

DEFINIERING VAN DE STEEKVASTHEID VAN SLIBVORMIGE AFVALSTOFFEN

W. DIELTJENS

Studiecentrum voor Water (SVW)

P. GEUZENS

Vlaamse Instelling voor Technologisch
Onderzoek (VITO)

L. DEBAENE

Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor
het Vlaamse Gewest (OVAM)

P. OCKIER

Vlaamse milieumaatschappij (VMM)

SAMENVATTING

In een SVW-onderzoek naar de steekvastheid van waterzuiverings- en drinkwaterslib, werd de vintest gebruikt als methode om de stortbaarheid van dergelijke slibvormige afvalstoffen te bepalen. De vintest is een wetenschappelijk onderbouwde meetmethode en laat toe op een objectieve wijze een numerieke invulling te geven aan het begrip 'steekvastheid'. Een voorlopig criterium voor de steekvastheid van waterzuiverings- en drinkwaterslib wordt voorgesteld. Er werden parallelle metingen uitgevoerd met een valkegeltest en de resultaten werden vergeleken met deze van de vintest.

INLEIDING

Verschillende waterbehandelingsprocessen geven aanleiding tot het ontstaan van slibvormige afvalstoffen. Aanzienlijke hoeveelheden slib worden gevormd bij de zuivering van rioolwater. De behandeling van grondwater voor de winning van leidingwater doet zogenaamd ontzeringsslib ontstaan. Ook de winning van leidingwater uit oppervlaktewaters en de fysico-chemische of biologische zuivering van diverse industriële afvalwaters geven slibstromen als afvalstof. Omdat de kwaliteit van het effluent bij bovengenoemde processen voorop staat zal men wetens en willens een concentratie van ongewenste stoffen krijgen in de slibmassa. De verontreinigingsgraad van het slib kan een zinvolle toepassing in de weg staan. Zo bijvoorbeeld kan een te hoog gehalte aan zware metalen in rioolwaterzuiveringsslib de toepassing ervan als meststof in de landbouw in de weg staan.

Tenzij nuttige toepassingen gevonden worden voor de verschillende slibsoorten, moeten zij als afval beschouwd en behandeld worden. Een groot deel wordt dan ook gestort op gecontroleerde stortplaatsen. Hierdoor wordt de verspreiding van verontreinigingen in het milieu vermeden.

Een verantwoorde stortplaatsexploitatie laat echter het storten van vloeibare of gemakkelijk vloeibare afvalstoffen niet toe. Een

wettelijke bepaling (1) stelt dat afvalstoffen die gestort worden steekvast moeten zijn. Vooraleer het slib getransporteerd wordt naar de stortplaats, wordt het zoveel mogelijk ontwaterd om het volume van de af te voeren hoeveelheden te reduceren en om een 'steekvaste' massa te bekomen. Colloïdale slibs zijn echter moeilijk ontwaterbaar. Een natuurlijke droging legt dan beslag op aanzienlijke oppervlakten. Een mechanische ontwatering is duur en des te duurder naarmate het eindprodukt meer ontwaterd dient te zijn. De vraag dringt zich dan ook op: hoe ver dient men te ontwateren om een steekvast produkt te bekomen? Wanneer is slib steekvast?

Het begrip steekvastheid wordt in de wet niet nader omschreven. Verschillende interpretaties zijn dan ook mogelijk. Dit heeft een aanzienlijke rechtsonzekerheid en willekeur tot gevolg en leidt zodoende tot onzekerheid over de afzetmogelijkheden van slib.

Een definitie en numerieke invulling van het begrip steekvastheid is voor alle partijen van belang. De slibproducent kan het onderzoek en de bedrijfsvoering i.v.m. de slibontwatering doelgericht ontwikkelen. Voor de stortplaatsexploitant zal het al dan niet aanvaarden van slibs en de verwerking ervan eenduidiger en vlotter kunnen gebeuren. De bevoegde instantie, de OVAM, kan de uitbatingvoorwaarden nauwkeuriger omschrijven vanuit technisch en ecologisch oogpunt en de controle beter afstemmen. In oktober 1989 startte het Studiecentrum voor Water (SVW) in samenwerking met het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK nu VITO) het project *definiëring van de steekvastheid van slib*. SVW verricht praktijkgericht wetenschappelijk onderzoek ten dienste van haar leden. Tot de leden van SVW behoren ondermeer de Vlaamse drinkwaterproducenten, de Vlaamse maatschappij voor waterzuivering en OVAM. Dit betekent

(1) Besluit van de Vlaamse Executieve houdende algemene voorwaarden die gelden voor stortplaatsen van afvalstoffen in of op de bodem, Belgisch Staatsblad 10 juni 1982.

dat alle betrokken partijen direct in het project participeren.

