

Bemonstering van vuilstorten en andere sterk heterogene deponieën.

Een representatieve misvatting. Deel 2

beeldschermpresentatiestation in Hilversum te activeren.

Overige informatiesystemen

Op het lokale ethernet-netwerk in Amstelveen zullen één of meerdere terminals worden aangesloten voor communicatie met de informatiesystemen 'financieel systeem' en 'systeem infrastructuur en installaties', voor de financiële en onderhoudstechnische administratie. Ook zullen de dagelijks ingevoerde data over de zuivering met behulp van het 'systeem waterkwaliteit' als informatie in de vorm van overzichten weer opvraagbaar zijn via de terminals.

Functioneel ontwerp

Het functioneel ontwerp van de besturing en de beeldschermpresentatiesystemen is gemaakt door het ingenieursbureau Witteveen + Bos. Voor de levering van de vier beeldschermpresentatiesystemen, het lokale netwerk en de koppeling met Hilversum is een apart bestek vervaardigd. De firma Starren Elektro kreeg de opdracht voor het technisch ontwerp en het programmeren van de PLC en de SCADA-pakketten, inclusief de levering van de drie lokale beeldschermpresentatiestations, compleet met netwerk en verbinding via de PTT met Hilversum. De PLC-hardware is geleverd en geïnstalleerd door Van Rietschoten en Houwens, de elektrotechnische aannemer van de in aanbouw zijnde rwzi.

• • •

WWW

Vereniging voor Waterleidingbelangen in Nederland

Congres 'Eenvoud in informatiestrategie'

De programmacommissie A van de Vereniging voor Waterleidingbelangen in Nederland (VWN) organiseert een themadag 'Eenvoud in informatiestrategie'. De themadag wordt gehouden op 20 september 1991 in het Bowlingcentrum in Uitgeest. De N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland is gastheer. Het congres belicht in het bijzonder het belang van het informatiebeleid en de rol van het informatieplan in een sterk veranderende samenleving. Een koppeling wordt gelegd tussen het informatiebeleid en het ondernemingsbeleid. Op het congres is een speciale plaats ingeruimd voor de presentatie van een videofilm over gerealiseerde automatiseringstoepassingen in de bedrijfstak.

Inleiding

Onlangs brachten wij de problematiek betreffende de bemonstering van heterogene deponieën onder de aandacht van de lezers van H_2O door middel van een kort ludiek artikelje waaraan een prijsvraag verbonden was [Vriend & van Gaans, 1991]. Voor uw herinnering herhalen wij hieronder de gestelde vraag: U bent door een provincie uitgenodigd om te bekijken of hun vuilstort als chemisch afval gekwalificeerd moet worden. U begrijpt, dat uw uitspraak belangrijke financiële consequenties heeft.



S. P. VRIEND
Vakgroep Geochemie,
Instituut voor
Aardwetenschappen



P. F. M. VAN GAANS
Vakgroep Geochemie,
Instituut voor
Aardwetenschappen

De vuilstort heeft een afmeting van grofweg 100 m x 100 m x 10 m. Het gemiddelde soortelijk gewicht van het vuil is 1,5 ton/m³. Het gerucht gaat dat in het verleden iemand 20 vaten PCB's heeft gedumpt. Dit wordt echter ontkend door de betrokkene (verdachte). Neem voor het gemak aan, dat de inhoud van een vat 200 l met een oppervlakte van 0,5 m² is en dat het soortelijk gewicht van PCB's 1 kg/l is. De norm voor chemisch afval ligt bij 20 ppm PCB's.

- Reken het gemiddelde PCB-gehalte van deze stort uit als er inderdaad gedumpt is. Wat is dan de kans om bij een willekeurige verzameling van 100 boringen over de gehele diepte geen PCB's aan te treffen, aangenomen dat geen van de vaten gesprongen is. Wat is de kans dat u wel PCB's aantreft?
- Hoeveel monsters zoudt u moeten nemen voor een trefkans groter dan 0,90 om minstens éénmaal PCB's aan te treffen?
- Hoeveel monsters zoudt u moeten nemen om een redelijke indruk te krijgen van het gemiddelde gehalte? De bedoeling van deze vraag is een 'back of the envelope/calculator trial & error' ofwel een 'quick and dirty' berekening uit te voeren.

