



Sedimentatieproblematiek Steenplein

DEELRAPPORT 1 – FACTUAL DATA-RAPPORT STAALNAME



14_154

WL Rapporten

Sedimentatieproblematiek Steenplein

Deelrapport 1 – Factual data-rapport staalname

Plancke, Y.; Claeys, S.; Van Oyen, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Juni 2015

WL2015R14_154_1

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Claeyns, S.; Van Oyen, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Sedimentatieproblematiek Steenplein: Deelrapport 1 – Factual data-rapport staalname. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_154. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

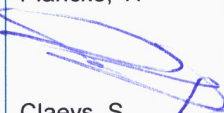


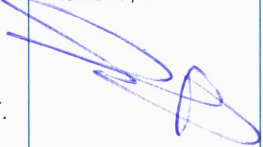
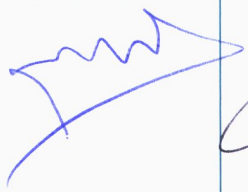

www.waterbouwkundiglaboratorium.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Sedimentatieproblematiek Steenplein: Deelrapport 1 – Factual data-rapport staalname		
Opdrachtgever:	Stad Antwerpen	Ref.:	WL2015R14_154_1
Keywords (3-5):	Monitoring, Sedimentatie, Schelde-estuarium, Sedimenteigenschappen		
Tekst (p.):	15	Bijlagen (p.):	1
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input checked="" type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf: -	
	<input type="checkbox"/> Nee	<input type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur Plancke, Y. 	Revisor Van Oyen, T.  Van Hoestenbergh, T. 	Projectleider Plancke, Y. 	Coördinator Studie & Advies Verwaest, T. 	Afdelingshoofd Mostaert, F. 
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	23/02/2015	Conceptversie	Plancke, Y.; Claeys, S.
2.0	27/02/2015	Inhoudelijke revisie	Van Hoestenbergh, T.; Van Oyen, T.
3.0	20/05/2015	Revisie opdrachtgever	Van Herck, M.
4.0	03/06/2015	Definitieve versie	Plancke, Y.

Abstract

Ter hoogte van het Steenplein wordt sinds een 4-tal jaren een snellere sedimentatie vastgesteld ter hoogte van de pontons. Nadat begin 2014 deze zone met onderhoudsbaggerwerken op diepte (-6m TAW) is gebracht, werd na enkele maanden een sedimentatie van ca. 3 m vastgesteld. Daarop is vanuit de stad Antwerpen het Waterbouwkundig Laboratorium de vraag gesteld op welke wijze deze sedimentatie kan verwijderd worden en hoe deze sedimentatie kan voorkomen worden.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van de sedimentkarakteristieken van de stalen bekomen via bemonstering (via Beeker-sampler) van de aanwezige sedimenten. Deze resultaten moeten toelaten inzicht te verkrijgen in de opbouw van de afgezette sedimenten (type sediment, sterkte-opbouw).

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	II
Lijst van de figuren	III
Dankwoord.....	1
1. Situering	2
2. Methodologie	3
2.1. Studiegebied	3
2.1.1. Meetlocatie.....	3
2.1.2. Meetomstandigheden.....	3
2.2. Meettechnieken.....	5
2.2.1. Beeker-sampler.....	5
2.2.2. Bepaling korrelgrootte.....	5
2.2.3. Organisch materiaal	6
2.2.4. Bepaling densiteit.....	6
2.2.5. Bepaling reologie	6
3. Resultaten	8
3.1. Korrelgrootte	8
3.2. Organisch materiaal	9
3.3. Densiteit	10
3.4. Reologie	11
4. Mogelijke oplossingsrichtingen.....	12
4.1. Verkenning “mixers”	13
5. Referenties	15
6. Bijlage.....	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht staalname-punten.....	4
Tabel 2 – Overzicht verschillende fases en bijbehorende temperaturen.....	6
Tabel 3 – Overzicht verschillende parameters mixers.....	13

Lijst van de figuren

Figuur 1 - Luchtfoto van het studiegebied, met detail van de 3 bemonsteringslocaties (bron: Google Earth)	3
Figuur 2 – Ponton Steenplein (links) en detail droogvallend sediment tussen ponton en kaaimuur (rechts)	4
Figuur 3 – Beeker-sampler (links) en detail snijkop (rechts)	5
Figuur 4 – Mastersizer 2000 (links), pyknometer (midden) en reometer (rechts)	6
Figuur 5 – Bemonsteringsbuizen Beeker-sampler na monsternamen (links) en detail reometer (rechts)	8
Figuur 6 – Korrelgrootte (D_{50} , met foutenbalk resp. D_{35} en D_{65}) van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters	9
Figuur 7 – Porositeit en organisch materiaal van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters	10
Figuur 8 - Densiteit van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters	10
Figuur 9 – Peak Shear Stress (@ 1rpm) van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters	11
Figuur 10 – Bingham Shear Stress van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters	11
Figuur 11 – Voorbeeld Siltscreen (bron: http://www.geopex.com/default_bestanden/Slibscherp.htm)	12
Figuur 12 – Principe opening in combinatie met stroomgeleide wand (rood)	13
Figuur 13 – Overzicht watersnelheid gegenereerd door propeller (zowel in diepte/langs als in breedte/dwars) (boven: Flygt 4870 midden: Flygt 4530 onder: Flygt 4460)	14
Figuur 14 – Verloop schuifspanning i.f.v. de tijd (deelstaal Midden-Oost 40-50 cm)	B1
Figuur 15 – Verloop schuifspanning i.f.v. de tijd (deelstaal Midden-Oost 40-50 cm) (detail)	B1