Tot de objectieven van het project behoren de volgende onderzoekspunten:

- een inventarisatie en een evaluatie van de huidige stortplaatsexploitatie ten aanzien van ontwaterde slibs,
- het voorstellen van een uniforme meetmethode en normgeving voor het begrip steekvastheid. De voorgestelde norm zal ondermeer gebaseerd zijn op:
 - ervaringen op de stortplaats (verwerkbaarheid, veiligheid, berijdbaarheid, e.d.),
 - effect op de stortplaatsstabiliteit (theoretische onderbouwing middels grondmechanische modellen),
 - een uitgebreid en vergelijkend meetprogramma van de geproduceerde slibs,
 - overwegingen omtrent technische, economische en ecologische consequenties van het invoeren van een richtlijn.

Het project loopt over een termijn van 3 jaar tot 1992. Het kan steunen op een voorafgaand literatuuronderzoek betreffende bepalingmethoden van de geo-mechanische eigenschappen van slib (Geuzens, 1989). Naast voornoemde objectieven zal ook onderzoek verricht worden naar methoden om de (steek)vastheid van ontwaterde slibs te verbeteren.

Een uitgebreide bemonstering en analyse van rioolwaterzuiverings-, drinkwater- en industrieel waterzuiveringsslib werd reeds ondernomen. In dit artikel wordt besproken hoe de vastheid van dergelijke slibsoorten gemeten kan worden en hoe dergelijke meetmethode toelaat het begrip steekvastheid te definiëren.

1. Meetmethoden voor de (steek)vastheid van slib

De vastheid of consistentie van slib kan beschreven worden met behulp van termen ontleend aan de grondmechanica. Het mechanisch gedrag van de ontwaterde colloïdale slibs waar het hier over gaat is overwe-

gend plastisch en best vergelijkbaar met het mechanisch gedrag van slappe kleisoorten. Een slibmassa of een kleilaag die progressief wordt belast, zal zich aanvankelijk verzetten tegen een dergelijke belasting door het genereren van inwendige reactiekrachten. Deze reactiekrachten worden voorgesteld als schuifspanningen, werkend op potentiële schuifvlakken. Bij toenemende belasting treedt tenslotte breuk of plastische vervorming op. De maximale schuifweerstand die een slib kan genereren wordt de afschuifkracht ('shear strength') genoemd. De afschuifkracht is de geëigende grootheid om de weerstand tegen breuk of vervloeien te beschrijven en het is precies deze weerstand waarnaar men refereert wanneer men spreekt over 'steekvaste afvalstoffen'. Door de afschuifkracht te meten kan men dan ook de vastheid of steekvastheid op objectieve wijze kwantificeren.

De afschuifkracht hangt af van de normaalspanning op het (potentiële) breuk- of glijvlak. Dit wordt wiskundig uitgedrukt in het zogenaamde Mohr-Coulomb criterium:

$$\tau = c' + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi' \quad (1)$$

met: τ = afschuifkracht in kPa (1 kPa = 1000 N/m²)

c' = cohesie in kPa

σ = effectieve normaalspanning (korrelspanning) op het beschouwde vlak, in kPa

φ' = inwendige wrijvingshoek

Wanneer men echter te maken heeft met een volledig verzadigde (klei)grond in ongedraineerde omstandigheden, wordt de afschuifkracht onafhankelijk van het isotrope totale spanningsniveau en kan zij worden weergegeven door volgende formule (zie bijvoorbeeld Craig, 1978, blz. 95-102 voor een meer gedetailleerde uiteenzetting):

$$\tau = c_u \quad (2)$$

met: c_u = ongedraineerde afschuifkracht of cohesie (kPa)

Formule (2) kan - al dan niet benaderend - gebruikt worden voor de karakterisatie van de schuifweerstand van ontwaterde colloïdale slibs na compactatie. Dit heeft voor gevolg dat in dit geval de schuifweerstand wordt weergegeven door één enkele relevante parameter, met name de ongedraineerde afschuifkracht of cohesie c_u . Deze afschuifkracht hangt dan ondermeer af van de aard van de vaste deeltjes in het slib, van het watergehalte (bepaald door de consolidatie- of ontwaterings-voorgeschiedenis) en van de graad van compactatie van het slib. In de grondmechanica worden verschillende methoden gebruikt om de afschuifkracht te meten. Het principe van elk van deze methoden is eenvoudig: men zal nagaan bij welke differentiële belasting een grondmonster breuk of plastische verglijding zal vertonen.

