Navorsingsbriewe

Besoedelstofkonsentrasies volgens 'n bestendige Gausspluimmodel

O.L. Fourie, J.C. Venter en C.M. Vleggaar
NFNL, Afdeling Atmosferiese Wetenskappe, WNNR, Pretoria

UITTREKSEL

'n Rekenaarprogram wat lugbesoedelstofkonsentrasies in die omgewing van 'n hoëvlakpuntbron beraam, word beskryf. Die program is bedoel om in siftingstoepassings gebruik te word, dit wil sê toepassings waar 'n aantal situasies vinnig ondersoek moet word om moontlike knelpunte te identifiseer. Die program gebruik 'n bestendige Gausspluimmodel en is met 'n aantal uitsonderings op Turner se handleiding gebaseer. Dit kan konsentrasies bereken in gewone adveksie-diffusiegevalle, d.w.s. gevalle met 'n baie hoë menglaag, asook in gevalle waar verstikking of veelvuldige weerkaatsings plaasvind. Die benodigde stabiliteitsklasse word bepaal met 'n skema wat vir Hoëveld-toestande geld. Sowel die pluimstyging as die pluimspreiding word bereken met formules wat Briggs opgestel het. Die effek van topografie op die pluimtrajek word op 'n elementêre manier in ag geneem.

ABSTRACT

Pollutant concentrations predicted by a steady state Gaussian plume model

This article describes a computer program that estimates air pollutant concentrations in the vicinity of an elevated point source. The program is intended to be used in screening applications, i.e. applications where it is necessary to make a rapid analysis of a number of scenarios in order to identify situations where there may be cause for concern. The program uses a steady state Gaussian plume model and is based, with a number of exceptions, on Turner's workbook. It is capable of calculating concentrations in cases of straightforward advection-diffusion, i.e. with a very high mixing layer, as well as in cases of fumigation or multiple reflections. The atmospheric stability classification is done with a scheme which applies to Highveld conditions. Both plume rise and plume spread are calculated using formulas established by Briggs. The effect of topography on the plume trajectory is taken into account in a rudimentary manner.

INLEIDING

Hierdie artikel beskryf die FORTRAN-program DIF3, wat ramings maak van lugbesoedelstofkonsentrasies in die omgewing van 'n enkele hoëvlakpuntbron wat 'n nie-reaktiewe pluim met positiewe dryfvermoë vrylaat. Die program is geskryf met die doel om gebruik te word in siftingstoepassings, d.w.s. gevalle waar daar vinnig na moontlike oorskrydings van toegelate besoedelingspeile gesoek word om te bepaal of 'n uitvoerige studie van die betrokke probleem nodig is. Die datatoevoer vind interaktief vanaf 'n rekenaarterminaal plaas. Omvangryke weerdata in die vorm van 'n stabiliteitswindroos word nie deur die program benodig nie, maar die gebruiker moet 'n idee van die temperatuurstruktuur en heersende winde hê om 'n skatting van die tydsduur van die berekende besoedelstofkonsentrasies te maak.

Die program maak van 'n bestendige Gausspluimmodel gebruik en is op 'n aantal uitsonderings na, gebaseer op die bekende handleiding van Turner.¹ Daar word in DIF3 voorsiening gemaak vir 100 meetpunte en, indien nodig, word topografie op 'n elementêre manier in ag geneem. 'n Eienskap van die program is dat dit nie self meetpunte genereer nie, maar dat die gebruiker net daardie punte waarin hy

belangstel, spesifiseer. Benewens adveksie-diffusieberekeninge met 'n oneindig hoë menglaag, kan DIF3 ook konsentrasies bereken vir die gevalle waar verstikking of veelvuldige weerkaatsings plaasvind.

PASQUILL-GIFFORD-STABILITEITSKLASSE

Die horisontale en vertikale spreiding van 'n pluim kan beraam word indien die Pasquill-Gifford-stabiliteitsklas van die atmosfeer waardeur die pluim beweeg, bekend is. In DIF3 word 'n klassifikasieskema² gebruik wat vir die Suid-Afrikaanse Hoëveld geld. Na gelang van die gebied waar die model gebruik word, moet hierdie skema vervang word met een wat vir die betrokke toestande geld. As gevolg van DIF3 se modulêre struktuur is dit relatief eenvoudig om die stabiliteitsklassifikasieprosedure te wysig. Turner¹ gee 'n prosedure wat gebruik kan word om stabiliteitsklasse toe te ken en Gifford³ gee 'n nuttige oorsig van bestaande klassifikasieskemas.

PLUIMSPREIDING

Die mate waartoe 'n pluim in die horisontale en vertikale dwarsrigtings spreid, word deur die standaardafwykings σ_y en σ_z van die pluimkonsentrasie in hierdie rigtings weergegee. Hierdie groothede is funk-

sies van stabiliteitsklas en windafverplasing x vanaf die skoorsteen en DIF3 bereken hulle deur van die formules wat deur Briggs⁴ vir landelike omgewings aanbeveel word, gebruik te maak. Daar moet op gelet word dat hierdie formules slegs in die gebied $10^2 < x < 10^4$ m geld en hierdie feit moet in gedagte gehou word wanneer dit nodig is om DIF3 in gebiede buite hierdie bestek te gebruik. Die Briggs-formules geld ook net vir gemiddelde monsterneemtye in die bestek 0,5 tot 1,0 h en die nodige aanpassings⁴ moet vir die konsentrasies wat deur DIF3 vir ander gemiddelde tye gegee word, gemaak word.

