

# Verspreiding van vervuilde deeltjes door beregeningsinstallatie

Bert Vreman

Vreman Research, Godfried Bomansstraat 46, 7552 NT Hengelo, tel. 074-2594591, e-mail: [bert@vremanresearch.nl](mailto:bert@vremanresearch.nl), website: [www.vremanresearch.nl](http://www.vremanresearch.nl)

Een opdracht van Ans Bekkering (Provincie Groningen)

## 1. Inleiding

Akkerbouwers in het noorden van het land irrigeren hun akkers door water te pompen uit naburige sloten. Als het slib op de bodem van de sloot is vervuild is het nodig om te weten hoeveel van het vervuilde slib op de akker belandt door de beregeningsinstallatie.

## 2. Numerieke simulatie

Het onderzoek wordt aangepakt met numerieke simulatie van de turbulente stroming in de buurt van een pomputgang een halve meter boven de bodem van de sloot. Een typische sloot die een boer gebruikt is ongeveer drie meter breed en maximaal twee meter diep. Een middelgrote beregeningsinstallatie pompt  $50\text{m}^3$  water per uur uit de sloot en de pijpdiameter is ongeveer 10cm. Het slib op de bodem bestaat uit deeltjes met een diameter van 10micron, maar er zijn ook vervuilde zanddeeltjes aanwezig.

De simulaties betreffen een bassin met een oppervlakte van 1m X 1m en een diepte van 0.48m. Het bassin is gevuld met water en in het midden van het oppervlak aan de bovenkant wordt water weggezogen met een snelheid van 2m/s en een debiet van  $72\text{m}^3/\text{uur}$ . Dit correspondeert met een diameter van ongeveer 11cm van de pompond. In eerste instantie simuleren we met slibdeeltjes van 10micron.

De gebruikte simulatietechniek is large-eddy simulatie waarbij de belangrijkste turbulente wervels expliciet worden berekend en de kleinste geparametriseerd met een recent ontwikkeld model<sup>1</sup>. Er worden 400 000 gridcellen gebruikt en 320 000 deeltjes.

De krachten die op de deeltjes in de stroming werden meegenomen zijn de zogenaamde drag force en pressure force. We zullen resultaten presenteren zonder de zogenaamde liftforce, hetgeen de conclusies van dit rapport niet verzwakt, want we er is wel geverifiëerd dat deze derde force de deeltjes terug naar beneden duwt. De wrijving die de deeltjes op de bodem ondervinden van naburige solids wordt

---

<sup>1</sup> AW Vreman, An eddy-viscosity model for turbulent shear flow: algebraic theory and applications, Phys. Fluids 16, 3670-3681 (2004).

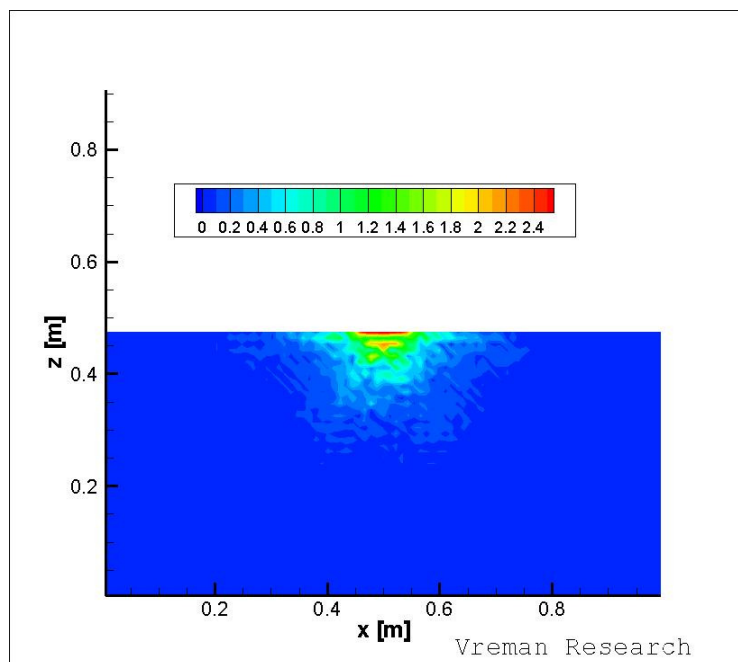
verwaarloosd, dus de deeltjes zullen gemakkelijker dan in werkelijkheid in beweging komen.