De verschillende manieren van belasten, het dynamisch verloop en de snelheid waarmee de belasting wordt aangebracht, onzekerheden over aard, ligging en grootte van het breuk- of glijvlak, maken echter dat het meten van de afschuifkracht van een grond-

(of slib-) monster geen sinecure is.

Men zal dan ook steeds de gebruikte methode bij het meetresultaat vermelden. Bij voorkeur kiest men een bepaalde methode waarbij de manier van belasten gelijk op het belastingsverloop zoals zich dat in de realiteit zal voordoen. Zo zal men bijvoorbeeld bij voorkeur een triaxiaaltest gebruiken in gevallen waarbij een grondmassa toenemend belast wordt (ophogingen e.d.), terwijl men celtesten zal verkiezen bij afnemende belastingsverlopen (uitgravingen e.d.).

Voor het probleem van de stabiliteit van slibmassa's op de stortplaats is de triaxiaaltest de aangewezen methode. Deze test is echter moeizaam en traag en een bruikbaar alternatief voor de meting van de afschuifkracht van slibvormige afvalstoffen werd reeds in 1981 door Gay en medewerkers gevonden in de laboratorium-vintest. Een overzicht van de meetmethoden die reeds gebruikt werden om meer informatie te bekomen over de vastheid van ontwaterd rioolwaterzuiveringsslib, wordt gegeven door Neuschäfer en Döhler (1988).