Dankwoord

Vooreerst dient de opdrachtgever bedankt te worden voor het faciliteren van de metingen ter hoogte van het Steenplein. Dankzij deze inspanningen konden de bemonsteringen probleemloos worden uitgevoerd, zonder interferentie van nieuwsgierigen.

De voorbereiding en het uitvoeren van de bemonstering gebeurde door een aantal enthousiaste medewerkers (Ebi, Maarten, Glenn, Ivo) die expliciet bedankt worden voor hun bijdrage aan dit project. Dit heeft ertoe bijgedragen dat de bemonstering succesvol kon worden uitgevoerd, binnen de beperkte tijdshorizon die maar beschikbaar was.

Tenslotte dienen ook de medewerkers van het sedimentlabo (Ellen, Frans, Lia, Mireille) bedankt te worden, die ervoor gezorgd hebben dat de verschillende analyses zeer snel werden uitgevoerd. Zonder hun bijdrage was de realisatie van dit factual data rapport onmogelijk geweest.

1. Situering

Ter hoogte van het Steenplein wordt sinds een 4-tal jaren een snellere sedimentatie vastgesteld ter hoogte van de pontons. Nadat begin 2014 deze zone met onderhoudsbaggerwerken op diepte (-6m TAW) is gebracht, werd na enkele maanden een sedimentatie van ca. 3 m vastgesteld. Daarop is vanuit de stad Antwerpen het Waterbouwkundig Laboratorium de vraag gesteld op welke wijze deze sedimentatie kan verwijderd worden en hoe deze sedimentatie kan voorkomen worden. Naar aanleiding van een verkennend overleg werden volgende stappen voorgesteld:

1. Inzicht verkrijgen in opbouw sedimentatie (type sediment, sterkte-opbouw)
2. Verwijderen sediment
3. Opvolgen snelheid van sedimentatie
4. Voorstel voor duurzaam onderhoud (propeller, injectie baggeren, stroomgeleiding,...)

Voorliggend rapport gaat in op de eerste stap en beschrijft de resultaten bekomen via bemonstering van de aanwezige sedimenten.

