



Piet Lubking

## GROND IN DE HAND HOUDEN – DE VORM VAN ZANDKORRELS (2)

# UITSTROOMPROEVEN TER BEPALING VAN KORRELVORM ANNEX OPPERVLAKTERUWHEID

Beheersing van het materiaal grond is voor de geotechnicus van cruciaal belang; kennis van de basiseigenschappen is een eerste vereiste. Door grond letterlijk en figuurlijk op een verstandige manier in de hand te houden wordt bereikt dat geotechnische problemen niet uit de hand lopen.

Gedurende de gehele geologische geschiedenis van een bepaalde zandsoort, dat wil zeggen gedurende het transport en de sedimentatie van de deeltjes in de natuur spelen de vorm en de oppervlakteruwheid van de individuele korrels een belangrijke rol. De korrels oefenen daarbij immers voortdurend invloed uit op elkaar: gedurende kortere of langere tijd raken ze elkaar in een aantal grotere of kleinere contactoppervlakken in ketsende en schurende bewegingen. Bovendien worden deze processen constant beïnvloed door de veranderende korrelgrootten en vormen van de individuele deeltjes alsmede de in het mengsel aanwezige verhoudingen van die korrelgrootten.

Ook tijdens de processen waaraan het zand wordt onderworpen bij gebruik in de industrie of in de bouw spelen bovengenoemde parameters eenzelfde rol. Het gedrag van bewegende zandkorrels gedurende allerlei vormen van massatransport (stroming in en uit een reservoir of bezinking in water), maar ook het gedrag van een zandmassa in evenwicht (taludstabiliteit) wordt bepaald door deze korrelkenmerken. Om dergelijk gedrag van zand te kunnen begrijpen is het dus belangrijk om die parameters duidelijk te definiëren. In de huidige geotechnische praktijk geschiedt dat meestal door zeping van het zand, visuele bepaling van de korrelvorm en eventuele vaststelling van de mineralogie (t.b.v. bepaling van de wrijvings-eigenschappen). In een vorige column is daaraan aandacht besteed.

## Uitstroomproeven in het laboratorium

De gezamenlijke invloed van genoemde parameters kan echter ook op een directe manier worden gemeten door het geotechnisch gedrag van korrelmengsels te onderzoeken op kleine schaal. Dat kan geschieden aan de hand van eenvoudige proefjes die karakteristiek zijn voor het fysisch-mechanisch gedrag van een korrelmassa in de natuur c.q. in industriële of civieltechnische processen. Bekende proeven in dat opzicht zijn de zogenoemde "uitstroomproeven of zandloperproeven", waarbij een droge korrelmassa vanuit de bodem van een container onder invloed van de zwaartekracht wegstroomt; de verhouding tussen uitstroomopening en korreldiameter dient daarbij voldoende groot te zijn om de korrelmassa vrijelijk onder invloed van de zwaartekracht te laten uitstromen.

In diverse disciplines worden uitstroomproeven in het laboratorium toegepast om indicaties te verkrijgen van de korrelvorm annex oppervlakteruwheid. Daarbij wordt hetzij de uitstroomtijd, hetzij de resulterende dichtheid van het droge zandmengsel gemeten.

## Proeven ter bepaling van de uitstroomtijd ; zandloperproeven

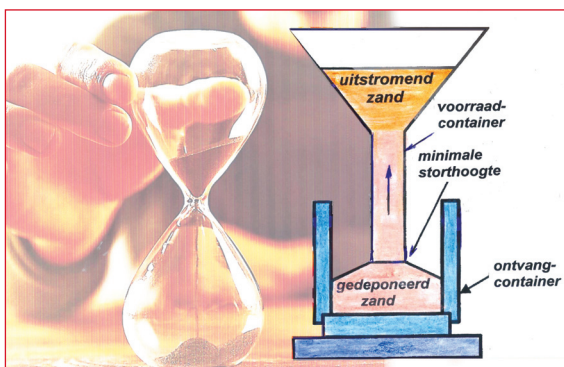
Reeds in de jaren dertig en veertig van de vorige eeuw zijn diverse methoden ontwikkeld om de korrelvorm te definiëren op basis een uitstroomproef. Bij een dergelijke proef wordt gemeten hoeveel tijd het vergt om een bepaald volume droog gestorte korrels door een opening van bekende diameter te laten wegstromen. De doorstroomtijd wordt in hoge mate bepaald door de interactie tussen de individuele korrels, waarbij korrelvorm en oppervlakteruwheid essentiële parameters zijn.