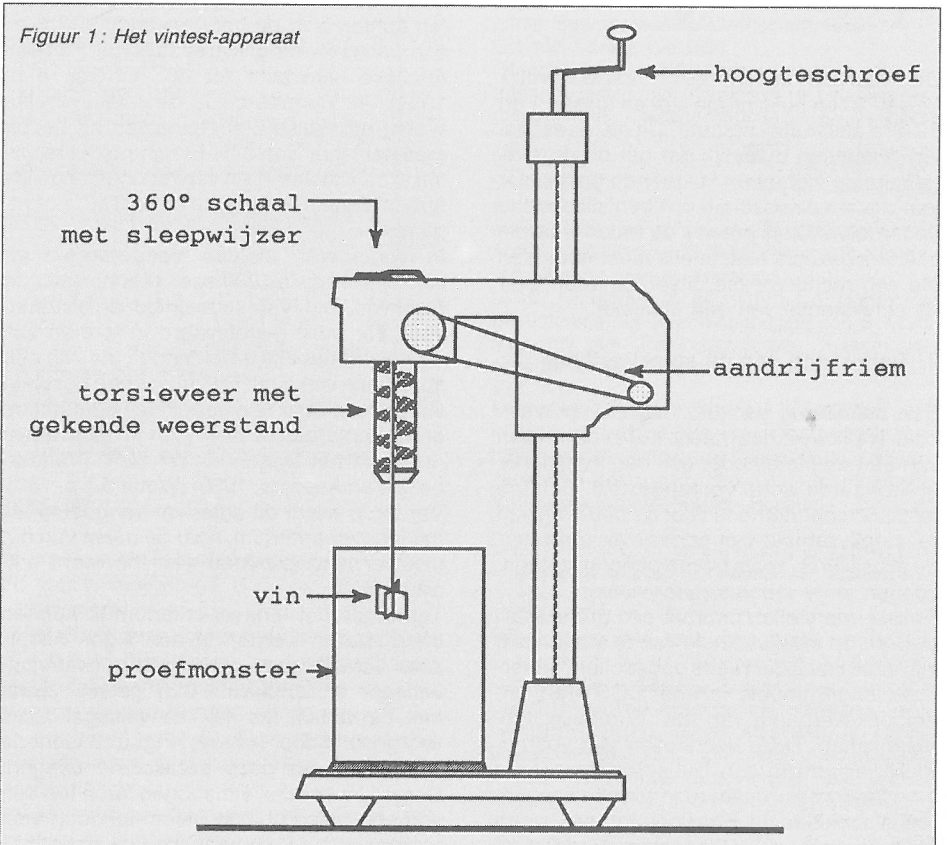
2. De vintest

De vintest is een gekende meetmethode uit de grondmechanica, waar zij vooral gebruikt wordt voor cohesieve kleigronden. De laboratorium-vintest werd reeds herhaaldelijk gebruikt in onderzoek naar de stortbaarheid van rioolwaterzuiveringsslib (Gay e.a., 1981, Möller e.a., 1985, Otte-Witte, 1989). De apparatuur is in hoge mate gestandaardiseerd. Figuur 1 toont de opstelling van de laboratorium-vintest.

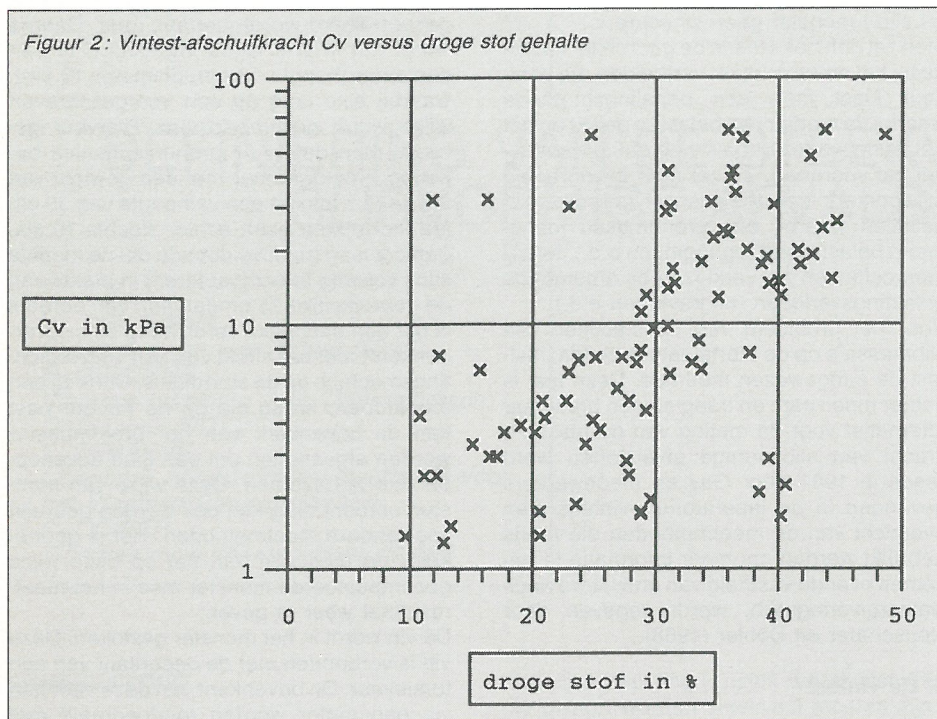
Recent werd ook de monstervoorbereiding gestandaardiseerd (Loll e.a., 1989). Een slibmonster wordt verdeeld tot een maximale agglomeraat-grootte van ca. 10 mm, wat

gecontroleerd wordt met een zeef. Daarna wordt het in drie lagen ingebouwd in een container (hoogte 12 cm, diameter 10 cm), waarbij elke laag op een voorgeschreven wijze wordt gecompacteerd. Hiervoor gebruikt men de uit de grondmechanica bekende Proctor-hamer met een gewicht van 2,5 kg (5,5 lbs) en een valhoogte van 30 cm (12 inch). Men geeft echter slechts 10 slagen per laag (ruim voldoende om de meeste slibs volledig te compacteren) in plaats van de gebruikelijke 25 omdat men van oordeel is dat een dergelijke verdichting beter overeenkomt met het effect van een vuilverdichtingsmachine op de stortplaats. Dank zij een afneembare kraag die op de houder past kan de bovenkant van het proefmonster worden afgesneden om een glad bovenoppervlak te bekomen. Deze wijze van monstervoorbereiding kan ook worden gebruikt voor andere meetmethoden. Het is gebruikelijk de dichtheid van het op deze wijze gecompacteerd monster mee in het meetresultaat weer te geven.

