V_T \geq 7.5 \text{ m/s} \end{cases}$$

3 FORSLAG TIL FORENKLET METODE

Ved tunneler er det nyttig å definere en jet-fase og en plume-fase. I jet-fasen er momentet i utslippet av avgjørende betydning mens atmosfæreforholdene er det viktigste i plume-fasen. Det er naturlig å anvende Ukeguchi et al.'s formler i en evt. jet-fase, mens Gauss-formelen er naturlig i plume-fasen. Fig. 1 skisserer dette.

Med $\Delta T > 0$ og for alle θ_T vil følgende formel gi et overestimat av C_U (i forhold til (2.2)):

$$\epsilon = \frac{3.48}{[V_T]^{1.95}} \exp(-0.203 \frac{V_T}{U}) \quad (3.1)$$

Videre forenkles (2.3) til

$$m = 0.487 + 0.150 \cdot V_T \quad (3.2)$$

(V_T i m/s).

(3.1) og (3.2) vil vi benytte sammen med (2.1) i jet-fasen.

Ved en viss avstand x_0 skal man gå over til (2.6). Med antakelsen

$$Q = C_0 \cdot A_0 \cdot V_0 = C_T A_T \cdot V_T \quad (3.3)$$

(indeks 0 angir verdier ved $x = x_0$) blir Gaussformelen.

$$C_G = C_T \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{V_T}{U+\Delta U} \frac{A_T}{\sigma_z L} \quad (3.4)$$

La s være en koordinat langs vindretningen som er null ved $x = x_0$ (se fig. 1). Vi lar da

$$\sigma_z(s) = (a_0 + bs)^p \quad (3.5)$$

med

$$a_0 = a + b(x_0 + \hat{x}) \quad (3.6)$$

som bestemmer den vertikale utstrekning på skya ved $x = x_0$.

For den horisontale utstrekning:

$$L = 2 \cdot \tan 15^\circ \cdot s + L_0 \quad (3.7)$$

Ved å kreve $C_G(s=0) = C_0$, fåes

$$L_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{C_T}{C_0} \cdot \frac{V_T}{U+\Delta U} \frac{A_T}{a_0^p} \quad (3.8)$$

I de tilfelle jet-fasen er ubetydelig og $x_0 = 0$, er $C_T = C_0$ og $a_0 = a + b\hat{x}$.

Å bestemme x_0 er meget vanskelig, og bør ideelt gjøres ut fra dynamiske betraktninger, ved å studere oppbremsingen av tunneljeten. Våre beregninger tillater ingen slik løsning. I stedet betraktes den logaritmiske spredningsrate, slik at x_0 er den avstand fra tunnelmunningen der

$$\frac{1}{C_U} \frac{dC_U}{dx} = \frac{1}{C_G} \frac{dC_G}{dx} \quad (3.9)$$

der C_U beregnes av likningene (2.1), (3.1) og (3.2), mens C_G beregnes av (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) og (3.8) med $x_0 = 0$ og koordinaten s byttes med x . Likningen for x_0 er altså:

$$\frac{\epsilon_m}{A_T^{m/2}} x_o^{m-1} = \frac{pb}{a+b(x_o+\hat{x})} + \frac{2 \cdot \tan 15^\circ}{2 \cdot \tan 15^\circ \cdot x_o + L_T} \quad (3.10)$$

der

$$L_T = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{V_T}{U+\Delta U} \cdot \frac{A_T}{(a+b\hat{x})^p}$$

Det er viktig å være klar over at metoden kun beregner spredning av utslipp fra tunnelmunningen. Effekten av at veien fortsetter som en linjekilde utenfor, må legges til.

4 EKSEMPLER

For å illustrere den praktiske anvendelse av metoden, vil vi se på noen eksempler. Vi tar for oss to størrelser av tunnelåpningen $A_T = 40 \text{ m}^2$ og $A_T = 60 \text{ m}^2$, og et eksempel på hver av de to tunnelkategorier $V_T = 5 \text{ m/s}$ (enveiskjørt) og $V_T = 2 \text{ m/s}$ (toveiskjørt). Endelig tar vi med eksempler på svak vind $U = 0.5 \text{ m/s}$ og normal vind $U = 1.5 \text{ m/s}$. Dette gir i alt 8 eksempler etter følgende tabell, som også angir grafisk løsning av x_o etter (3.10) til nærmeste 10 m.

.	A_T/m^2	V_T/ms^{-1}	U/ms^{-1}	x_o/m
Eks 1	60	5	0.5	210
Eks 2	60	5	1.5	50
Eks 3	60	2	0.5	10
Eks 4	60	2	1.5	0
Eks 5	40	5	0.5	170
Eks 6	40	5	1.5	40
Eks 7	40	2	0.5	0
Eks 8	40	2	1.5	0

Resultatene er skissert på fig. 2 - fig. 9.

Betydningen av de forskjellige parametre i våre beregninger er som følger:

A_T : Jet-fasen øker sin betydning, slik at konsentrasjonen avtar seinere, når tunnelåpningen øker. Dette er naturlig siden momentet i utslippet øker med tunnelåpningens areal.

V_T : Jet-fasen øker sin betydning med økende utslippshastighet. Dette er også naturlig siden momentet øker proporsjonalt med V_T .

U : Det er vanlig å anta 1 m/s som nedre grense for vind i Gaussformelen. I vår formel gis et konstant tillegg $\Delta U = 0.38$ m/s på grunn av bilturbulensen. Derfor har vi tillatt $U = 0.5$ m/s. Man ser at jet-fasen får mindre betydning dersom U øker. Dette er naturlig siden den atmosfæriske turbulens øker med U .

Ellers viser figurene at den rene jet-fase (Ukeguchi et. al.) ville gitt sterk spredning for små V_T og på stor avstand fra tunnelmunningen.

5 SVAKHETER VED METODEN

Metoden er empirisk slik at de valgte parametre er avhengig av representative målinger. Verdier her er valgt fra Ukeguchi et al. (1977) og Chock (1977).

Overgangen mellom jet-fase og plume-fase er valgt på skjønn. Denne overgangen er i realiteten svært komplisert, idet den er avhengig av turbulent innblanding av moment, trykkrefter og bakkefriksjon. Spesielt er forholdene vanskelige ved motvind ved tunnelen. Vårt kriterium for overgang mellom de to faser fører til en diskontinuerlig spredningsrate.

Metoden tar ikke hensyn til heterogene forhold verken i atmosfæreforhold (vind, stabilitet, turbulens) eller topografi. Slike forhold betinger mer nøyaktige beregninger, eller tilleggsvurderinger etter subjektivt skjønn.

Ved sammenlikninger med målinger (Gotaas, 1979 og Gotaas, 1981) synes det som om metoden fører til for tidlig overgang til plume-fasen. (x_0 er altså for liten.) Dette fører til noe for høye konsentrasjoner i mange tilfeller. På den annen side er målinger av konsentrasjoner ved turbulent spredning usikre, slik at et overestimat av konsentrasjonen bør benyttes ved en forenklet beregning.