Het uitstroomgedrag van een massa droge korrels uit een silo is principieel anders dan dat van een vloeistof. De uitstroomsnelheid van een vloeistof wordt immers bepaald door de hoogte van de vloeistofkolom boven de uitstroomopening, terwijl die van een massa droge korrels constant is, dat wil zeggen onafhankelijk van de hoogte van de korrelmassakolom. Natuurlijk spelen daarbij, behalve de korrelmassa-eigenschappen (korrelgrootteverdeling, korrelvorm en -oppervlakteruwheid) ook de vorm van de container en de grootte van de uitstroomopening een rol. Bij toepassing van regelmatige, gladde korrels van gelijke grootte (bijvoorbeeld éénkorrelige glasparels) en op voorwaarde dat de uitstroomdiameter  $D$  [mm] minstens 5 maal zo groot als de maximale korreldiameter [mm] kan de doorstroomtijd  $T$  in seconden worden weergegeven als

$$T = C \cdot V (D - d)^{-2,5}$$

waarbij  $V$  het volume van de korrelmassa in ml voorstelt. De evenredigheidsconstante  $C$  hangt af van de vorm van de silo: voor zandlopervormige, conusvormige en silovormige containers wordt respectievelijk  $C = 7-10$ ,  $C = 8$  en  $C = 19$  gehanteerd.

Het boven beschreven uitstroomgedrag van korrels wordt al vele eeuwen toegepast om de tijd te meten met behulp van een eenvoudig instrument, dat gewoonlijk wordt aangeduid als zandloper (Engels: sandglass, hourglass, sand timer, sand clock); zie figuur 1a. Het bestaat uit twee glazen reservoirs die via een smalle doorgang met elkaar zijn verbonden. In het bovenste reservoir bevindt zich een korrelmassa die onder invloed van de zwaartekracht door de smalle doorgang in het onderste reservoir valt. Daarna wordt het systeem omgedraaid en stroomt het materiaal wederom van het bovenste naar het onderste reservoir. De tijd die nodig is om de inhoud van het bovenste reservoir volledig te legen is constant; volgens bovengenoemde formule hangt de doorlooptijd  $t$ ,



**Figuur 1a+b –** Zandloperproef, waarmee de doorstroomtijd van een bepaald zand wordt gemeten resp. uitstroomproef ter bepaling van de standaard-minimumdichtheid van een zand.



**Figuur 2a+b –** Een handvol uiterst gladde glasparels en een hoopje uiterst ruw brekerzand.

behalve van de dimensies van de zandloper af van het volume en de kenmerken van het zand.

In vroeger tijden werd de zandloper vanaf de 14e eeuw in de zeevaart gebruikt om de snelheid van een schip te kunnen meten. Ook het tijdstip van de dag kon op zee bijgehouden worden, waarbij iedere dag opnieuw werd begonnen als de zon op het hoogste punt stond. De tijd werd gemeten in glazen: na 30 minuten was de zandloper (het glas) doorgelopen en werd het omgekeerd. Op de halve uren werd de scheepsbel dan eenmaal geluid en op de hele uren tweemaal. In sommige oude kerken treft men nog een zandloper aan op de preekstoel. Na de Reformatie hielden dominees ervan zeer lang te preken, tot ongenoegen van veel toehoorders. De Synode van Dordrecht bepaalde in 1574 dat een preek maximaal anderhalf uur mocht duren. Sindsdien verschenen op talloze preekstoelen zandlopers.