Resultaten

Wij denken nu dat we alle reacties binnengekregen hebben. Het is interessant om op te merken dat 50% van

de inzenders afkomstig is uit de overheid en 50% uit het bedrijfsleven. Het eerste gedeelte van de vraag bleek voor geen van de inzenders een probleem te vormen. Het tweede gedeelte was duidelijk moeilijker, daar slechts de helft van de inzenders hier goed uitkwam. Op het laatste onderdeel kwamen zowel schattingen als meer filosofisch getinte antwoorden binnen. Het totaal aantal inzenders bedroeg twee. Beide inzenders hebben een prijs toegestuurd gekregen.

Discussie

Wij zijn bang dat de omvang van de respons (tezamen met signalen uit het veld dat de opgave nogal pittig leek) ons vermoeden bevestigt, dat de voor dergelijke problemen benodigde statistische feeling onvoldoende ontwikkeld is binnen de milieuwereld. Tegelijkertijd hopen wij toch met ons eerste artikelje en de bespreking hier, aan deze ontwikkeling een bijdrage te leveren. In het navolgende willen wij tevens aantonen dat ook zonder diepgaande (geo)statistische kennis, maar gewoon op basis van gezond verstand redeneringen, de aard en omvang van een probleem redelijk ingeschat kunnen worden.

a. De berekening van het gemiddeld gehalte van de vuilstort is recht-toe-rechtaan: 20 vaten à 200 liter PCB's à 1 kg/l geeft 4.000 kg = 4 ton PCB's. De totale stort weegt (100 x 100 x 10 x 1,5) ton = 150.000 ton. Het gehalte PCB's is derhalve $4/150.000 = 26,7$ ppm. Volgens de gehanteerde norm is de stort dus chemisch afval. De kans om bij een boring al of niet een vat PCB's aan te treffen wordt bepaald door de verhouding van de oppervlakte van alle vaten tot het totale oppervlak van de stort. Voor een 'back of the envelope' benadering nemen we aan dat de vaten allemaal verticaal staan en niet boven op elkaar liggen. De vaten hebben dan een gezamenlijk oppervlak van $20 \times 0,5 = 10$ m². Dit is 0,1% van het totale oppervlak van 10.000 m². De kans om bij één boring dan een vat te treffen is 0,001, de kans om geen vat te treffen derhalve 0,999. Hieruit volgt dat de kans om honderd keer achter elkaar geen vat te treffen gelijk is aan $(0,999)^{100} = 0,905$ ofwel 90%, en de kans om bij 100 boringen minstens wel een keer een vat te treffen is dan $1 - 0,905 = 0,095$ ofwel 10%. Deze kans kan in dit geval ook benaderd worden door te stellen dat de trefkans bij 100 boringen honderd keer zo groot is als bij één boring: $100 \times 0,001 = 0,1$. Een dergelijke benadering werkt als de kans per poging erg klein is en ook het aantal

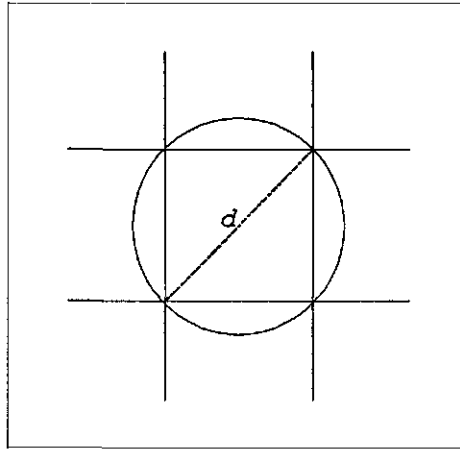
pogingen beperkt is. (Voor het gooien met een dobbelsteen geldt niet dat na zes worpen de kans op minstens een keer zes ogen gegarandeerd is!).