6 BRUK AV NOMOGRAM

Det er utarbeidet nomogram for beregning av første estimat av forurensningsbelastning utenfor tunneler. Nomogrammet gjelder for tunneler med tverrsnitt $A_T = 48 \text{ m}^2$, for utslippshastigheter $V_T = 1 \text{ m/s}$, 2 m/s , 3 m/s , 5 m/s og 8 m/s , og vind $U = 1 \text{ m/s}$, 2 m/s og 5 m/s . Nomogrammet er vist på figur 10a, b, c og d.

Abcissen er avstanden fra tunnelmunningen i meter mens ordinaten er konsentrasjonen normalisert med konsentrasjonen ved tunnelmunningen. Denne normaliseringen er hensiktsmessig siden man på den måten greier seg med ett kurvesett.

Alle kurver viser forløpet ut til avstand 500 m. For konsentrasjoner mindre enn en tidel av tunnelkonsentrasjonen ($C/C_T < 0.1$) er ordinat-skalaen forstørret 10 ganger for å gi bedre oppløsning. Det siste kurvesettet (fig. 10d) gir C_1/C_T der C_1 er en vilkårlig konsentrasjon (mindre enn C_T) og C_T er tunnelkonsentrasjonen.

Hvis man har en tunnel der U og V_T ikke har de eksakte verdier, skal man benytte den nærmeste kurve som overestimerer konsentrasjonen. Det fører til at man benytter kurvesettet for den største U mindre enn den virkelige og, kurven for den minste V_T større enn den virkelige. For $U < 1 \text{ m/s}$ og $V_T > 8 \text{ m/s}$ må ikke nomogrammet benyttes.

Eksempel 1

Tunneldata $A_T = 48 \text{ m}^2$, $V_T = 4 \text{ m/s}$, $U = 3.5 \text{ m/s}$ og $C_T = 270 \text{ ppm}$. Vi ønsker å finne ved hvilken avstand konsentrasjonen blir mindre enn $C_1 = 35 \text{ ppm}$.

For å finne den normaliserte verdi C_1/C_T kan forholdet beregnes direkte eller avleses på fig. 10.d). Avlesning gir $C_1/C_T \approx 0.13$. Husk at ordinaten til venstre benyttes sammen med abscissen under, og ordinaten til høyre med abscissen over.

Vi skal nå benytte kurvesettet for $U = 2 \text{ m/s}$ (fig. 10b), nederst til venstre på figuren (den forstørrede ordinaten øverst til høyre dekker kun $0 < C_1/C_T \leq 0.1$). Videre skal kurven for $V_T = 5 \text{ m/s}$ benyttes. Med $C_1/C_T = 0.13$ kan man dermed lese av avstanden $\underline{x_{35} \approx 91 \text{ m}}$.

Eksempel 2

Tunneldata: samme som Eksempel 1. Vi ønsker å finne avstanden til $C_1 = 8 \text{ ppm}$. Fra fig. 10d finnes nå $C_1/C_T = 0.03$, slik at kurvesettet øverst til høyre på fig. 10b) benyttes. Avlesning gir $\underline{x_8 \approx 206 \text{ m}}$.

Nomogrammet er beregnet ut fra en fast verdi på tunneltverrsnittet, nemlig $A_t = 48 \text{ m}^2$. Holdes alle andre parametre konstant, sees fra eksemplene i forrige avsnitt at belastningsområdet øker med økende tunneltverrsnitt. Dette må man ha klart for seg om nomogrammene anvendes på tunneler med større tverrsnitt enn 48 m^2 .

Det er anvendt volumblandingsforhold med enhet ppm for konsentrasjon i de gitte eksempler. Det kan også være fordelaktig å benytte massen av forurensning pr. volumenhet. Tilstandslikningen for ren luft er

$$pV_\ell = \left(\frac{N}{N_0}\right)R_0T$$

der p er trykket i et prøvevolum V_ℓ av lufta med absolutt temperatur T . Moltallet er N/N_0 der N er antall luftmolekyler i V_ℓ og N_0 er Avogadroskonstant. $R_0 = 8.31432 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ er den universelle gasskonstant. Tilstandslikningen for den forurensende gass er

$$pV_f = \left(\frac{N_f}{N_o}\right) R_o T$$

der V_f er det volum forurensningsgassen ville oppta dersom den var blitt skilt ut for seg med trykk p og temperatur T . N_f er antall forurensningsmolekyler. Volumblandingsforholdet er da

$$v_f = \frac{V_f}{V_l} = \frac{N_f}{N} \quad (6.1)$$

Den partielle tetthet ρ_f av den forurensende gass er den størrelse vi ønsker uttrykt med v_f . Vi har

$$\rho_f = \frac{N_f m_f}{V} = \left(\frac{N m_l}{V} \cdot \frac{m_f}{m_l}\right) \cdot v_f,$$

eller

$$\rho_f = \left(\rho_l \frac{m_f}{m_l}\right) \cdot v_f \quad (6.2)$$

der m_f er molekylmassen til forurensningen, m_l er luftas gjennomsnittelige molekylmasse og ρ_l er luftas partielle tetthet. Med $p = 1$ atm og $T = 0^\circ\text{C}$ er $\rho_l \approx 1.29$ kg/m³.

Videre er $\frac{m_f}{m_l} \approx \frac{28}{29}$ for CO-forurensning.

Dette gir:

$$\rho_{CO} \approx 1.25 \cdot v_{CO} \quad (0^\circ\text{C}) \quad (6.3)$$

når ρ_{CO} måles i mg/m³ og v_{CO} i ppm (10^{-6}). Tettheten ρ_l avtar med økende temperatur, slik at ved 20°C er

$$\rho_{CO} \approx 1.20 \cdot v_{CO} \quad (20^\circ\text{C}) \quad (6.4)$$

7 KONKLUSJON

Tross svakhetene antydnet i avsnitt 5 er den foreslåtte metode en forbedring av tidligere anvendte metoder. Det nomogram som er utarbeidet på grunnlag av metoden vil ved bruk antagelig overdrive forurensningsbelastningen noe, men vil være nyttig som et første anslag som raskt kan utføres. Ved nøyaktigere vurderinger bør metoden benyttes sammen med subjektivt skjønn. Ved ekstreme tilfeller av svak vind og utslippshastighet vil ikke metoden kunne erstatte sporstoffundersøkelser.

De beregnede konsentrasjoner er statistiske middelerverdier, slik at konsentrasjoner i enkelt-tilfelle og over kortere tidsrom vil kunne være høyere eller lavere enn metoden tilsier. I de fleste tilfeller vil antagelig metoden overestimere middelkonsentrasjonen.

8 REFERANSER

Chock, D.P., 1977: A simple line-source model for dispersion near roadways. *Atmos. Env.*, 12, pp. 823-829.

Csanady, G.T., 1973: *Turbulent diffusion in the environment*, pp. 58-61.

