Navorsingsbriewe

Die invloed van skoorsteenhoogte op lugbesoedelstofkonsentrasies in lusvormende pluime

O.L. Fourie

Afdeling Atmosferiese Wetenskappe, NFNL, WNNR, Posbus 395, Pretoria 0001

UITTREKSEL

'n Teoretiese model wat die invloed van skoorsteenhoogte op lugbesoedelstofkonsentrasie tydens lusvormings-episodes van die pluim voorspel, word voorgestel. Die konsentrasie se afhanklikheid van skoorsteenhoogte word groter hoe nader aan die skoorsteen die pluim grondvat.

ABSTRACT

The influence of stack height on air pollutant concentrations in looping plumes

A theoretical model is proposed which predicts the influence of stack height on air pollutant concentration during plume looping episodes. The dependence of concentration on stack height increases as the distance between the stack and the point of plume impingement on the ground decreases.

INLEIDING

Een van die atmosferiese toestande wat hoë lugbesoedelstofkonsentrasies, veral naby die vrylaatpunt, tot gevolg het, is dié wat die ontstaan van lusvormende pluime bevorder. Dit gebeur in die dag tydens konvektiewe toestande waarin die turbulensieskaal heelwat groter as die pluimaftmetings is. Dit het tot gevolg dat die pluim merkbaar van sy vrylaattrajek afwyk, met die vorming van kenmerkende lusse. 'n Model wat die verlaging van konsentrasie deur verhoging van die vrylaatpunt (d.w.s. die skoorsteen) ondersoek, word in hierdie artikel voorgestel.

DIE MODEL

Dit is bekend dat pluimspreiding, soos uitgedruk deur die standaardafwyking σ van die besoedelstofkonsentrasie, volgens Taylor¹ se statistiese teorie 'n funksie van reistyd is. 'n Vereenvoudigende benadering word in hierdie model gemaak deur te aanvaar dat pluimspreiding 'n funksie van padlengte is. Dit is in ooreenstemming met die aanname wat gewoonlik gemaak word dat pluimspreiding 'n funksie van die windafkoördinaat x is. Die sterk kromming van 'n lusvormende pluim vereis egter dat padlengte as argument gebruik word.

Daar word ook aanvaar dat die temperatuurgradiënt en grootskaalse turbulensie oor die gebied van belang dieselfde is vir pluime wat vanaf verskillende hoogtes vrygelaat word. Dit beteken dat die trajekte vir sodanige pluime identies sal wees, behalwe dat hulle in 'n vertikale rigting ten opsigte van mekaar verplaas sal wees. So 'n model impliseer 'n kwasiebestendige toestand, wat kunsmatig is omdat die termies gedrewe warrels stogasties van aard is. Om die model dus te laat werk, moet aanvaar word dat die

grondvlakkonsentrasie gemeet kan word binne 'n monsterneemtyd wat weglaatbaar klein in vergelyking met die karakteristieke tyd van die grootskaalse warrel is. Hoewel nie realisties nie, is kwasiebestendigheid noodsaaklik, anders begin die effeningseffek van monsterneemtyd optree.

Om die wiskundige hantering van die probleem te vereenvoudig, word die trajek van die pluimmiddel lyn deur 'n aantal reguitlynsegmente benader (Figuur 1). Alleen die konsentrasie by die punt waar die pluim die eerste keer die grond tref, word beskou. Vir 'n Gausspluim met 'n effektiewe hoogte van nul, word die konsentrasie op grondvlak deur die formule¹

$$\chi = Q / \pi \sigma_y \sigma_z \bar{u} \quad (1)$$

gegee, waar Q die vrylaattempo en $\bar{u}$ die gemiddelde windspoed is en waar die σ 's volgens die aanname hierbo net van die padlengte afhanklik is. Die verhouding tussen twee konsentrasies as alles behalwe die padlengte gelyk is, is

$$\chi_1 / \chi_2 = \frac{\sigma_y(\ell_2) \sigma_z(\ell_2)}{\sigma_y(\ell_1) \sigma_z(\ell_1)} \quad (2)$$

waar die padlengteafhanklikheid van die σ 's nou eksplisiet aangedui word. As die eenvoudige magswet² vir die σ 's gebruik word, word die verhouding gegee deur

$$\chi_1 / \chi_2 = \frac{a(\ell_2)^p b(\ell_2)^q}{a(\ell_1)^p b(\ell_1)^q} = (\ell_2 / \ell_1)^{p+q} \quad (3)$$