Om de hoeveelheid water in het bassin constant te houden wordt er water via twee open zijanten van het bassin toegevoerd, door middel van een laminair stromingsprofiel met een oppervlakte snelheid van minder dan 0.1 m/s. We simuleren dus een sloot zonder basisstroom. Dit betekent dat het water alleen door de pomp in beweging wordt gebracht. Het effect van basisstroming wordt behandeld in de discussie.

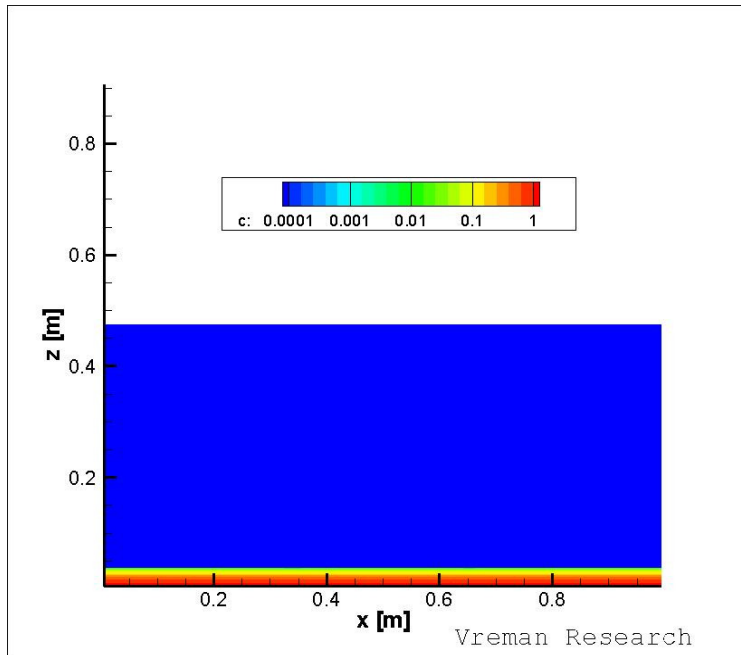
### 3. Resultaten

De simulaties zijn driedimensionaal, maar voor de presentatie van resultaten is gekozen voor een tweedimensionaal verticaal vlak in het midden van het bassin. Dit vlak is representatief voor wat er in de hele stroming gebeurt.

Figuur 1 laat de grootte van de watersnelheid zien op een representatief tijdstip. Het blijkt dat er vooral stroming binnen een straal van 15 cm van de pijp. Figuur 2 toont de deeltjes concentratie in een simulatie waarbij de deeltjes aan het begin van de simulatie allemaal op de vlakke bodem liggen. Het blijkt dat er niets gebeurt; alle deeltjes blijven op de bodem liggen. Het is onderzocht dat dit niet anders is als de deeltjes groter zijn, 0.5 mm bijvoorbeeld.



Figuur 1: Snapshot van de grootte van de snelheid in m/s. Pommond boven in het midden.