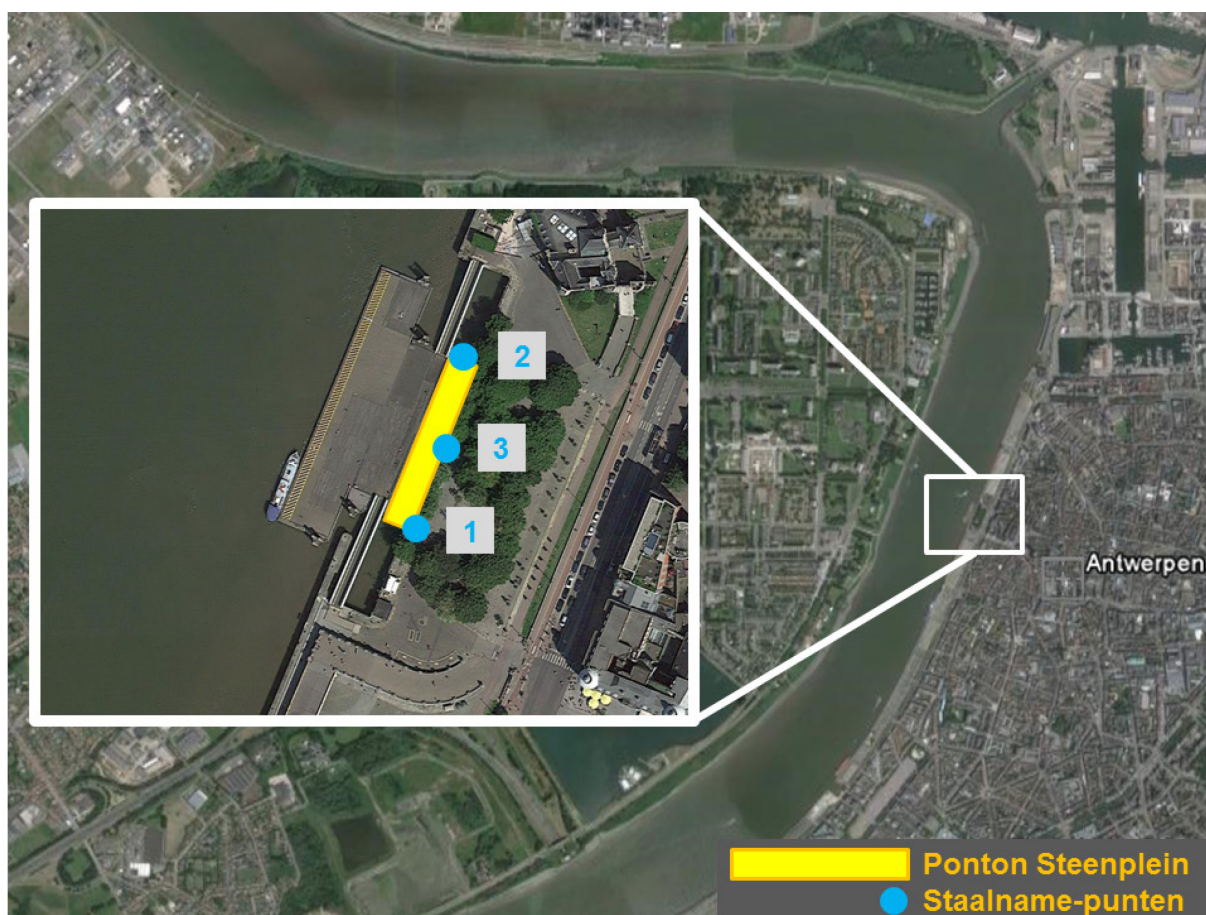
2. Methodologie

2.1. Studiegebied

2.1.1. Meetlocatie

De meetlocatie is gelegen ter hoogte van het Steenplein te Antwerpen (Figuur 1). Hier is een inham in de kaaimuur langsheen de Schelde waar pontons liggen (deels in de inham, deels op de Schelde) waar aan en van boord kan gegaan worden van schepen die hier afmeren. Aangezien de pontons vrij toegankelijk zijn, worden ze ook door toeristen gebruikt om dicht bij het water te kunnen komen.

Aangezien de sedimentatie in de inham sterker is in het zuidelijke deel (afgeschermd door stuk kaaimuur) dan het noordelijk deel, werden op 3 verschillende punten staalnames uitgevoerd.



Figuur 1 - Luchtfoto van het studiegebied, met detail van de 3 bemonsteringslocaties (bron: Google Earth)

2.1.2. Meetomstandigheden

De bemonstering werd uitgevoerd op woensdag 21 januari 2015. De weersomstandigheden waren bewolkt met een temperatuur van ca. 2°C. Het optimale moment voor het uitvoeren van de bemonstering is de periode rond laagwater, aangezien de sedimentlaag zich dan het dichtst onder het ponton bevond. Het voorspelde laagwater zou optreden om 11u40 en betrof een waterstand van -0,50 mTAW (bron: www.waterinfo.be). Uiteindelijk trad het laagwater iets vroeger op (11u15) en werd een minimum bereikt van -0,52 mTAW.

Na aankomst werden de Beeker-samplers voorbereid voor het nemen van 2 monsters. Uiteindelijk werd besloten een 3^e monster te nemen omwille de beperkte hoeveelheid sediment in het eerste monster. Tabel 1 geeft een overzicht van de staalname-punten. De positie van de punten is ook terug te vinden op Figuur 1.

Tabel 1 – Overzicht staalname-punten

Staal_ID	Tijdstip [locale tijd]	Positie	Top-sediment [mTAW]	Beschrijving staal
1	10u30	Z-O hoek	-0,5	Zeer compact, slechts 50cm indringing; relatief veel fijn zand
2	11u20	Midden N-kant	-2,7	Zeer compact, 100cm indringing; relatief veel fijn zand
3	12u20	Midden O-kant	-1,6	Zeer compact, 80cm indringing na gebruik hamer; relatief veel fijn zand



Figuur 2 – Ponton Steenplein (links) en detail droogvallend sediment tussen ponton en kaaimuur (rechts)