Zandlopers van 15 seconden werden ook veelvuldig gebruikt in medische beroepen om iemands polsslag te meten. Tegenwoordig treft men ze soms nog aan bij bordspellen, in de keuken of in de sauna. De korrels in een zandloper bestaan meestal uit fijn zand of glasparels, maar ook vermalen eierschalen of gemalen marmerbrokken werden vroeger vaak toegepast.

## Proeven ter bepaling van de korrelvorm op basis van de uitstroomtijd

In het algemeen kan worden gesteld dat de doorstroomtijd van een bepaald uitstroomvolume langer is naarmate de korrels hoekiger en ruwer zijn, en korter naarmate de korrels ronder en gladder zijn. Diverse onderzoekers hebben ter definiëring van de korrelvormwaarde van een bepaalde korrelmassa de doorstroomtijd daarvan  $t_z$  vergeleken met die van extreme referentiematerialen, zoals bijvoorbeeld glasparels  $t_g$  (compleet ronde, gladde korrels) of brekerzand  $t_b$  (compleet hoekige, ruwe korrels).

In geval van een referentiemateriaal als brekerzand wordt de korrelvorm gedefinieerd als:

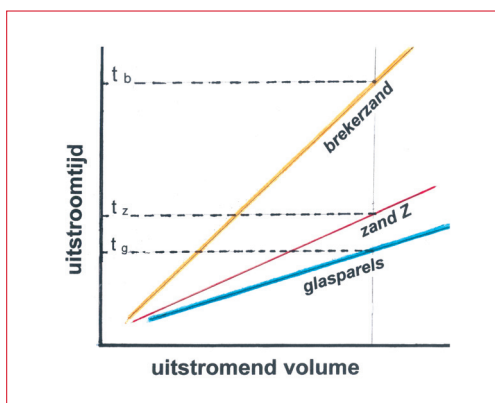
$$K_z [\%] = (t_b - t_z) \cdot 100\% / (t_b)$$

Andere onderzoekers maken gebruik van twee referentiematerialen, bijvoorbeeld glasparels en brekerzand. In die gevallen wordt de korrelvorm  $K_z$  in % gedefinieerd als:

$$K_z [\%] = (t_z - t_g) \cdot 100\% / (t_b - t_g)$$

Idealiter dient daarbij de korrelgrootteverdeling van het te onderzoeken zand overeen te komen met die van het referentiemateriaal; de uitstroomtijd wordt immers, behalve door de korrelvorm en oppervlakteruwheid mede bepaald door de relatieve hoeveelheden langs elkaar bewegende grote en kleinere korrels.

Diverse onderzoekers raden daarom aan het te



**Figuur 3** – Lineaire verbanden tussen uitstroomtijd en uitstromend volume voor een willekeurig zand (Z) en twee referentiezanden (brekerzand en glasparels).

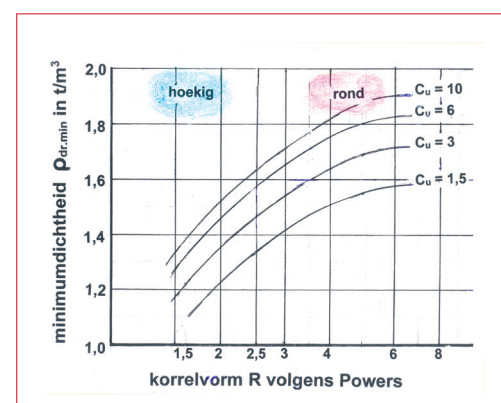
onderzoeken zand eerst in een aantal massafracties uit te zeven. Door de uitstroomtijden van elke fractie te vergelijken met die van een overeenkomstige massa vergelijkingsmateriaal wordt de korrelvormwaarde van die fractie verkregen. Die korrelvormwaarden worden vervolgens samen met de per fractie gevonden specifiek-oppervlaktewaarden gesommeerd tot de totaalwaarde van de korrelvorm van het zand. Bepalingen als deze blijken in de praktijk tamelijk bewerkelijk. Als het gaat om vergelijking van de korrelvormwaarden van diverse zandsoorten wordt vaak volstaan met simpele vergelijking van de doorstroomtijden van die materialen met die van een referentiemateriaal. Bij natuurlijke Nederlandse zandsoorten bestaat overigens geen grote variatie in korrelvorm en oppervlakteruwheid; de meeste zijn te kwalificeren als matig afgerond tot matig hoekig.