De vin wordt in het monster gestoken. Deze vin is verbonden met de onderkant van een torsieveer. De bovenkant van deze veer kan via een motor worden rondgedraaid met constante snelheid (10° per minuut). Hierdoor wordt een steeds groeiend moment overgedragen op de vin. De grootte van dit moment kan berekend worden uit de af te lezen torsiehoek (aantal graden verdraaiing tussen boven- en onderkant van de veer). Op een bepaald ogenblik zal de kracht op de vin voldoende groot zijn om de vin in het slib rond te draaien. Daardoor verkleint opnieuw de torsiehoek. De maximale torsiehoek wordt via een sleepwijzer vastgehouden. Hieruit wordt de afschuifkracht van het slib berekend. Op elk proefmonster, verdicht op de boven beschreven gestandaardiseerde



Figuur 2: Vintest-afschuifkracht Cv versus droge stof gehalte



wijze, worden drie metingen uitgevoerd. Het gemiddelde van de drie uitkomsten wordt weergegeven als meetresultaat.

Van diverse waterzuiverings- en drinkwatersliben werden het droge stof-gehalte en de vintest-afschuifweerstand bepaald (figuur 2). Het droge stof-gehalte werd bepaald door een bepaalde hoeveelheid slib met gewicht M_n te drogen bij 105°C tot constant gewicht M_d en het resultaat uit te drukken als:

$$\% \text{ droge stof} = \frac{M_d}{M_n} \times 100\%.$$

De waarden schommelen respectievelijk tussen 10 en 50% droge stof en tussen 1 en 60 kPa afschuifweerstand. Uit deze resultaten is meteen duidelijk dat het droge stof-gehalte op zich geen voldoende parameter kan zijn om de vastheid van een slibsoort te beoordelen. Dit is precies de reden waarom er wordt gezocht naar snelle meetmethoden die een rechtstreekse uitspraak doen over de consistentie van een afvalstof.

3. Definiëring van de steekvastheid

Een definiëring van het begrip steekvastheid impliceert dat, naast het omschrijven van een meetmethode, ook een numerieke grenswaarde wordt vooropgesteld. Een objectieve meetmethode voor de bepaling van de steekvastheid van cohesieve, ontwaterde slibben wordt, zoals boven uiteengezet, gevonden in de laboratorium- vintest.

Enkele voorstellen omtrent een grenswaarde voor de steekvastheid van te storten slib zijn in de literatuur reeds opgedoken, ondermeer onder impuls van het COST-681 onderzoeksverband van de Europese Gemeenschap. Deze voorstellen zijn voornamelijk afkomstig van Duitse onderzoekers en worden geformuleerd in termen van vintest-afschuifkracht. Een voorstel van Gay en medewerkers (1981) bedroeg 10 kPa en

werd vaak geciteerd. Recent meenden Loll en medewerkers (1989) dat 15 à 20 kPa meer geschikt was, dit op basis van stort-experimenten met rioolwater-zuiverings-slib en huisvuil.

Bij de interpretatie van dergelijke normvoorstellen mag men niet vergeten dat de verwerkbaarheid van brijige afvalstoffen in de eerste plaats bepaald wordt door de gebruikte storttechniek (gemengd met huisvuil / op industriële stortplaatsen / mono-storten). Ook de relatieve hoeveelheid verwerkt slib ten opzichte van de totale afvalaanvoer is van wezenlijk belang. De Duitse voorstellen richten zich op het gezamenlijk storten van waterzuiverings-slib en huisvuil, met een relatieve slibvracht tot 30 % (Gay e.a., 1981). In Vlaanderen is de relatieve slibvracht op klasse 2-stortplaatsen op heden meestal lager dan 5%. Er zijn ook verschillen in storttechniek en verwerkingsmogelijkheden tussen klasse 2- en klasse 1-stortplaatsen.

In Vlaanderen stelden Vanderborcht en Ansoms reeds in 1988 een criterium voor de steekvastheid van industriële afvalstoffen voor. Dit werd gedefinieerd in termen van droge stof-gehalte en indringdiepte van een specifieke valkegel. Een uitvoerige beschrijving van de door hen gebruikte testmethode en het criterium is te vinden in een recent artikel in het tijdschrift 'WATER' (Vanderborcht en Ansoms, 1990) (Water 52, p. 180). Verderop wordt dit criterium aangeduid als het Indaver-criterium, naar de naam van het afvalverwerkingsbedrijf waar het werd ontwikkeld.