PLUIMSTYGING

'n Assestelsel word deur DIF3 opgestel met die oorsprong by die skoorsteenbasis, die z -as op die skoorsteenas, die x -as in die windafrigting en die y -as gekies om 'n regterhandse assestelsel te vorm.

Die aanvanklike trajek en finale styging van die pluimas word bereken met behulp van die Briggs-model.⁵ In onstabiele of neutrale atmosferiese toestande word die aanvanklike trajek bereken met die sogenaamde „2/3-wet” en in stabiele toestande met die cosinusformule. Daar is eenvoudigheidshalwe op die cosinusformule besluit omdat dit die hele gebied vanaf die skoorsteen tot by die punt van maksimumstyging x_m dek. By alle punte $x > x_m$ word aanvaar dat die pluimhoogte konstant bly. Die skoorsteenhoogte word by die pluimtrajek getel om 'n effektiewe pluimtrajek te verkry.

Bogenoemde prosedure is vir terreineffekte gewysig deur 'n skema te gebruik wat soortgelyk is aan die een wat deur die VALLEY-model⁶ gebruik word. Die topografie word aan die program gegee in die vorm van grondhoogte bo skoorsteenbasis onder die pluimas by die x -koördinaat van die meetpunt. Dit beteken dat punte op die oppervlak wat laer as die skoorsteenbasis is, negatiewe hoogtes het.

BEREKENING VAN KONSENTRASIES

Konsentrasies in die geval van 'n oneindig hoë menglaag, dit wil sê sonder verstikking wat veroorsaak word deur die opbreking van die nagtelike inversie, of weerkaatsings vanaf die basis van 'n hoëvlak-inversie, word bereken met behulp van die Gauss-formule wat deur Turner¹ aangegee word. Benewens die grondhoogte onder die pluim, waarvan in die vorige paragraaf melding gemaak is, word die grondhoogte onder die meetpunt ook deur die program benodig. Die program konstrueer 'n plat oppervlak wat deur die laagste van die twee genoemde punte gaan en

die pluimhoogte en z -koördinaat van die meetpunt relatief tot hierdie virtuele oppervlak word in Turner se formule gebruik. Hierdie benadering neem dus nie die windopgeskiedenis van die pluim as gevolg van terreineffekte, of terreinkenmerke tussen die meetpunt en die pluim, in ag nie. Dit is egter 'n meer realistiese benadering as om 'n platterreinbenadering in komplekse topografie te volg.

Besoedelstofkonsentrasies tydens verstikkingtoestande word bereken deur vergelykings (5.2), (5.3) en (5.4), wat deur Turner gegee word, te gebruik. Die tempo waarteen die inversie opbreek, word nie deur DIF3 in ag geneem nie, omdat dit van verskeie faktore afhang, en die gebruiker moet self vasstel of die pluim in sy betrokke toestande in stabiele lug vrygelaat is. Die program kontroleer egter of die pluim in die oppervlakinversie is. Indien dit nie so is nie, word 'n waarskuwing op die skerm vertoon en die konsentrasie word gelyk aan nul gestel. Die program aanvaar dat die opbreektempo uniform oor die aardoppervlak is.

Drie topografiese gevalle word by verstikkingtoestande beskou, naamlik waar die grondhoogte onder die pluimas by die x -koördinaat van die meetpunt laer as, hoër as of gelyk aan dié van die skoorsteenbasis is. In die eerste geval word aanvaar dat die pluim in die vertikale rigting uniform gemeng is oor 'n laag waarvan die dikte die som is van skoorsteenhoogte, maksimum pluimstyging en $2\sigma_z$. Die pluim, wat in hierdie konvektiewe laag vasgevang is, word dan afwaarts onder die x -as in die algemene rigting van die meetpunt geadvekteer. In die tweede geval word die toestand op die tydstip beskou dat die groeiende konveksielaag die „bokant” van die pluim bo die meetpunt bereik, dit wil sê die effektiewe pluimhoogte vervang die maksimum effektiewe pluimstyging wat in die vorige geval gebruik is. In die derde geval word die metode wat deur Turner beskryf word, en wat wiskundig dieselfde is as wat in die eerste geval gebruik word, onveranderd gebruik. Die metodes wat in die voorafgaande gevalle gebruik word, geld nie in toestande waar daar 'n heuwelagtige terrein tussen die bron en meetpunt is nie.