## Proeven ter bepaling van de korrelvorm op basis van de minimumdichtheid

Ter vaststelling van een bepaalde gedefinieerde dichtheid van een zandmengsel wordt in diverse disciplines gebruik gemaakt van een uitstroombeproeft. Daarbij vloeien de korrels uit een opening aan de onderzijde van een container in een vat van bekende afmetingen; zie figuur 1b.

Bijvoorbeeld ten behoeve van de bepaling van de minimumdichtheid worden de uitstromende korrels met een minimale impact gedeponneerd zodat nauwelijks verdichting optreedt en een zeer open korrelskelet resulteert. De minimumdichtheid wordt (al dan niet samen met de maximumdichtheid) in de praktijk gebruikt als referentie bij de bepaling van de relatieve dichtheid van een zandmassa in het terrein.

Diverse onderzoekers hebben vastgesteld dat de gelijkmatigheidscoëfficiënt  $D_{60}/D_{10}$  en de korrelvorm (bijvoorbeeld R volgens Powers) in combinatie met een bepaalde, gedefinieerde hoeveelheid verdichtingsenergie een reproduceerbare dicht-



**Figuur 4** – Verband tussen de minimumdichtheid van een zandmengsel en de korrelvorm volgens Powers als functie van de gelijkmatigheidscoëfficiënt.

heid opleveren. Omgekeerd kan op basis van een bepaalde gelijkmatigheidscoëfficiënt en een gedefinieerd verdichtingsenergieniveau als bij een uitstroombeproeft op simpele wijze een indicatie worden gevonden van de korrelvorm. De bekende grafiek van Youd laat zien dat de door middel van een uitstroombeproeft geleverde minimumdichtheid een functie is van de gelijkmatigheidscoëfficiënt en de korrelvorm (in dit geval R volgens Powers). Figuur 4 toont de omgewerkte grafiek van Youd: de gelijkmatigheidscoëfficiënt  $C_u = D_{60}/D_{10}$  en de bij een uitstroombeproeft verkregen (minimale) dichtheid geven een indicatie van de korrelvorm annex oppervlakteruwheid.

Een andere bekende laboratoriumproef in dat verband is de zogenoemde "Fine Aggregate Angularity Test" of FAA-proef, die in de wegenbouw wordt gebruikt ter vaststelling van de weerstand tegen permanente deformatie van een asfaltmengsel (rutting) bij een bepaalde verkeersintensiteit. In de grondwerk- en wegenbouwpraktijk bestaan talrijke soortgelijke laboratoriumproeven die zijn gebaseerd op hetzelfde principe als de FAA-proef: van een monster met een bepaalde gradering vormt een bepaalde gedefinieerde droge dichtheid (vaak de onverdichte of minimumdichtheid) een indicatie van de relatieve korrelvorm en oppervlakteruwheid. In figuur 4, die gebaseerd is op de internationaal bekende grafiek van Youd, is één en ander gedemonstreerd.

*Deze en andere onderwerpen die voor de praktiserende geotechnicus interessant en belangrijk kunnen zijn, komen aan de orde in de door PAO Techniek en Management aangeboden cursus CGF-M (Masterclass 'Handen aan de grond') en worden behandeld in het bijbehorende boek 'Grondgedrag' ([www.grondgedrag.nl](http://www.grondgedrag.nl)). ●*