D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

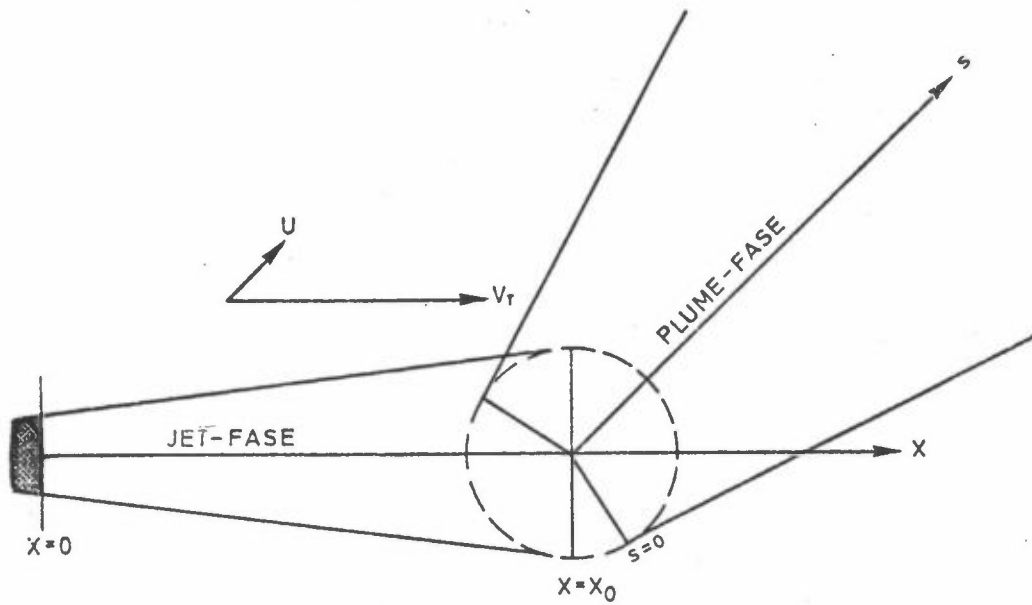
Gotaas, Y., 1979: Spredning av sporstoff fra Tingstadtunnelen, Gøteborg. NILU OR 46/79.

Gotaas, Y., 1981: Spredning av sporstoff fra vegtunneler i Bergen. NILU, OR 37/81.

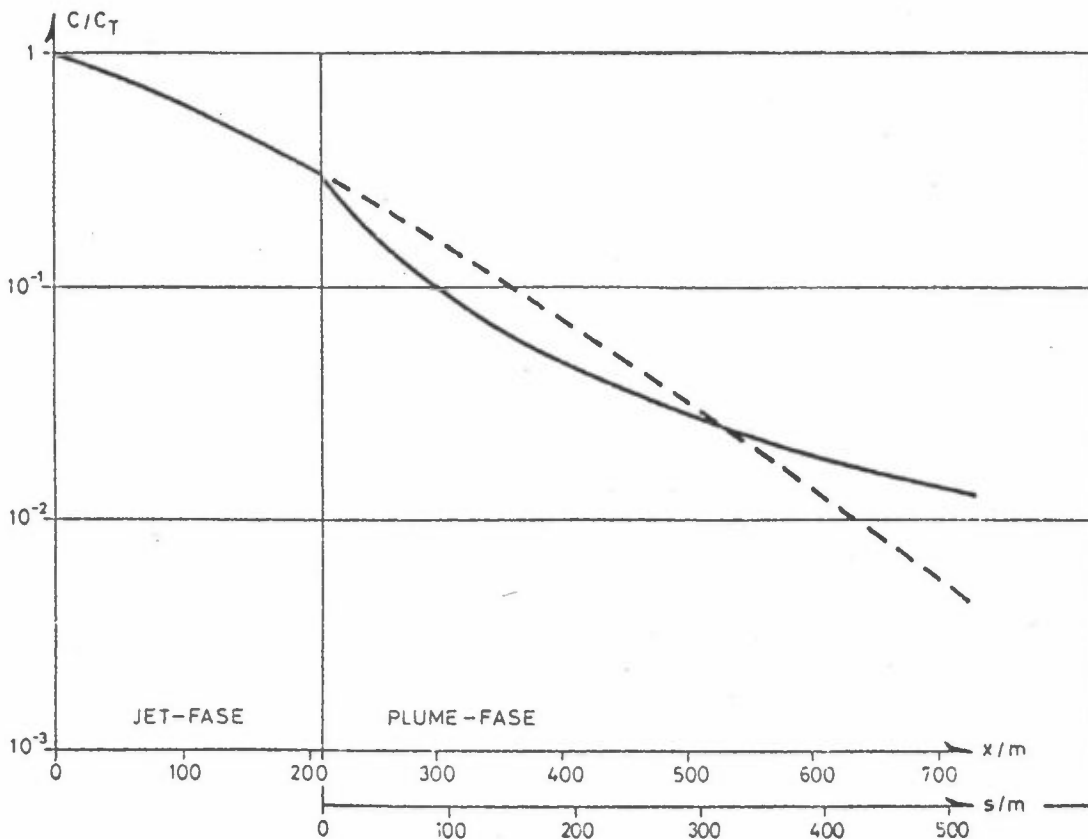
Sivertsen, B., 1980: The application of Gaussian dispersion models at NILU. NILU, TN 11/80.

Ukeguchi, N., Okamoto, H., Ide, Y., 1977: Prediction of vehicular emission of pollution around a tunnel mouth.

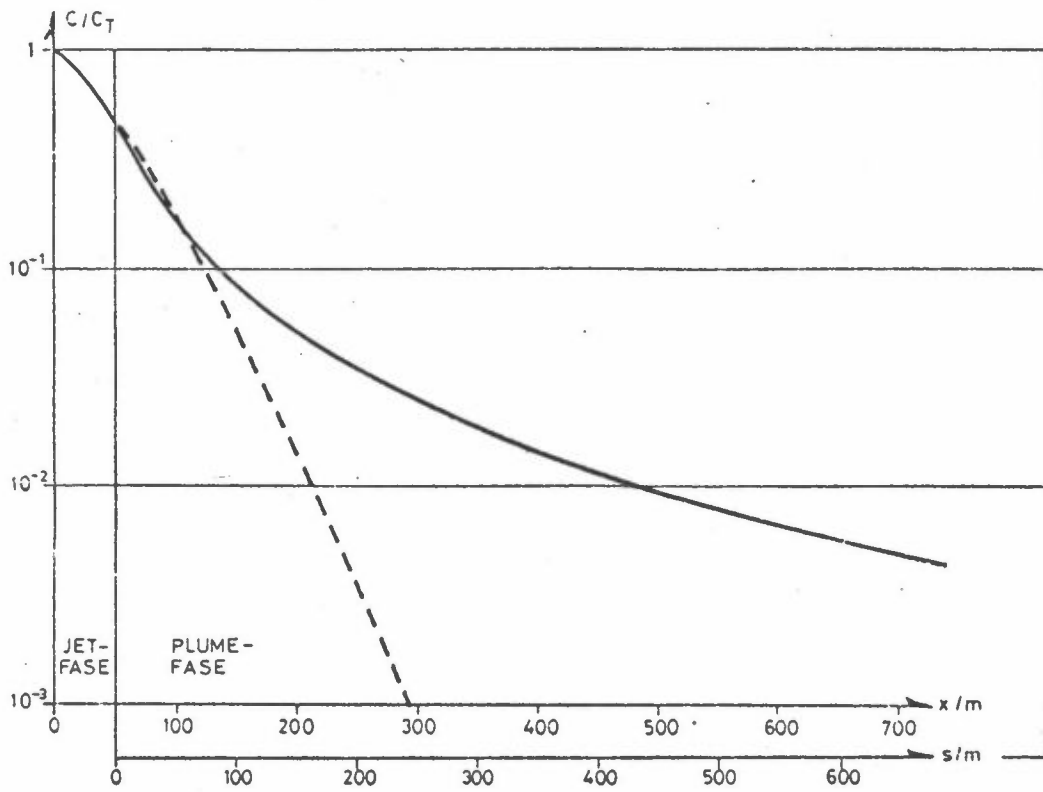
4th international clean air congress. *Proceedings*, Tokyo, 1977, pp. 205-207.