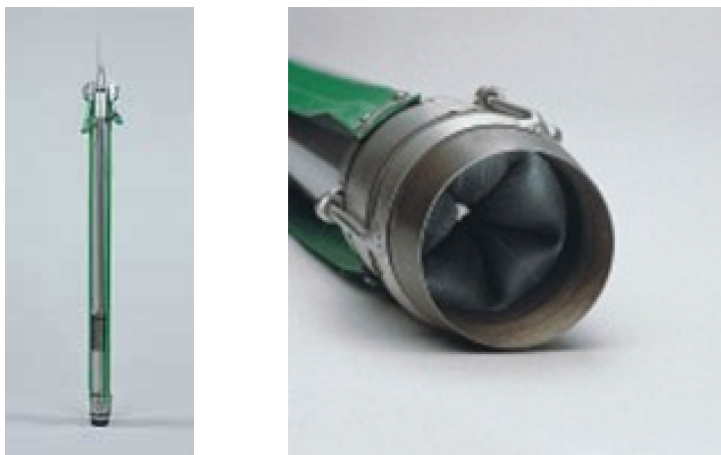
2.2. Meettechnieken

2.2.1. Beeker-sampler

Om ongeroerde monsters te nemen van de ondergrond onder water maakt men gebruik van de Beekersampler. De Beekersampler bestaat uit een snijkop, doorzichtige PVC-buis en een zuiger. Door het stationair ophangen van de zuiger en het neerdrücken van de behuizing, wordt een onderdruk gecreëerd in de buis die een ongeroerd staal neemt van de te onderzoeken bodem. Wanneer de buis in de bodem is geplaatst wordt de rubberband in de snijkop onder druk gezet door een compressor, waardoor het genomen monster zich in de buis blijft bevinden. Het toestel is geschikt voor monsternamen van slappe tot medium geconsolideerde bodems op relatief ondiepe diepten. Op de studielocatie bleek de ondergrond sterk gecompacteerd te zijn. Het voornemen om een staal van 2m lengte te nemen, kon daarom niet vervuld worden. Voor de laatste locatie (Midden-Oost) werd dan ook een kortere bemonsteringsbuis (100 cm) genomen, die volledig gevuld kon worden.

Nadat de bemonstering is uitgevoerd, wordt het monster opgedeeld in substalen van 10 cm, die vervolgens op volgende karakteristieken werden geanalyseerd:

- Korrelgrootte
- Organisch materiaal
- Densiteit
- Reologie

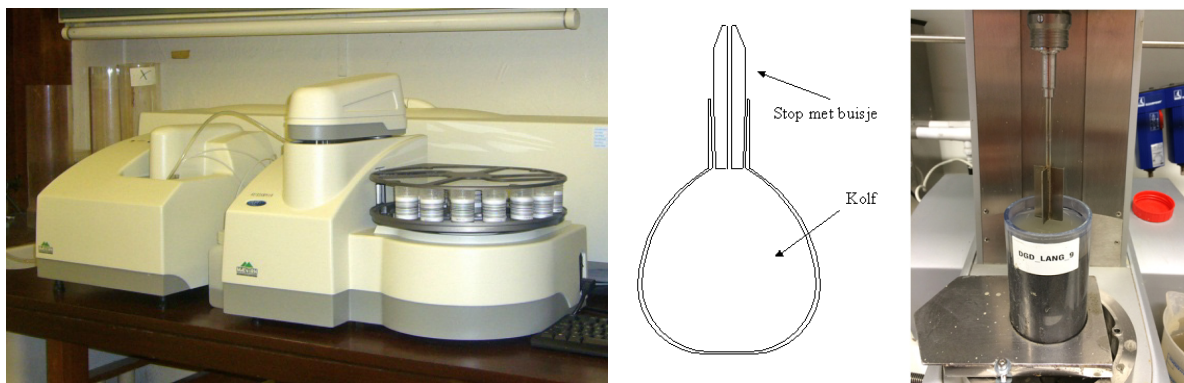


Figuur 3 – Beeker-sampler (links) en detail snijkop (rechts)

2.2.2. Bepaling korrelgrootte

De sedimentmonsters worden geanalyseerd op korrelgrootte met behulp van de Mastersizer 2000 (Figuur 4 - links). Dit toestel maakt gebruik van de laserdiffractie methode en is begrensd tot korrelgroottes van 2000 μm . Hiertoe werden de stalen eerst gefilterd op een zeef met maaswijdte 2000 μm . Om een analyse te kunnen uitvoeren moet er voldoende diffractie van de op het monster uitgestuurde laserstraal optreden. De hoeveelheid licht die onder invloed van scattering wordt afgebogen, wordt uitgedrukt als de obscuratiegraad. Opdat resultaten van de korrelanalyse betrouwbaar zouden zijn, werd vastgesteld dat een obscuratiegraad tussen 10% en 20% wenselijk is. De ervaring leert dat het toestel toelaat om met zeer kleine sedimentmonsters (tot volumes van 1 cm^3) te werken.

De analyse resulteert in een volledige korrelsamenstelling van het sedimentmonster. Hieruit kunnen de verschillende karakteristieke diameters afgeleid worden. Voor deze studie is gebruik gemaakt van de d_{10} , d_{35} , d_{50} , d_{65} en d_{90} .



Figuur 4 – Mastersizer 2000 (links), pyknometer (midden) en reometer (rechts)

2.2.3. Organisch materiaal

Het percentage organisch materiaal wordt bepaald met behulp van de PrepAsh 229. Dit is een droogoven met ingebouwde balans die nauwkeurig meet tot 0,0001 g en werkt bij temperaturen tot 1000 °C. De temperatuur wordt geleidelijk verhoogd, waarbij bepaalde fracties van het totale staal verbrand worden. Na elke fase wordt het gewicht geregistreerd. Op deze manier wordt de samenstelling van het slib bepaald op watergehalte, gehalte organisch materiaal en daarna het CaCO₃-gehalte. Het toestel werd ingesteld volgens de Nederlandse norm NEN 6621:1988 nl.