Ten einde het Indaver-criterium te kunnen interpreteren werden in een eigen onderzoek verschillende slibmonsters (waterzuiverings- en drinkwaterslib) getest, zowel met de vintest als met de valkegel zoals voorgesteld door Indaver. Figuur 3 toont de resultaten van deze parallele metingen. Dergelijke parallele metingen laten toe een verband tussen beide meetmethoden vast te leggen. In de grondmechanica is het trou-

wens gebruikelijk penetratietesten te iken aan testen die een meer directe waarde van de afschuifkracht opleveren, zoals bijvoorbeeld de vintest.

De indringdiepte d kan worden omgerekend naar een valkegel draagkracht P volgens:

$$P = G / \pi \cdot (d \cdot \text{tg } \alpha)^2$$

met: G = gewicht van de kegel
 α = halve hoek van de kegelpunt

Voor de Indaver-penetratietest herleidt deze formule zich tot:

$$P_{\text{Ind}} = 985 / d^2 \text{ (in kPa als in mm)}$$

Om het verband tussen P_{Ind} en C_v te bepalen werden de logaritmische waarden van beide grootheden beschouwd. Deze methode past beter voor de kleinere consistentiewaarden. Het grootste deel van de uitgevoerde metingen waren in dit kleine-waardegebied geconcentreerd en het is ook precies dit gebied dat ons meest interesseert met het oog op een normering van het begrip steekvastheid.

Het verband tussen P_{Ind} en C_v kan, op basis van de uitgevoerde metingen, als volgt worden uitgedrukt:

$$\log P_{\text{Ind}} = 0,47 + \log C_v$$

of: $\log C_v = -0,47 + \log P_{\text{Ind}}$

Omgerekend geeft dit:

$$P_{\text{Ind}} = 2,95 \cdot C_v \quad (3)$$

$$\text{of: } C_v = 0,34 \cdot P_{\text{Ind}} \quad (4)$$

Figuur 4 geeft een grafiek van P_{Ind} en C_v in logaritmische coördinaten, samen met de bekomen regressielijn en het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor een schatting van C_v op basis van P_{Ind} (of omgekeerd). De correlatie-coëfficiënt voor het verband tussen $\log(P_{\text{Ind}})$ en $\log(C_v)$ bedroeg 0,92. Dit wijst op een significant statistisch verband tussen de meetresultaten bekomen met beide testen.

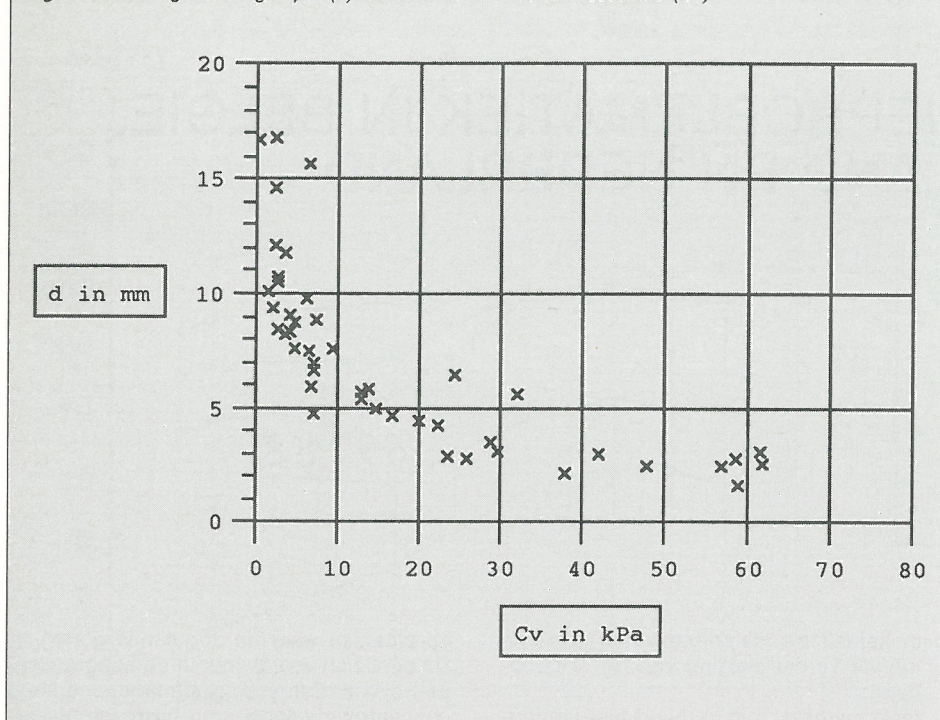
De voorspellingszekerheid voor een schatting van C_v op basis van P_{Ind} of omgekeerd is echter klein.