Figur 1: Skjematisk framstilling den sammensatte metode.
Figuren definerer koordinatene x og s .

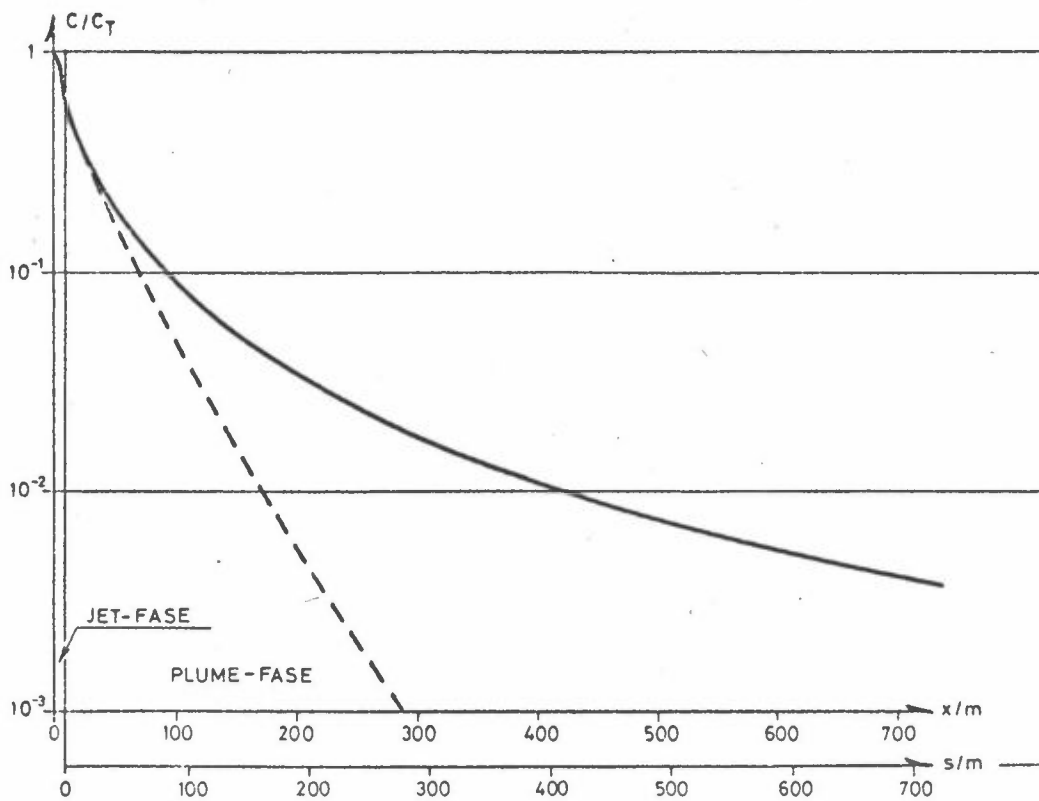


Figur 2: Eksempel 1.
 $A_T = 60 \text{ m}^2$, $V_T = 5 \text{ m/s}$, $U = 0.5 \text{ m/s}$.
Stiplet kurve angir resultatet hvis plume-fasen ignoreres.



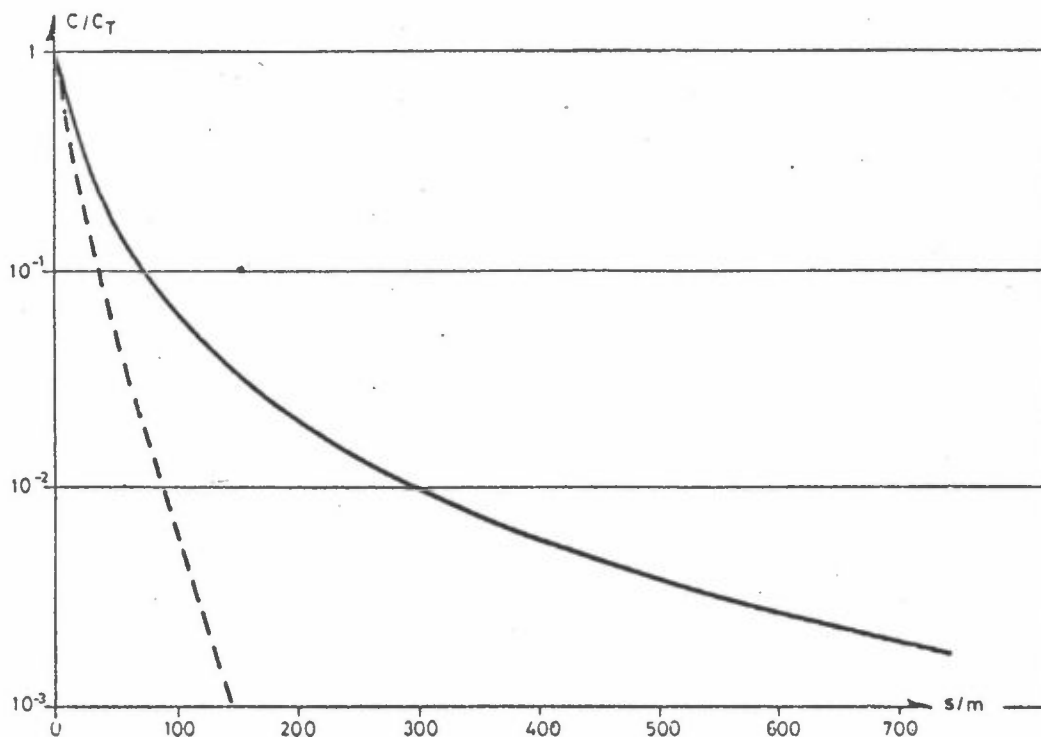
Figur 3: Eksempel 2.