Tabel 2 – Overzicht verschillende fases en bijbehorende temperaturen

Temperatuur	105 °C	550 °C	800 °C
Verbrande materiaal	Water	Organisch materiaal	CaCO ₃

2.2.4. Bepaling densiteit

Aangezien de deelstalen quasi onvloeibaar waren, is besloten de densiteit te bepalen met behulp van een pyknometer (Figuur 4). Dit is een glazen instrument bestaande uit een kolf met een stop, waarvan het volume zeer nauwkeurig gekend is. Door de kolf te vullen met sediment van het deelstaal en vervolgens via een opening het eventueel overtollige sediment af te voeren, kan aan de hand van de gemeten nettomassa de densiteit bepaald worden.

2.2.5. Bepaling reologie

Om de reologische eigenschappen te bepalen van de substalen, wordt gebruik gemaakt van de reometer MCR301 (Figuur 4 - rechts). Hierbij wordt een vinproef uitgevoerd op elk deelmonster dat genomen werd met de Beekersampler. Het deelstaal wordt in het toestel geplaatst. Nadat een vin met kruisdoorsnede in het staal is neergelaten, roteert deze volgens een voorgeprogrammeerd protocol aan verschillende toerentallen door het staal. De weerstand die de vin ondervindt wordt continu geregistreerd. Hieronder vatten we het protocol kort samen, voor meer details verwijzen we naar Claeys *et al.* (in preparation).

De reometer proef wordt uitgevoerd met een lucht-gelagerde rotatie reometer. Er wordt gekozen voor een snelheid gecontroleerde test. De meting bestaat uit verschillende fasen:

- “Stress Growth Test” (SGT): Op een **ongeroerd** monster wordt een vaste draaisnelheid opgelegd (1 toer per minuut, @1rpm) en het nodige koppel, om deze omwentelingsnelheid te handhaven, wordt geregistreerd in de tijd (60 seconden). Deze test geeft een indicatie van de initiële weerstand die het monster vertoont bij de gekozen vervorming. Nadat een bepaalde vervormingshoek wordt overschreden zal het monster (indien een cohesief sediment) overgaan van een elastisch gedrag naar een plastisch gedrag. Deze overgang wordt waargenomen door het bereiken van een maximale schuifspanning (“peak shear stress”) waarna de shear stress weer afneemt en zal evolueren naar een evenwichtswaarde.. De keuze van de draaisnelheid = 1 toer/minuut werd experimenteel bepaald op slibstalen uit verschillende havens.

- “Zoeken van evenwichtspunten op een gehomogeniseerd staal”: Na de “stress growth test” wordt het monster homogeen (**geroerd**) gemaakt door met de vin aan hoge snelheid te draaien (1000 tr/min). Hierna wordt een gekozen draaisnelheid opgelegd en de evolutie van het nodige koppel wordt geregistreerd in de tijd (100 seconden). De evenwichtswaarde wordt geregistreerd. Opnieuw wordt het staal aan 1000 tr/min gehomogeniseerd en wordt een lagere constante draaisnelheid wordt opgelegd. Dit wordt herhaald voor volgende draaisnelheden (tr/min): 112; 56; 28; 14; 7 ; 4 ; 2; 0,5; 0,2. De bekomen evenwichtswaarden worden gebruikt voor het opmaken van de Evenwicht Vloei Curve (“Equilibrium Flow Curve (EFC)”). De evenwichtcurve (variatie van de evenwichtswaarden ten opzichte van draaisnelheid) geeft de evolutie weer van de mogelijke dynamische viscositeit van een cohesief staal. Een slibmonster vertoont meestal een vervloeiingsgedrag (“shear thinning”), wat betekent dat de dynamische viscositeit afneemt met toenemende vervormingsnelheid. De evenwichtsvloeicurve geeft een indicatie over de energie die nodig is om het slib in evenwicht te houden, d.w.z. zodanig in beweging brengen dat de aangroeisnelheid van slibaggregaten gelijk is aan de afbraaksnelheid van slibaggregaten. Om de variatie van de evenwichtsvloeicurve met 1 parameter te beschrijven beschouwen we het snijpunt van de evenwichtsvloeicurve met de horizontale aan de hand van een lineaire regressie van de data. Hierbij beschouwen we dus de evenwichtsweerstand die optreedt bij een initiële vervorming (draaisnelheid gelijk aan nul). Dit wordt ook de Bingham Shear Stress genoemd.

Door de lange analyse tijd (en kosten) wordt het protocol (Lang protocol: 1 SGT & 9 EFC draaisnelheden) soms beperkt uitgevoerd (“kort protocol”: 1 SGT & 3 EFC draaisnelheden;). De combinatie van het Lange en Korte protocol op de genomen monsters wordt zo gekozen dat er genoeg informatie wordt verkregen om het reologische gedrag te bepalen van een slib-kolom.

In bijlage is een voorbeeld opgenomen van de verschillende krommes die de ontwikkeling van de schuifspanning in functie van de tijd voor de verschillende rotatiesnelheden weergeven. De gepresenteerd krommes zijn deze van het deelstaal Midden-Oost 40-50 cm.