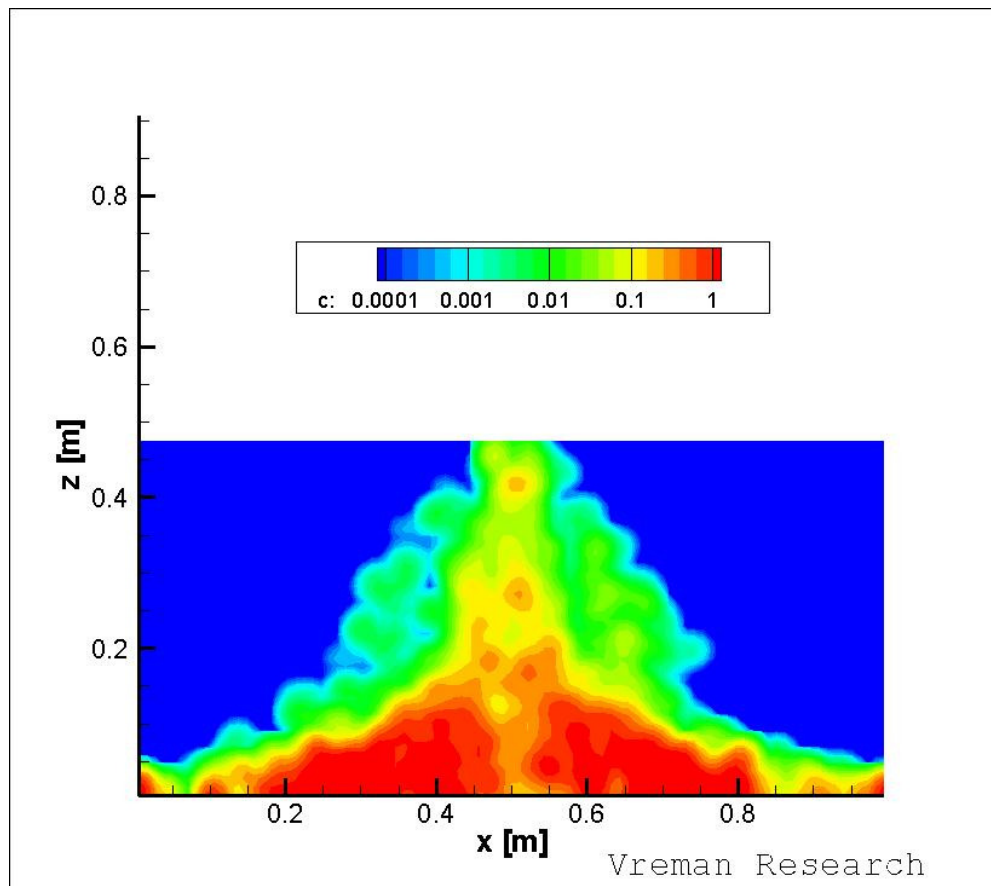


Figuur 2: Concentratie van deeltjes in de stroming startend met deeltjes in rust op de vlakke bodem. De deeltjesconcentratie op de bodem is genormeerd op 1.

Uiteraard is de afstand van de pomp tot de bodem wel belangrijk. We noemen deze afstand  $H$  en schatten nu de minimale waarde van  $H$  die nodig is om deeltjes niet op te tillen. In deze korte analyse wordt wrijving en dus ook turbulentie verwaarloosd (in de simulaties wordt wrijving wel meegenomen). We gaan uit van  $H$ , de pompsnelheid (2m/s) en dichtheden van water en slib (respectievelijk 1000 en 1500kg/m<sup>3</sup>). Volgens de wet van Bernoulli is er dan een onderdruk van  $0.5 \cdot 1000 \cdot 2^2 = 2000\text{Pa}$  in de pomppond. Er ontstaat dus een verticale drukgradient van ongeveer  $2000/H$ . Een deeltje op de bodem voelt daarom een opwaartse kracht van  $F_1 = 2000 \cdot V/H$ , waarbij  $V$  het volume van het deeltje is. Anderzijds oefenen de gravitatie en de standaard opwaartse kracht in stilstaand water een netto neerwaartse kracht uit van  $F_2 = (1500 - 1000) \cdot V \cdot g$ , waarbij  $g = 10\text{m/s}^2$ . Het deeltje blijft op de bodem liggen als  $F_2 > F_1$ . Het is eenvoudig uit te rekenen dat dit het geval is als  $H > 0.4\text{m}$ . De simulatie correspondeert met  $H = 0.48\text{m}$  en inderdaad de deeltjes blijven op de bodem.