$$A_T = 60 \text{ m}^2, V_T = 5 \text{ m/s}, U = 1.5 \text{ m/s}.$$

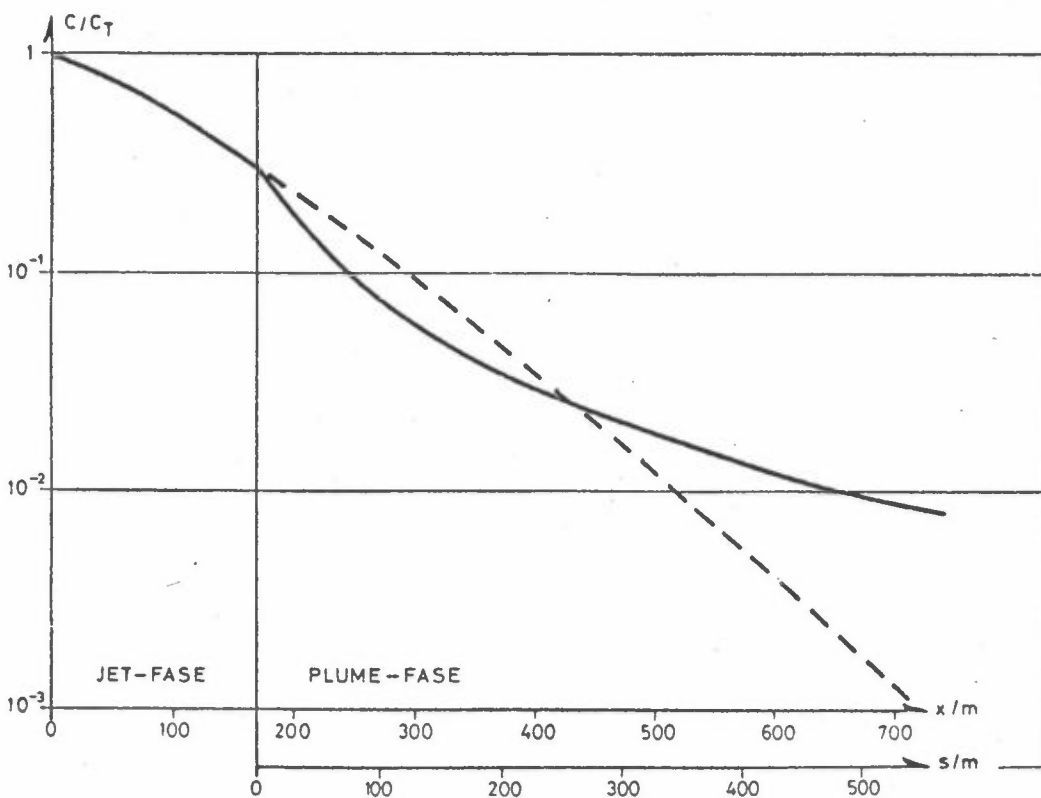


Figur 4: Eksempel 3.

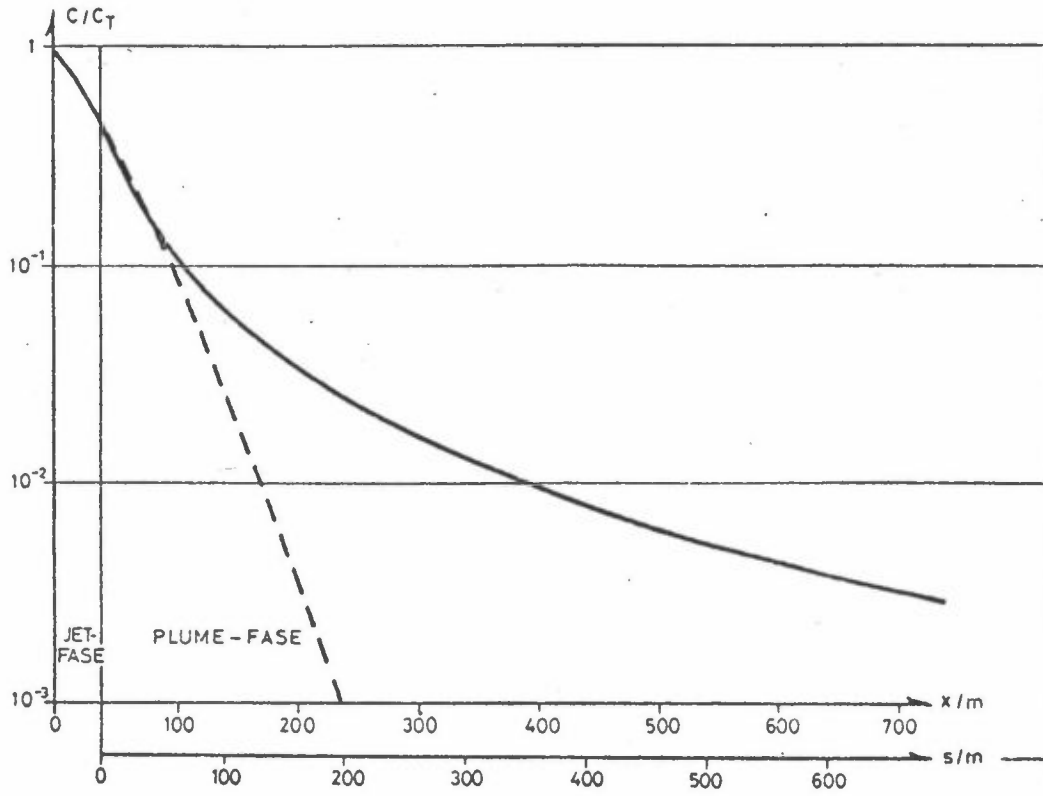
$$A_T = 60 \text{ m}^2, V_T = 2 \text{ m/s}, U = 0.5 \text{ m/s}.$$



Figur 5: Eksempel 4.
 $A_T = 60 \text{ m}^2$, $V_T = 2 \text{ m/s}$, $U = 1.5 \text{ m/s}$.
Ingen jet-fase.

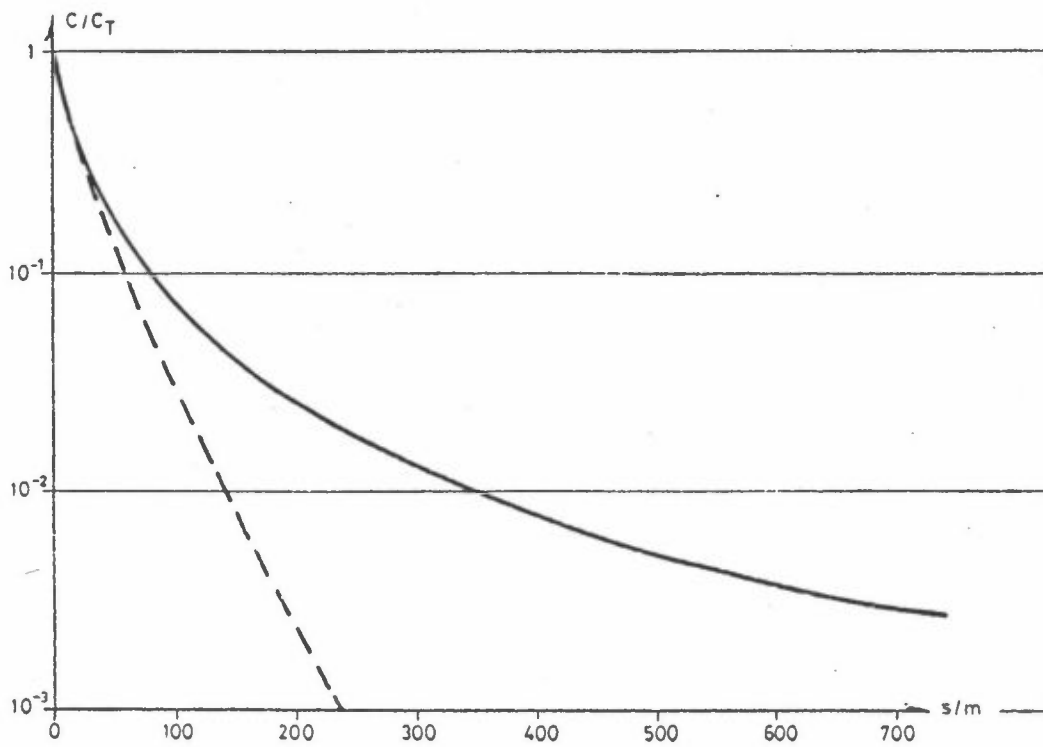


Figur 6: Eksempel 5.
 $A_T = 40 \text{ m}^2$, $V_T = 5 \text{ m/s}$, $U = 0.5 \text{ m/s}$.