3. Resultaten

In de offerte was voorzien om 2 stalen van elk 200 cm te nemen, waarbij 50% van de deelstalen zouden geanalyseerd worden op de verschillende sedimentkarakteristieken. Aangezien tijdens de staalname duidelijk werd dat het sediment zeer sterk geconsolideerd bleek te zijn, was het onmogelijk om een volledige staalname van 200 cm te realiseren. Daarom werd besloten een derde staal te nemen, weliswaar met kortere bemonsteringsbuis (100 cm). Figuur 5 geeft een impressie van de stalen die werden genomen ter hoogte van het Steenplein.

Aangezien de totale hoeveelheid deelstalen lager was dan oorspronkelijk voorzien, is ervoor geopteerd om quasi alle deelstalen te analyseren op sedimentologische karakteristieken. In de volgende paragrafen worden de resultaten gepresenteerd. Hierbij worden de karakteristieken gepresenteerd over de verticale, waarbij het bovenste staal overeenkomt met het deelstaal nabij de overgang tussen het water en het sediment. Het bovenste staal betreft dus het sediment dat het meest recent werd afgezet.

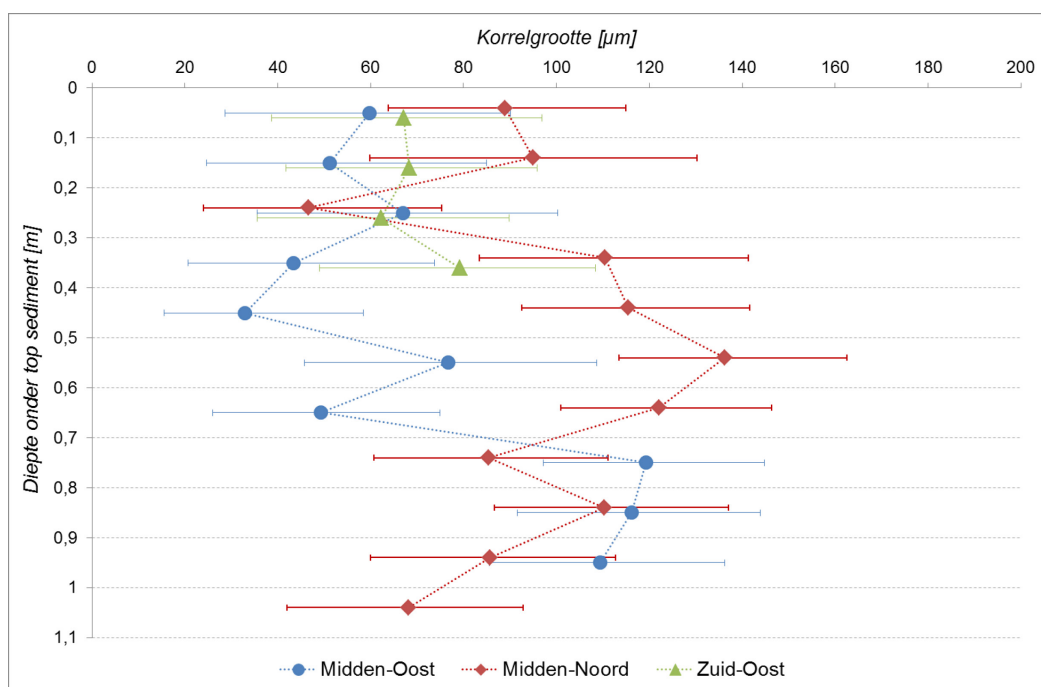


Figuur 5 – Bemonsteringsbuizen Beeker-sampler na monsternamen (links) en detail reometer (rechts)

3.1. Korrelgrootte

Figuur 6 geeft de korrelgrootte weer van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters. Hieruit blijkt dat het sediment grotendeels bestaat uit silt [2-63 μm] en fijn zand [63-125 μm]. De deelstalen uit het monster genomen ter hoogte van de noordelijke kant zijn over het algemeen zandiger dan de deelstalen uit de monster in het midden en het zuiden van het ponton. Dit zou kunnen verklaard worden door de sterkere stroming aan de noordelijke kant, dat niet afgeschermd is door het smalle stuk kaaimuur in het zuiden.

Per monster, is er tevens een (beperkte) variatie zichtbaar over de diepte, wat mogelijks kan toegeschreven worden aan een seizoenale variatie in getransporteerde sedimenten ter hoogte van deze locatie. Gelet op de dikte van de sedimentlaag (tot 6m) ten opzichte van de beperkte bemonsteringsdiepte is het echter zeer moeilijk uitspraken te doen over de sedimentatiesnelheden en alzo de ouderdom van de afgezette sedimenten in de bovenste bemonsterde sedimentlaag te bepalen.