In de praktijk kan het voorkomen dat door een bepaald effect de deeltjes al los zijn gekomen van de bodem. Deze opwoeling kan hebben plaatsgevonden door een uitwendige verstoring, bijvoorbeeld een buis die te dicht bij de grond is geweest bij het monteren, of doordat de pomp lucht in het water blaast waardoor veel turbulentie kan worden veroorzaakt, of door sterke onregelmatigheden van de bodem. Er is daarom een simulatie gedaan waarin de deeltjes aan het begin niet strak op de bodem liggen, maar zich bevinden in de eerste centimeter water boven de bodem. Het beginplaatje is nog zoals figuur 2, maar een typisch plaatje na enige tijd (36 seconden) is figuur 3. De concentratie gebruikt een exponentiële schaal en de beginconcentratie op de bodem is op 1 genormaliseerd. In de pomppond is de concentratie ongeveer 0.01 ofwel 1%. Aangezien de irrigatie veel langer dan 36 seconden duurt, betekent dit dat al de opgewoelde deeltjes waarschijnlijk via de pomp op de akker belanden. Het hangt er natuurlijk vanaf wat er gebeurt, maar het is onwaarschijnlijk dat het gebied van omwoeling groter is dan 1m<sup>2</sup> bodemoppervlak. Uitgaande van een sliblaag van 20cm dikte op de bodem zal er toch niet meer dan

0.2m<sup>3</sup> slib op de akker komen, mits de pompond niet wordt verplaatst. Dit correspondeert met ongeveer 200kg droge stof.



Figuur 3: Concentratie van deeltjes van een simulatie startend met deeltjes los van de bodem. Concentratie is ongeveer 0.01 bij de pompond en genormeerd op 1 dicht bij de bodem.

De verontreiniging van de slootbodem bevat verschillende metalen. Een voorbeeld van een meting betreft 300mg zink per kg droge stof. Stel de berekening bestrijkt een gebied van 1ha=10000m<sup>2</sup>. Dan komt er door de bovengenoemde omwoeling toch niet meer dan  $200 \cdot 300 / 10000 = 6$ mg zink per m<sup>2</sup> akker terecht.

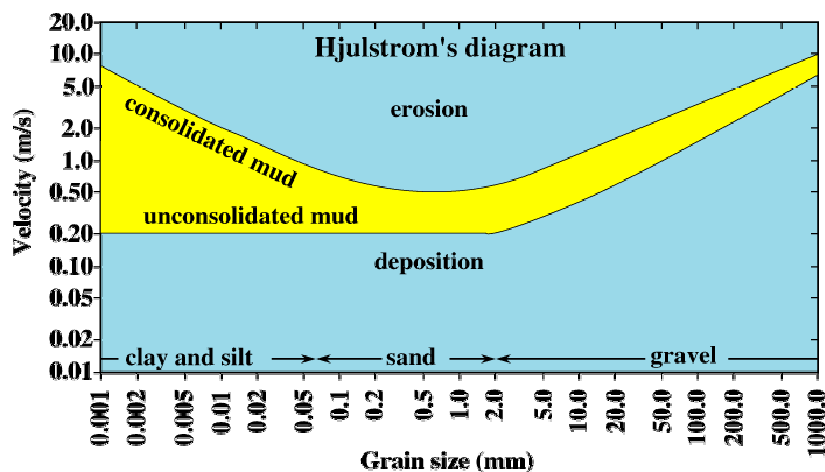
Als de pompond zich dicht boven de bodem bevindt (bijvoorbeeld 5cm), komt er mogelijk meer materiaal op de akker. Gezien de beperkte omvang van dit onderzoek is dit geval niet gesimuleerd. Een ruwe schatting levert echter het volgende, uitgaande van een zog-tangent van 0.1. Dan wordt het standaard aanstromingsprofiel pas verkregen op  $0.5 / 0.1 = 5$ m verderop aan weerskanten. Het relevante bodemoppervlak is dan mogelijk  $2 \cdot 5 \cdot 3 = 30$ m<sup>2</sup>, ervan uitgaande dat de sloot 3m breed is. Dit betekent dat er 30 keer zoveel materiaal op de akker terecht zou kunnen komen, 180mg zink per m<sup>2</sup> volgens dit voorbeeld.