b. Om een trefkans van minstens 90% te halen, moet dus de kans op enkel 'nieten' beperkt worden tot 10%. Hieruit volgt dat $(0,999)^n \leq 0,10$. Na enig proberen op de rekenmachine ($n = 1.000$ is nog te klein, $n = 5.000$ is meer dan genoeg) kan n geschat worden op ongeveer 2.300. Voor een nauwkeurige berekening via het nemen van de logaritme krijgen we: $n \geq \log(0,10)/\log(0,999) \approx 2.302$. Als we hier ook uitgaan van de benadering dat de trefkans bij n boringen ook n maal zo groot wordt komen we, via $n \times 0,001 \geq 0,9$, op een schatting van 900 boringen. Het blijkt dat de benadering hier vanwege het grotere aantal n niet echt meer werkt, maar dat toch nog wel enig idee van de orde van grootte verkregen wordt.

c. Genoeg boringen om een redelijke indruk van het gehalte te krijgen betekent voor het geschetste probleem in feite: genoeg boringen om een goede schatting te kunnen maken van het aantal vaten in de stort. Accepteren we een afwijking in onze schatting van maximaal 10% dan moeten we dus op minstens 18 vaten uitkomen. Een 95% betrouwbaarheidsinterval betekent dat we slechts in 5 van de 100 gevallen (= hypothetische bemonsteringen) een afwijking van meer dan 2 vaten accepteren. Een aantal verschillende benaderingen kan nu gevolgd worden.

- Per boring is de kans om een specifiek vat te treffen $0,5/10.000 = 5 \times 10^{-5}$. Als we zoveel boringen zetten dat de trefkans per specifiek vat op 95% uitkomt zullen we dus gemiddeld 19 van de 20 vaten treffen, hetgeen een aardige benadering lijkt van de boven gestelde voorwaarden: in 95% van de gevallen niet minder dan 18 vaten. Dan moet de kans op missen voor ieder vat kleiner zijn dan 5%: $(0,99995)^n \leq 0,05$. Op dezelfde manier als boven volgt hieruit dat n ongeveer 60.000 moet zijn.

Met behulp van de binomiaalverdeling (zie bijv. Wijvekate, 1983) kan meer nauwkeurig worden uitgerekend of op deze manier aan de gestelde precisie wordt voldaan. Volgens deze verdeling is de kans op treffen van precies $20-k$ van de 20 vaten bij n boringen, gegeven de trefkans per vat van $1-0,99995^n$: $P(20-k) = \binom{20}{k} \times (0,99995^n)^k \times (1-0,99995^n)^{20-k}$ (Davis, 1986). Voor $n = 60.000$ geeft dit voor de kans op minstens 18 treffers: $[P(20)+P(19)+P(18)]_{n=60.000} \approx 92,5\%$, dus



Afb. 1 - Maatswijdte van monstergrid vergeleken met diameter van gezocht object.

iets minder dan de gewenste 95% betrouwbaarheid.