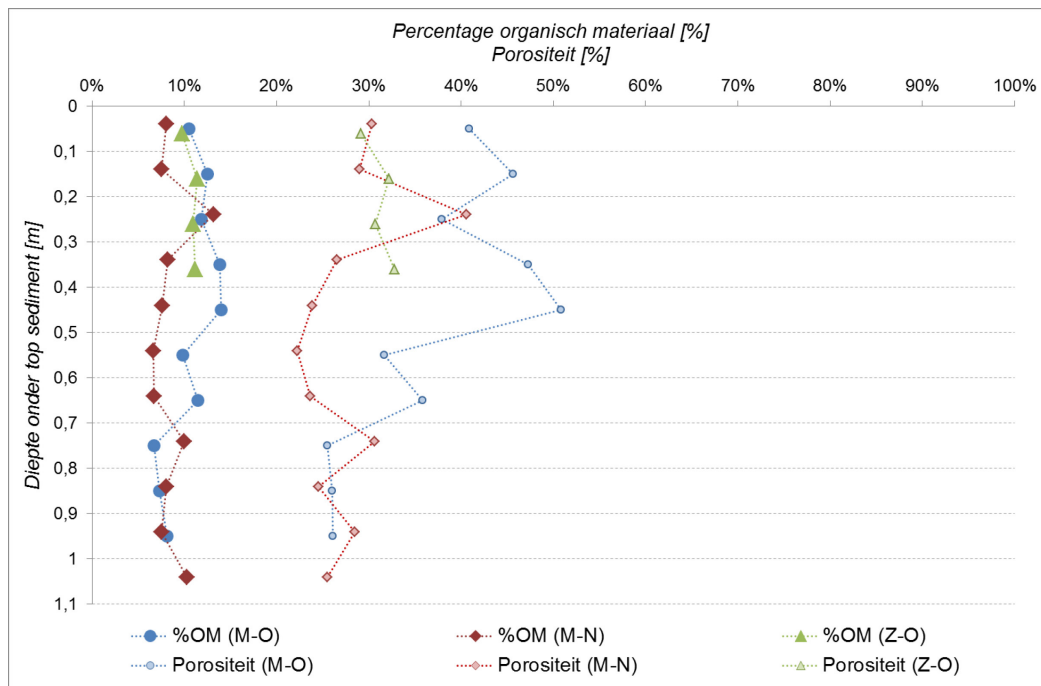
Figuur 6 – Korrelgrootte (D_{50} , met foutenbalk resp. D_{35} en D_{65}) van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters

3.2. Organisch materiaal

Figuur 7 geeft de porositeit en het percentage organisch materiaal weer van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters.

De porositeit van de deelstalen varieert tussen 20 en 50%, waarbij de kleinste porositeit voorkomt bij de deelstalen met een groter zandpercentage (monster Midden-Noord, 50-60 cm onder top sediment). De hoogste porositeit (50%) wordt teruggevonden in het deelstaal met de kleinste korrelgrootte (monster Midden-Oost, 40-50 cm onder top sediment), wat duidt op een tragere ontwatering van het afgezette fijnere sediment (wat in overeenstemming is met de verwachtingen).

Het percentage organisch materiaal van de verschillende deelstalen blijft beperkt tot ca. 10%. In tegenstelling tot de verwachting blijkt het afgezette sediment niet uit slibrijke specie te bestaan, maar eerder siltige en zandige sedimenten.

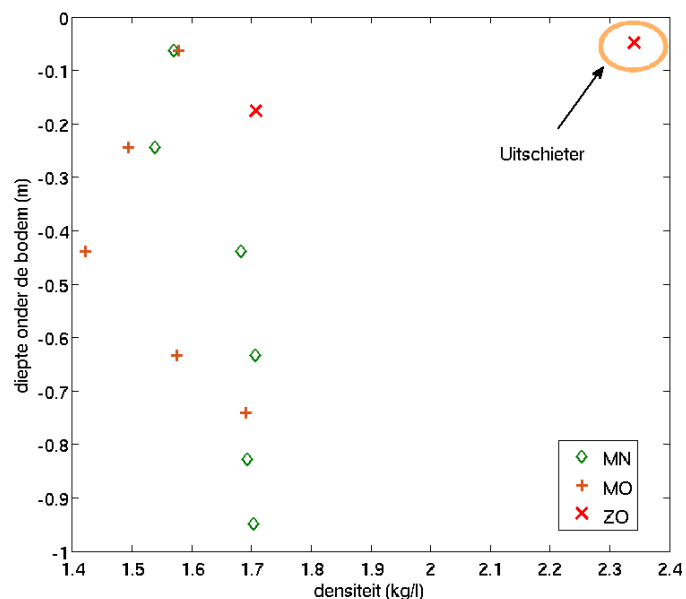


Figuur 7 – Porositeit en organisch materiaal van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters

3.3. Densiteit

Figuur 8 geeft de densiteit weer van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters. De densiteit varieert tussen 1,4 en 1,7 kg/l. De kleinste densiteit is terug te vinden bij het deelstalen met de kleinste korrelgrootte (monster Midden-Oost, 40-50 cm onder top sediment), wat bovenstaande bevestigt.