#### 4. Discussie

Het is enigszins verrassend dat de deeltjes zich zo weinig laten beroeren door de pomp als ze niet in de directe nabijheid van de pompond verkeren. Dit sluit echter wel aan bij twee resultaten door anderen verkregen. Recentelijk is gemeten wat het

bereik van een vis is die zijn prooi probeert te vangen door water met 0.5m/s naar binnen te zuigen. Het zuigbereik blijkt niet meer dan de diameter van de bek van de vis te zijn<sup>2</sup>. Een ander voorbeeld zijn simulaties van het weghalen van verontreiniging in zwembaden door middel van openingen die water wegzuigen. Het effect van die zuiginstallaties op deeltjes buiten de directe omgeving van de opening blijkt slechts minimaal te zijn (terwijl het dichtbij de opening wel gevaarlijk kan zijn voor bijvoorbeeld spelende kinderen)<sup>3</sup>.

Het effect van een eventuele basisstroom in de sloot verdient ook nog aandacht. Hiervoor is het diagram van Hjulstrom nuttig (figuur 4). Dit betreft metingen in een stroming van 1 meter diep. Het blijkt dat deeltjes van 10micron pas loskomen van de bodem als de horizontale stromingssnelheid aan het oppervlak 2m/s is. Voor lagere snelheden worden de deeltjes namelijk tegengehouden door de wrijving met naburige solids op de bodem. Voor deeltjes van andere groottes moet de oppervlakte snelheid nog steeds minimaal 0.5cm/s seconde zijn. Aan de zijkanten van het simulatiebassin is de snelheid 0.1m/s op een halve meter hoogte (correspondeert ruwweg met 0.2m/s op 1 meter hoogte). Er vindt dus geen erosie plaats volgens diagram 4, ofwel de deeltjes op de bodem laten niet los aan de randen van het bassin, (ongeveer 0.5m van de pompmond).



Figuur 4: Hjulstrom diagram. De snelheid is de horizontale watersnelheid aan het wateroppervlak bij een waterdiepte van 1m. Het punt van toepassing is de bovenkant van het gele gebied. Voor een deeltje van 10 micron (0.01mm) is er dus een snelheid van minimaal 2m/s nodig om deeltjes van de bodem mee te voeren.

<sup>2</sup> SW Day, TE Higham, AY Cheer and PC Wainwright, Spatial and temporal patterns of water flow generated by suction-feeding bluegill sunfish *Lepomis macrochirus* resolved by Particle Image Velocimetry, *Journal of Experimental Biology* 208, 2661-2671 (2005).

<sup>3</sup>Zie <http://swimming.about.com/od/swimmingpoolsandspas/a/pooldrainsafety.htm>

## 5. Conclusies

Voor een redelijk sterke beregeningsinstallatie met een debiet van  $72\text{m}^3$  per uur is er geen reden om te veronderstellen dat er vervuild materiaal van de bodem van de sloot belandt op de akker, mits

1. de berekening plaatsvindt als de basisstroming laag is (zeg minder dan  $0.5\text{m/s}$  aan het oppervlak),
2. de pompond zich minimaal  $0.5\text{m}$  van de bodem en de oevers bevindt,
3. het materiaal niet in beroering is gebracht door ruw installeren van de pompond of door het blazen van water of lucht in de sloot.

Als aan de eerste twee voorwaarden is voldaan kan er wel vervuild materiaal op de akker komen, maar per lokatie van de pomp is deze hoeveelheid beperkt en geschat op maximaal  $6\text{mg}$  zink per  $\text{m}^2$  akker, mits er niet meer dan 1 pomplocatie wordt gebruikt per hectare. Als aan de tweede voorwaarde niet is voldaan zou het relevante bodemoppervlak groter kunnen zijn door hoge watersnelheden dichtbij de bodem, waardoor het vooralsnog niet uitgesloten is dat er 30 keer zoveel op de akker terecht komt. Over dit laatste zou meer te zeggen zijn door extra simulaties te uit te voeren, maar deze passen niet meer binnen het huidige project.