Deur Figuur 1 te beskou, kan 'n uitdrukking vir die padlengte ℓ van 'n lusvormende pluim verkry word. Deur geometriese uitdrukkings vir die drie segmente λ_1 , λ_2 en λ_3 bymekaar te tel, word verkry dat

FIGUUR 1: Geometriesie beskrywing van lusvormende pluim.

$$\ell = x_A(\sec \beta + \tan \beta \operatorname{cosec} \alpha) + x_B + H \operatorname{cosec} \alpha \quad (4)$$

Ingestel in vgl. (3) lewer dit

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \left(\frac{x_A(\sec \beta + \tan \beta \operatorname{cosec} \alpha) + x_B + H_2 \operatorname{cosec} \alpha}{x_A(\sec \beta + \tan \beta \operatorname{cosec} \alpha) + x_B + H_1 \operatorname{cosec} \alpha} \right)^{p+q} \quad (5)$$

Afhangende van die vorm van die pluim kan van die segmente weggelaat word om vgl. (5) te vereenvoudig. Deur $x_B = 0$ te stel, word vgl. (5)

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \left(\frac{x_A(\sec \beta + \tan \beta \operatorname{cosec} \alpha) + H_2 \operatorname{cosec} \alpha}{x_A(\sec \beta + \tan \beta \operatorname{cosec} \alpha) + H_1 \operatorname{cosec} \alpha} \right)^{p+q} \quad (6)$$

'n Verdere vereenvoudiging kan teweeggebring word deur 'n pluim te beskou wat direk vanaf die skoorsteenopening na die grond warrel, dit wil sê $x_A = 0$. Vgl (6) word dan

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = (H_2/H_1)^{p+q} \quad (7)$$

Die betekenis van laasgenoemde vereenvoudiging sal in die volgende paragraaf bespreek word. Vir eksplisiete waardes van die eksponente kan Moore³ se waardes $p = 1$, $q = 1/2$, wat vir alle toestande geld en nagenoeg met ander werkers se waardes ooreenstem, gebruik word. Vgl (7) word dan

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = (H_2/H_1)^{3/2} \quad (8)$$

BESPREKING

Deur χ_1/χ_2 parsieel met betrekking tot x_A en x_B te differensieer, word gevind dat dit geen maksima in die positiewe kwadrant $x_A \geq 0$; $x_B \geq 0$ het nie. Tesame met 'n analise van die helling van χ_1/χ_2 toon dit aan dat χ_1/χ_2 monotoon dalend in die positiewe rigting van die argumente x_A en x_B is. Die maksimum waarde in die positiewe kwadrant is dus by $x_A = x_B = 0$. Die maksimum invloed van die skoorsteenhoogte H word dus gevoel in die geval waar die pluim direk na die grond warrel, dit wil sê waar vgl. (7) geld. Die nut van vgl. (7) word verder verhoog deur die feit dat pluime wat naby die skoorsteen afkom aarde toe, 'n groter impak het omdat hulle nog relatief onverdund is.

Hoe verder van die skoorsteen die pluim die grond tref, hoe geringer is die invloed van skoorsteenhoogte op konsentrasie. Dit kan gesien word deur x_A en x_B in vgl (5) na oneindig te laat strewe. Die verhouding χ_1/χ_2 strewe dan na die konstante waarde 1. So 'n geval is egter natuurlik nie van praktiese belang nie.

GEVOLGTREKKING

Besoedelingskonsentrasies gedurende lusvormings-episodes kan verminder word deur hoër skoorstene. Die maksimumeffek geskied in die geval waar die pluim onmiddellik afkom grond toe, d.w.s. waar vgl. (7) of (8) geld. In alle ander gevalle is die effek

kleiner hoe verder die pluim van die skoorsteen grondvat. Indien konsentrasies onaanvaarbaar hoog is, moet, met inagneming van die feit dat vgl. (8) 'n boonste grens is wat konsentrasievermindering betref, die koste van 'n hoër skoorsteen teen die koste van bv. emissiebeheer in die nywerheidsproses opgeveeg word.

BEDANKINGS

Die hulp van mnr. J.C. Venter en mev. C.M. Vleg-

gaar van die Afdeling Atmosferiese Wetenskappe word met dank erken.

VERWYSINGS

1. Hanna, S.R., Briggs, G.A. & Hosker, R.P. (1982). *Handbook on atmospheric diffusion* DOE/TIC-11223 (Technical Information Center, U.S. Department of Energy, Oak Ridge).
2. Gifford, F.A. (1976). Turbulent diffusion – typing schemes: a review, *Nuclear Safety*, 17, 68-86.
3. Pasquill, F. (1974). *Atmospheric diffusion* (Ellis Horwood, Chichester).