Deze voorspellingsbetrouwbaarheid wordt mede bepaald door de betrouwbaarheid van beide meettechnieken. De betrouwbaarheid van een meetmethode is uiteraard één van de belangrijke kenmerken bij de keuze van een meetmethode. Omdat elk meetresultaat het gemiddelde is van drie afzonderlijke metingen, kon de standaarddeviatie van de relatieve afwijkingen van elke meting ten opzichte van het meetresultaat als maat voor de betrouwbaarheid voor beide meetmethoden worden berekend. Deze standaarddeviatie bedroeg voor de vintest 11%, voor de valkegeltest 21%. De vintest toont zich dus als meer betrouwbare meetmethode, althans voor de hier beschouwde afvalstoffen.

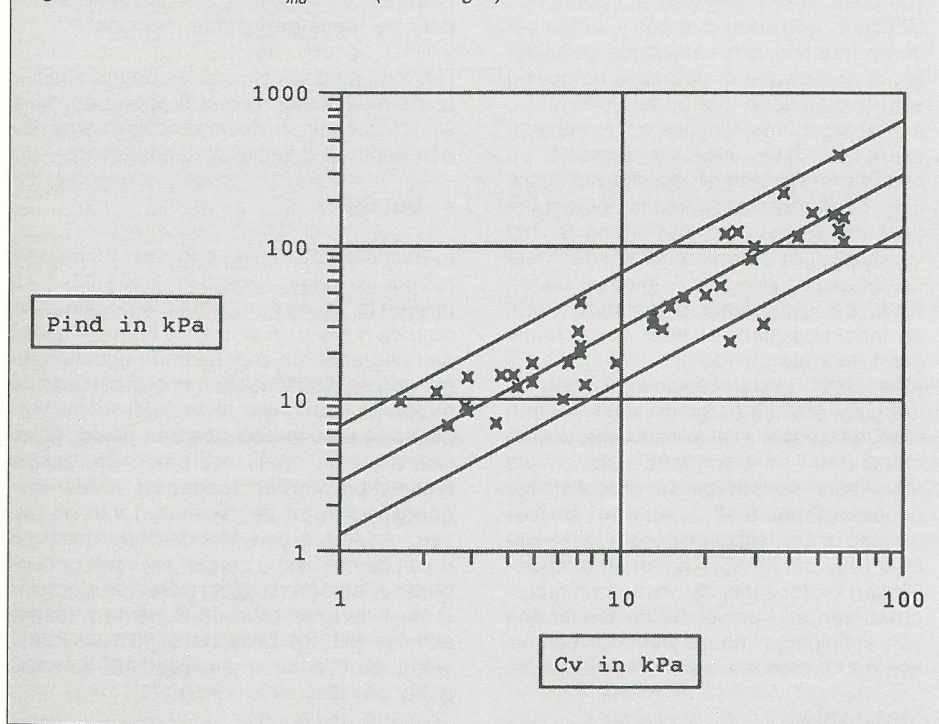
Uit vergelijking (4) kan afgeleid worden dat het Indaver-criterium (penetratie < 15 mm met de Indaver-kegel) overeenstemt met een vintest-afschuifkracht van ongeveer 2 kPa. Vanderborcht en Ansoms (1988, 1990) stellen dat afvalstoffen die aan hun criterium voldoen zonder problemen gestort kunnen worden.