- Op grond van de eerdere redeneringen onder a. en b. kan in ieder geval geschat worden dat het benodigd aantal monsters vrij groot moet zijn. Het ligt dan voor de hand om volgens een systematisch grid of raster te gaan boren. Bij de systematische bemonstering moeten dan vrijwel alle vaten worden aangeboord. Als we weer aannemen dat de vaten verticaal staan is het gemakkelijk in te zien dat de maatswijdte van het raster gelijk moet zijn aan $d/\sqrt{2}$ om ieder vat minstens één keer te treffen, waarbij d de diameter van het vatdeksel is (afb. 1). Bij een grover grid zou in theorie een vat precies tussen vier gridpunten in kunnen liggen. Gegeven het deksel-oppervlak van $0,5 \text{ m}^2$ volgt $d = 80 \text{ cm}$, $d/\sqrt{2} = 56 \text{ cm}$. Dit betekent voor de stort van $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ een grid van 178×178 punten, oftewel bijna 32.000 boringen.
- Een geheel andere benadering is de volgende, waarbij geen voorkennis over de grootte van de vervuilde objecten nodig is (maar wel over de kans op aantreffen, in ons geval 0,001). Voor gebeurtenissen die zich al of niet voordoen, met een zeer kleine kans op 'ja' (bijvoorbeeld een vliegtuigongeluk, of het treffen van een vat PCB's bij een boring in onze vuilstort), gedragen de uitkomsten van steekproeven (het aantal vliegtuigongelukken in één jaar, het aantal keren dat een vat getroffen wordt bij de bemonstering) zich volgens de zogenaamde Poisson-verdeling (Wijvekate, 1983). Voor deze verdeling geldt dat de standaarddeviatie s gelijk is aan de wortel uit het aantal treffers r , en dat bij grote r ($r > 10$ à 20) de verdeling vrijwel een normale verdeling is. We willen dus bij n boringen een aantal treffers $r = 0,001n \pm 10\%$. Dit

betekent voor twee standaarddeviaties (95% betrouwbaarheid): $2s = 0,0001n$ (de toegelaten afwijking van 10%). Vanwege de Poisson-verdeling geldt ook $s = \sqrt{r} \approx \sqrt{0,001n}$. Combinatie van deze twee gegevens levert: $0,0001n = 2\sqrt{0,001n}$. Hieruit volgt na kwadrateren: $10^{-8}n - 4 \times 10^{-3}n = 0$. Oplossen van deze kwadratische vergelijking levert, naast de triviale $n = 0$, een benodigd aantal boringen op van $n = 400.000$. Merk op dat dit betekent dat per vierkante meter gemiddeld zo'n 40 boringen geplaatst zijn. Ieder vat wordt gemiddeld zo'n 20 keer geraakt ($r = 400$). Dit komt omdat in deze statistische benadering van een willekeurige keuze voor de lokatie van elke boring moet worden uitgegaan (waarbij dezelfde, of bijna dezelfde lokatie meer-malen gekozen kan worden).

Terugkomend op de gevolgen die een onjuiste bemonsterings-aanpak kan hebben voor milieu en milieubeleid kunnen we stellen dat de schattingen voor onderdeel c. weliswaar getalsmatig nogal uiteenlopen, maar dat ze duidelijk overeenstemmen aangaande de 'onmogelijkheid' van dergelijke bemonsteringen. Om, geconfronteerd met de onhandelbaarheid van dergelijke problemen, dan maar de kop in het zand te steken (niet in de vuilstort, men kijkt wel uit!) en te doen alsof het nemen van hooguit enkele tientallen monsters volgens een grof raster verantwoord is, in die zin dat het een juist antwoord geeft op de vraag of er milieugevaren zijn, is volgens ons uit den boze. Men kan zijn energie dan beter steken in het uitwerken van alternatieven, zoals monitoring of eventueel (geo)fysische technieken.

Aangezien wij ons ervan bewust zijn dat de groep inzenders op onze prijsvraag waarschijnlijk niet als representatief gezien kan worden voor de milieuwereeld in zijn geheel, en dat het aantal 'monsters' ook in dit geval ruim onvoldoende is om zinnige gevolgtrekkingen te kunnen maken, zullen wij ons hier niet uitlaten over een eventueel verschil in statistisch kennisniveau tussen bedrijfsleven en overheid.

Literatuur

- Davis, J. C. (1986). *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley & Sons, p. 646.
 Vriend, S. P. en Gaans, P. F. M. van. *Bemonstering van vuilstorten en andere sterk heterogene deponiën. een representatieve misvatting*. H₂O (24) 1991, nr. 4, p. 89.
 Wijvekate, M. L. (1983). *Verklarende statistiek*. Aula pocket 39, 18^e druk. Het Spectrum B.V. p. 251.