By die berekening van konsentrasies tydens veelvuldige weerkaatsings word die meetpunte in drie groepe ingedeel: dié waarvoor $x \leq x_L$; dié waarvoor $x \geq 2x_L$; en dié waarvoor $x_L < x < 2x_L$, waar x_L die x -koördinaat van die punt is waar die vertikale afmeting van die pluim vergelykbaar met die menglaagdiepte word. Daar word aanvaar dat die menglaag 'n konstante diepte oor die aardoppervlak het en die

FIGUUR 1(a): Trajek van pluimmiddellyn met heuwel.

FIGUUR 1(b): Genormaliseerde grondvlakkonsentrasie onder pluimmiddellyn.

waarde daarvan word deur die gebruiker vir sy betrokke omstandighede gekies.

In die gebied waar $x \leq x_L$ word konsentrasies bereken net soos hierbo beskrywe in die geval van 'n oneindig hoë menglaag. In die tweede geval word konsentrasies bereken deur Turner se vereenvoudigde vergelyking (5.9) te gebruik. Slegs grondvlakkonsentrasies onder die pluimas tussen die punte x_L en $2x_L$ word bereken. Lineêre interpolasie tussen konsentrasies by die eindpunte word gebruik om die konsentrasies tussenin te bereken. Lineêre interpolasie word gebruik om voorsiening te maak vir moontlike nul-konsentrasies by die punt x_L .

TOEVOER- EN AFVOERDATA

Die skoorsteendata wat as toevoer benodig word, is afgastemperatuur, afgasvolumevloeiempo $\dot{V}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), skoorsteenhoogte en besoedelstofvrylaatempo M ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$). Dit is ook moontlik om die vertikale vrylaatsnelheid en die skoorsteenstraal in plaas van die volumevloeiempo te gebruik. Die eenheid van die vrylaatempo ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ of $\text{Ci} \cdot \text{s}^{-1}$) word ook in die toevoerdata gespesifiseer om voorsiening vir radioaktiewe stowwe te maak.

Die atmosferiese toevoerdata wat benodig word, is omgewingstemperatuur, potensiele-temperatuurgradiënt en gemiddelde windspoed. Hierdie waardes moet verteenwoordigend wees van die gebied waardeur die pluim beweeg. In die geval van verstikking word die inversiediepte ook benodig en in die geval van veelvuldige weerkaatsings die menglaagdiepte.

Afhangende van die betrokke toepassing, word die koördinate van die meetpunt, die grondhoogte onder die meetpunt en die grondhoogte onder die pluimas by die x -koördinaat van die meetpunt, ook as toevoer benodig. Benewens die berekende besoedelstofkonsentrasies ϕ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), word die toevoerdata gedruk om die uitkenning van lopies te vergemaklik. Indien van toepassing, word die σ_y - en σ_z -waardes by die meetpunte ook gedruk, tesame met enkele gegewens oor pluimhoogtes en relatiewe z -koördinate.

Die resultaat van 'n lopies met DIF3 word in Fig. 1(b) getoon, waar genormaliseerde grondvlakkonsen-

trasie langs die vertikale as en afstand windaf langs die horisontale as getoon word. Die skielike toename in konsentrasie is die gevolg van 'n stabiele atmosfeer en die teenwoordigheid van die heuwel wat in Fig. 1(a) getoon word.

BESPREKING

DIF3 is reeds in een nywerheidsprobleem gebruik en daar het geblyk dat die program aan sy doel, naamlik die vinnige uitwys van probleem-situasies, beantwoord. Die doelbewuste beperking van die program se toepassingsveld maak dit moontlik om die toevoerdata min te hou. Dit, tesame met die interaktiewe wyse waarop die program bedryf word, het tot gevolg dat 'n groot aantal situasies betreklik vinnig ondersoek kan word. 'n Kenmerk van die program wat verder hiertoe bydra, is dat 'n vaste netwerk van meetpunte nie opgestel word nie, maar dat die gebruiker net die punte wat van belang is, spesifiseer.

Die inagneming van topografie, wat min addisionele toevoerdata verg, verhoog die nut van die program, soos uit die voorbeeld in die vorige paragraaf blyk. Die modulêre struktuur van die program vergemaklik die byvoeging van programsegmente oor spesiale onderwerpe, asook die wysiging van bestaande segmente soos kennis oor pluimgedrag en atmosferiese diffusie verbeter.

VERWYSINGS

1. Turner, D.B. (1970). *Workbook of atmospheric dispersion estimates*, Publikasie nr. AP-26 (Environmental Protection Agency, Research Triangle Park).
2. Venter, G.P.N. en Closs, R.L. (1978). Persoonlike mededeling.
3. Gifford, F.A. (1976). Turbulent diffusion-typing schemes: a review, *Nuclear Safety*, 17, 68-86.
4. Briggs, G.A. (1974). In *Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory 1973 Annual Report*, Verslag ATDL-106. (National Oceanic and Atmospheric Administration, Oak Ridge) p. 83.
5. Briggs, G.A. (1975). In *Lectures on air pollution and environmental impact analysis*, Haugen, D.A. red. (American Meteorological Society, Boston) p. 59.
6. Burt, E.W. (1977). *VALLEY model user's guide*, Verslag nr. EPA-450/2-77-018, (Environmental Protection Agency, Research Triangle Park).