Figur 7: Eksempel 6.

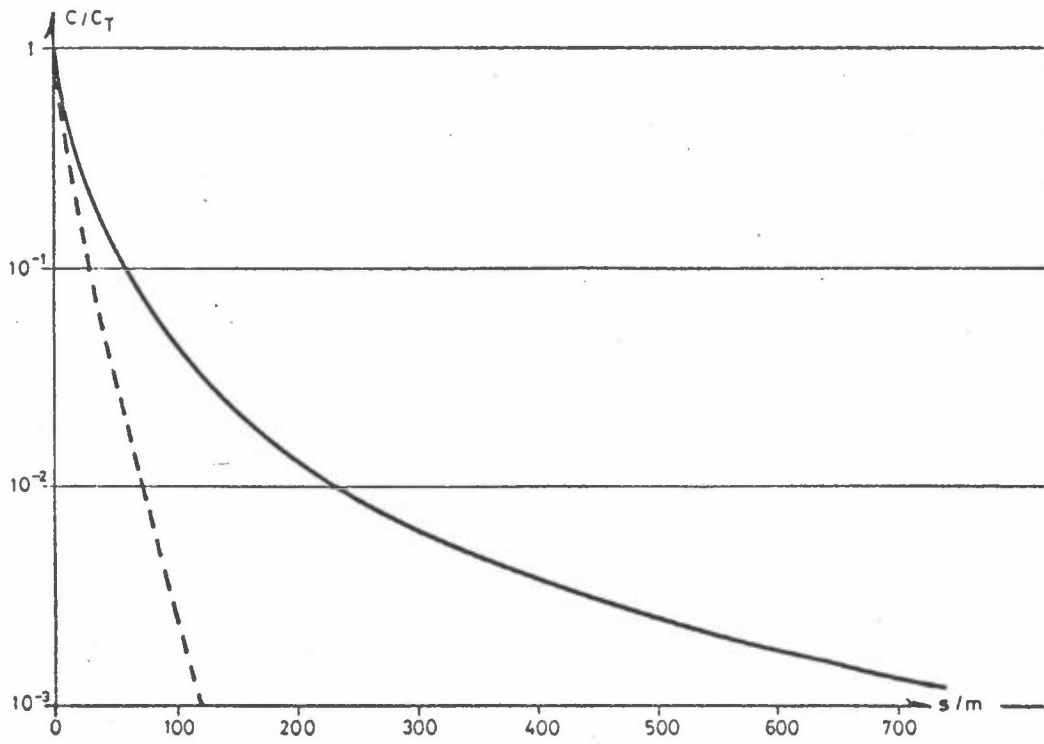
$A_T = 40 \text{ m}^2$, $V_T = 5 \text{ m/s}$, $U = 1.5 \text{ m/s}$.



Figur 8: Eksempel 7.

$A_T = 40 \text{ m}^2$, $V_T = 2 \text{ m/s}$, $U = 0.5 \text{ m/s}$.

Ingen jet-fase.



Figur 9: Eksempel 8.
 $A_T = 40 \text{ m}^2$, $V_T = 2 \text{ m/s}$, $U = 1.5 \text{ m/s}$.
Ingen jet-fase.