Het belang van een algemeen aanvaard criterium dat toelaat op objectieve wijze de

Figuur 3: Valkegel-indringdiepte (d) versus vintest- afschuifweerstand (Cv)



Figuur 4: Verband tussen P_{ind} en C_v (43 metingen)



steekvastheid van een afvalstof te bepalen kan niet genoeg benadrukt worden. Specifiek voor drinkwater- en waterzuiverings-slib wordt door de programmagroep van het SVW (1) een voorlopige richtwaarde voorgesteld van 5 kPa afschuifkracht gemeten met de gestandaardiseerde vintest. In een volgende onderzoeksfase zal dit criterium verder worden onderbouwd en eventueel worden aangepast. Belangrijk bij dit alles is de brede consensus van de betrokken partijen.

(1) De SVW programmagroep 'Slib en bodembeheer' omvat vertegenwoordigers van OVAM, AWW, PIDPA, VMW, VMZ, SCK, IHE en PIH.

BESLUIT

De steekvastheid van slibvormige afvalstoffen wordt vastgelegd door het begrip afschuifkracht.

De afschuifkracht dient te worden bepaald op slibmonsters die op een welbepaalde, gestandaardiseerde wijze verdicht worden. Wegens de complexiteit en de lange tijdsduur van de triaxiaaltest wordt de voorkeur gegeven aan de laboratorium-vintest als meetmethode.

De vintest is een betrouwbare, relatief eenvoudige en in hoge mate gestandaardiseer-

de meetmethode. Het gebruik van de vintest heeft als bijkomend en belangrijk voordeel dat de harmonie met ontwikkelingen op dit gebied in EG-verband gewaarborgd is. Snellere bepalingsmethoden kunnen door parallelle metingen met de vintest vergeleken worden. Dit werd in dit artikel besproken voor de valkegel-test.

Als voorlopig steekvastheids-criterium voor waterzuiverings- en drinkwaterslib wordt een minimale vintest-afschuifkracht van 5 kPa voorgesteld.

W. DIELTJENS
SVW
Mechelsestweg 64,
2018 Antwerpen

P. GEUZENS
(SCK) V.I.T.O.
Boeretang 200,
2400 Mol

L. DEBAENE
OVAM
K. De Deckerstraat 22-26,
2800 Mechelen

P. OCKIER
VMM
A. van de Maelestraat 96,
9320 Erembodegem
nu werkzaam bij Aquafin,
Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar

Literatuurlijst

- CRAIG, R.F. (1978) Soil Mechanics (2nd edition). Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- GAY, CH.G., HENKE, K.F., RETTENBERGER, G., TABASARAN, O. (1981) Standsicherheit von Deponien für Hausmüll und Klärschlamm. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 14, E. Schmidt Verlag, Bielefeld.
- GEUZENS, P. (1989) Vergelijkende studie betreffende bepalingsmethoden van slibstabiliteit en rheologische eigenschappen. SVW-rapport 1989/1, Studiecencentrum voor Water.
- GEUZENS, P. en DIELTJENS, W. (1991) Presentation of a Research Project on Sludge Consistency. In: L'HERMITE, P. (samensteller) Treatment and Use of Sewage Sludge and Liquid Agricultural Wastes. Elsevier Science Publishers Ltd., Barking, Essex, Engeland.
- LOLL, KASSNER, KÖHLHOFF, e.a. (1989) Die Bestimmung der Deponierfähigkeit von Schlämmen mit der Referenzmethode 'Laborflügel-scherfestigkeit'. Korrespondenz Abwasser, 8/89, 903-908.
- MÖLLER, U., GAY, CH.G., KASSNER, W., KÖHLHOFF, D., LOLL, U., OTTE-WITTE, R. (1985) Neudefinition der Deponierfähigkeit von Abwasserschlämmen, Teil 1. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 6, Bochum.
- NEUSCHÄFER, U. en DÖHLER, C. (1988) Einbaufähigkeit und Befahrbarkeit von Abwasserschlämmen. Abwassertechnik, heft 2, blz. 12 e.v.
- OTTE-WITTE, R., 1989, Influences on the mechanical properties of sewage sludge for disposal to landfill. In: A.H. Dirkwager & P. l'Hermite (samenstellers) Sewage Sludge Treatment and Use (EUR 11918), Elsevier, blz. 307-324.
- VAN DER BORGHT, B. en ANSOMS, R. (1988) Steekvastheid van industriële afvalstoffen. Technivisie, nr. 116, 16 november 1988. 6-7.
- VAN DER BORGHT, B. en ANSOMS, R. (1990) De meting van de steekvastheid van industriële afvalstoffen. Water, nr. 52. 180-184.