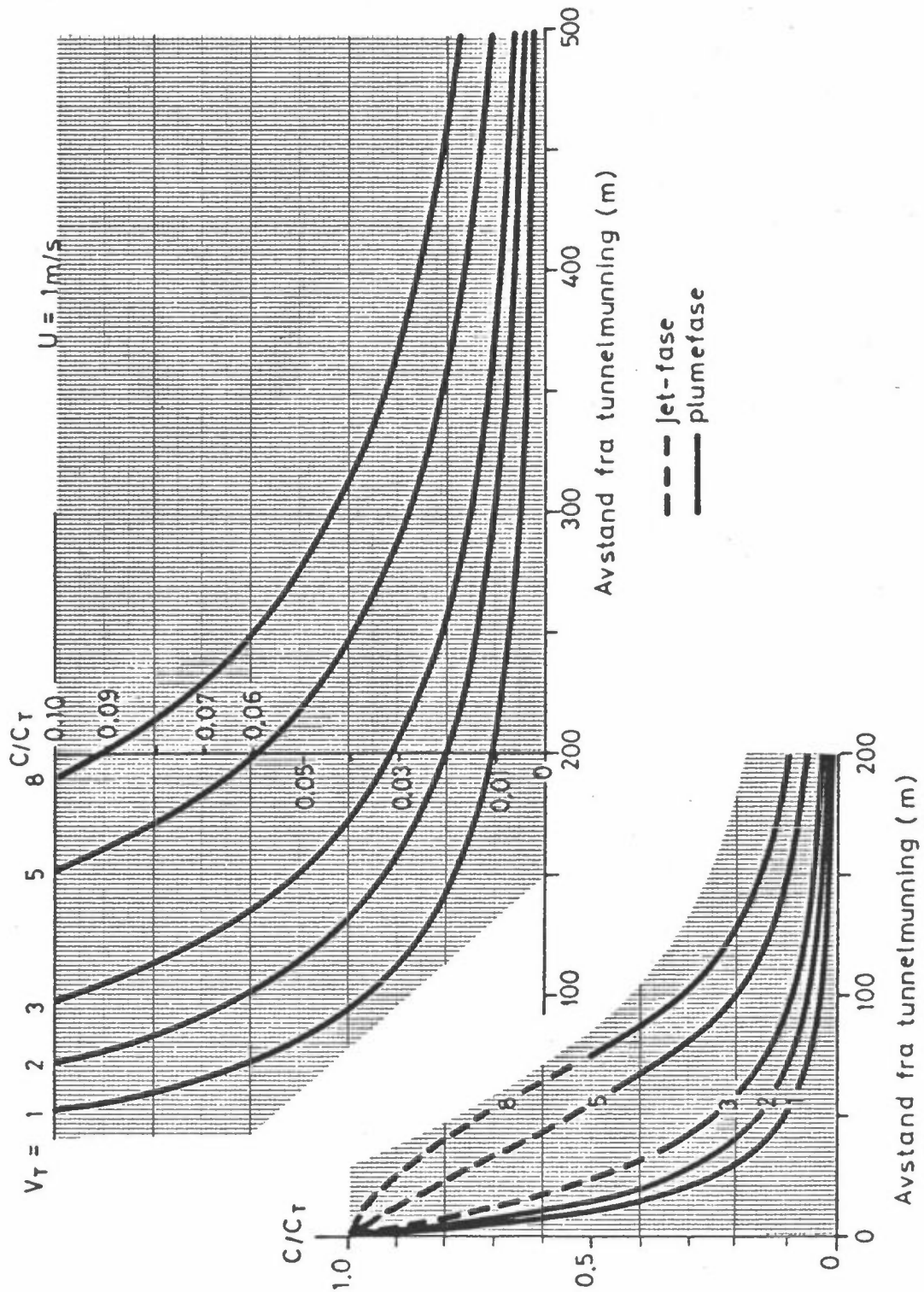
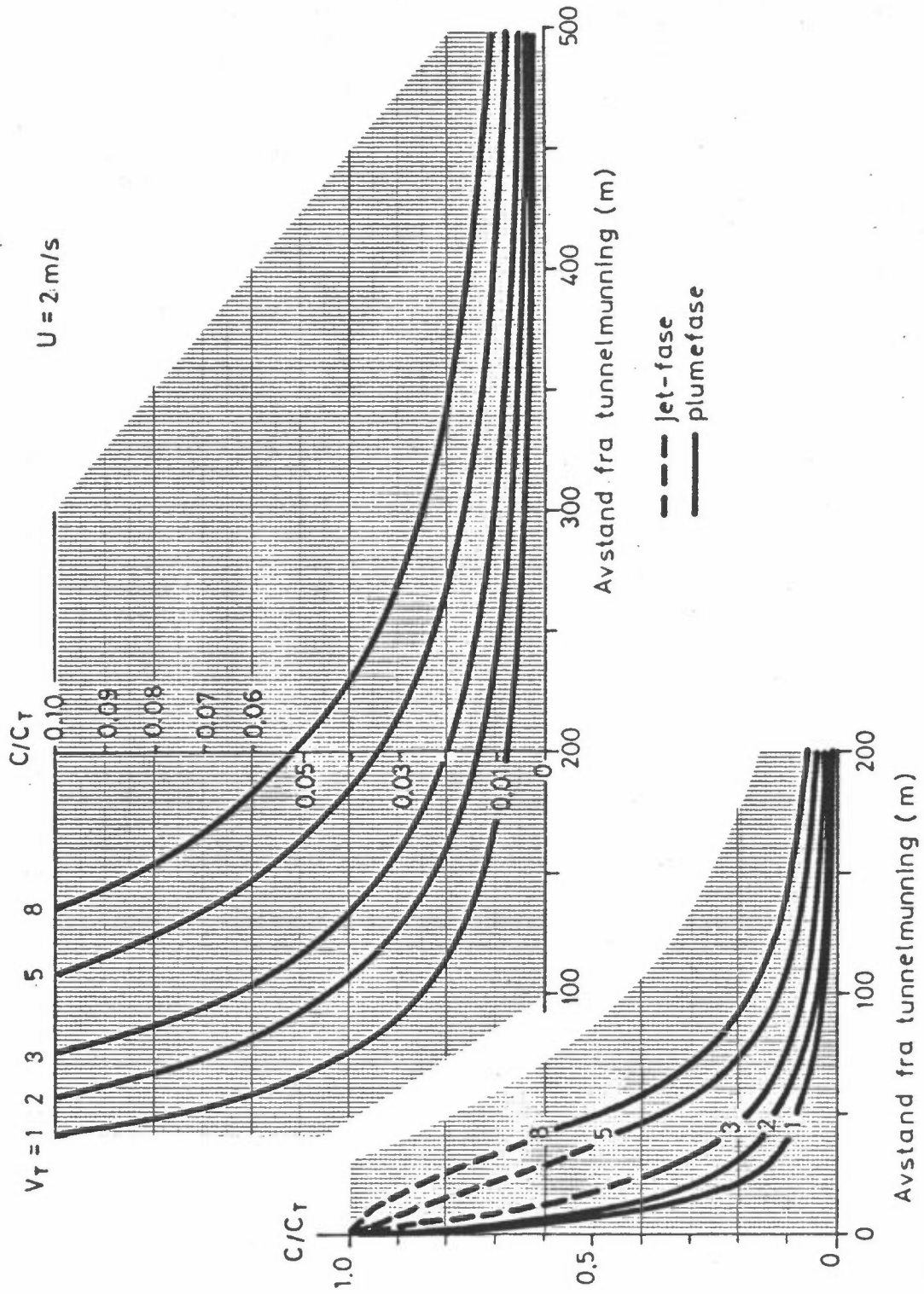


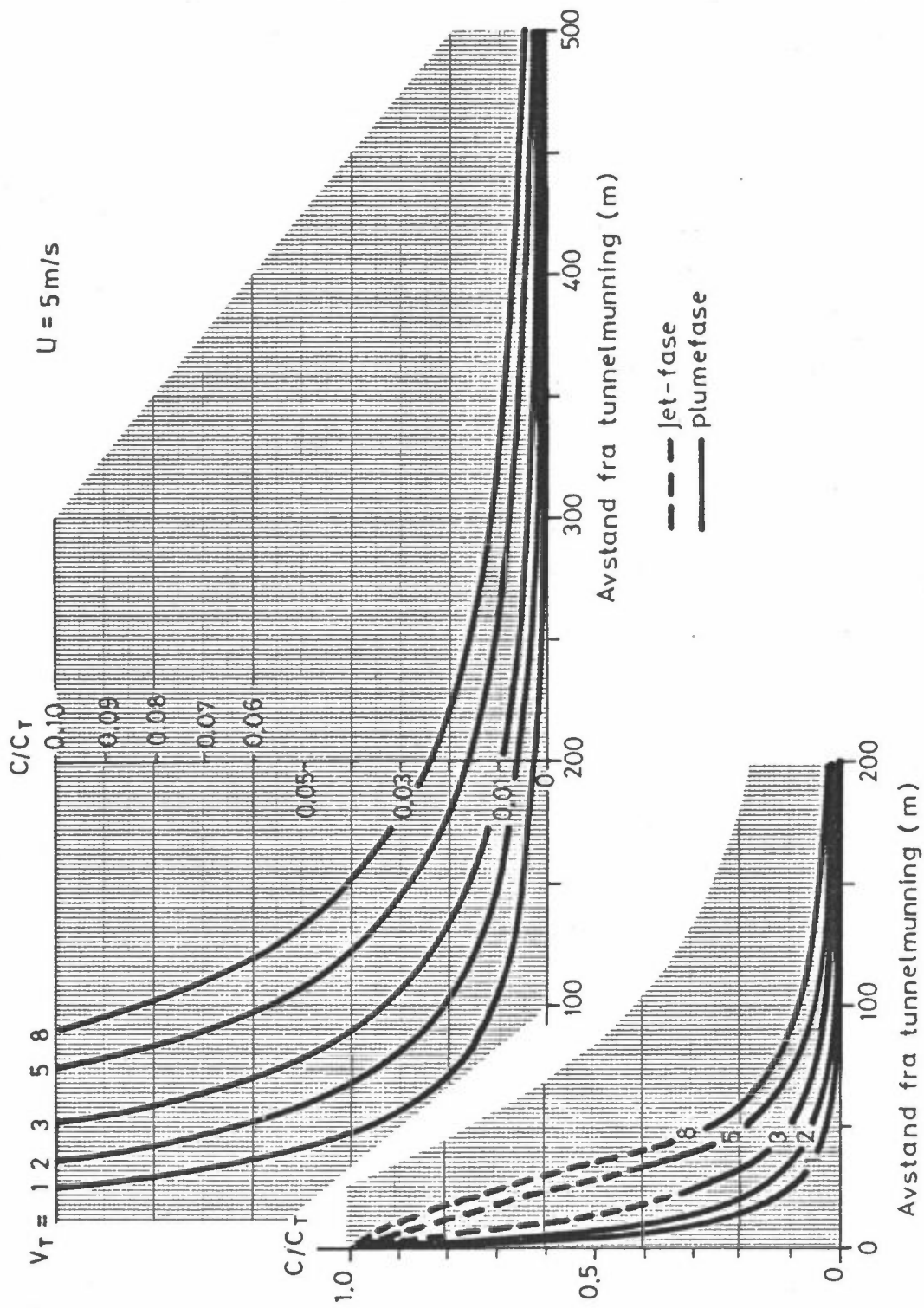
Figure 10

a), b) og c): Konsentrasjon av CO som funksjon av avstanden fra tunnelmunningen. Konsentrasjonen er målt relativt til konsentrasjonen ved munningen. De øvre delene av figurene viser ordinatskalaen mellom 0 og 0.1 forstørret ti ganger.

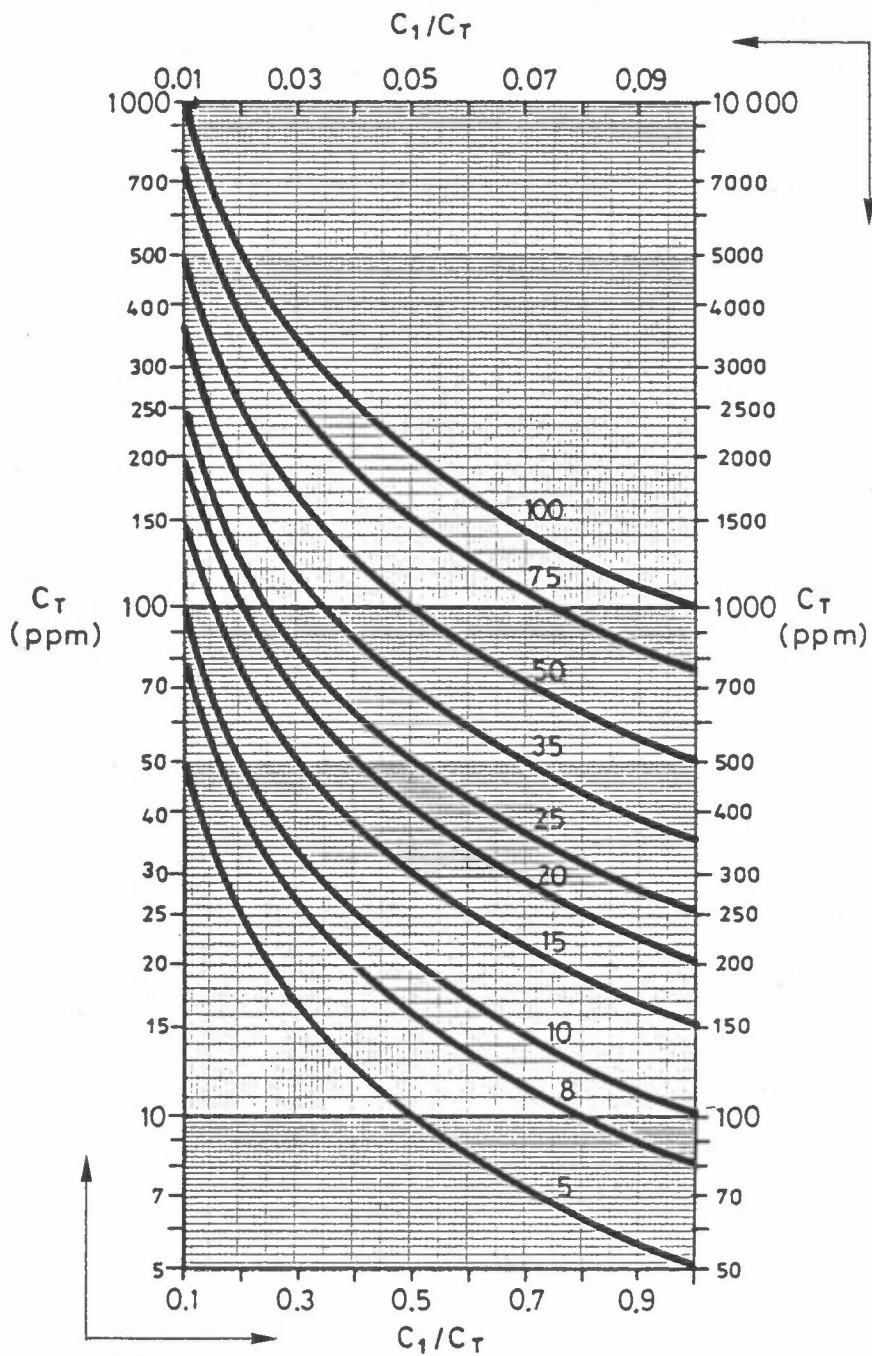
a) Vind $U = 1 \text{ m/s}$



b) " U = 2 m/s



c) " $U = 5 \text{ m/s}$



d): Omretning fra en reell verdi av konsentrasjonen C_1 til relativ verdi C_1/C_T . Kurvparameter er C_1 . Venstre ordinatakse hører sammen med nedre absissegakse, høyre ordinatakse hører til øvre absissegakse.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

NILU

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
ELVEGT. 52.

TLF. (02) 71 41 70

RAPPORTTYPE OPPDRAKSRAFFORT	RAPPORTNR. OR 27/82	ISBN--82-7247- 315-1
DATO AUGUST 1982	ANSV.SIGN. B. Ottar	ANT.SIDER 29
TITTEL Forenklet metode for sprednings- beregninger ved vegtunneler	PROSJEKTLEDER K.E. Grønskei	NILU PROSJEKT NR 23179
	TILGJENGELIGHET ** Omklass. til A 13/10-87.	
FORFATTER(E) Trond Iversen	OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Vegdirektoratet		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Vegtunneler	Spredning	Beregningsmetode
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) En forenklet metode til beregning av spredning av trafikk- forurensninger utenfor vegtunneler er foreslått. Metoden kombinerer to kjente metoder ved å dele sprednings- forløpet i to faser, jet fasen og plume fasen. Et nomogram for tunneltverrsnitt 48 m ² er gitt.		
TITLE		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) A simplified method to compute the dispersion of vehicular pollutants outside roadtunnels, is proposed. Two known methods are combined by separating the dispersion pattern into two phases, the jet phase and the plume phase. A nomogram for tunnels with cross section 48 m ² is presented.		

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