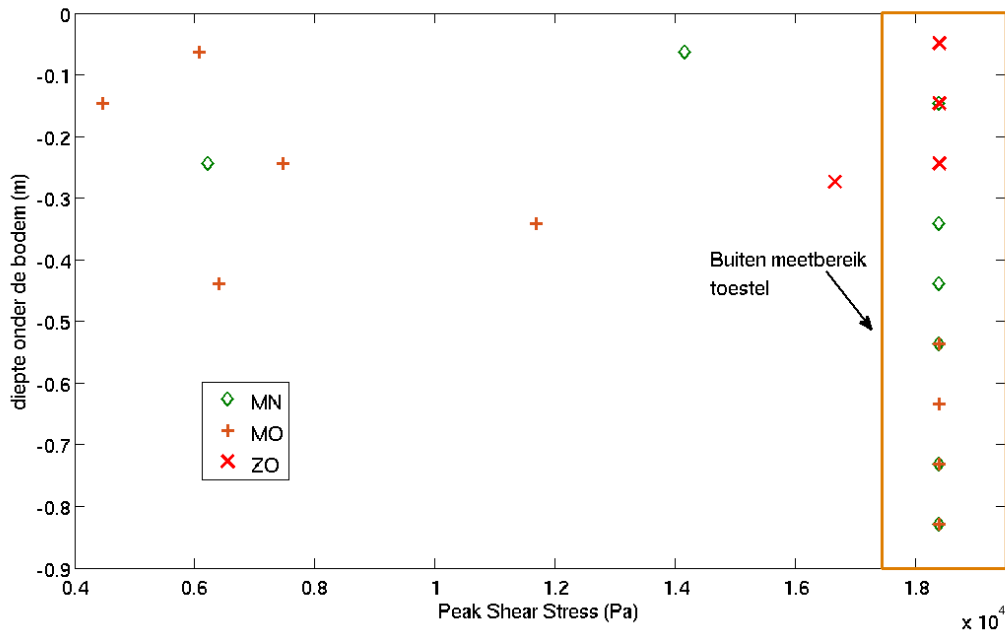
Voor de zandige deelstalen dient opgemerkt te worden dat de densiteit hier mogelijks overschat wordt, aangezien bij het gebruik van de pyknometer verondersteld wordt dat het overtollige sediment afgevoerd wordt via de stop en dat dit sediment eenzelfde densiteit heeft dan hetgeen dat in de kolf blijft. In de praktijk is gebleken dat vaak meer water via de stop afgevoerd wordt, waardoor de hoeveelheid sediment dat in de kolf achterblijft hoger is dan in het oorspronkelijke deelstaal en alzo ook de densiteit overschat wordt.



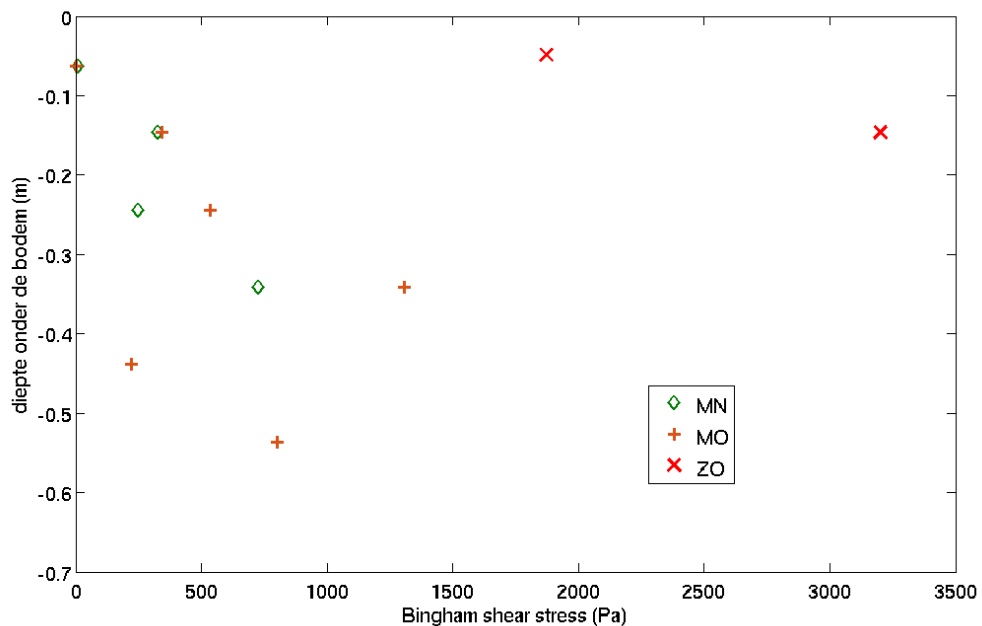
Figuur 8 - Densiteit van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters

3.4. Reologie

Figuur 9 en Figuur 10 geeft de reologische eigenschappen weer van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters. Tijdens de analyses bleek een groot aantal (> 50%) van de deelstalen dermate geconsolideerd te zijn, dat het uitvoeren van de proeven met de reometer niet opportuun was. Dit vertaalt zich in Peak Shear Stress waarden groter dan 18000 Pa, wat het maximum van de reometer is. Zoals in onderstaande figuren aangegeven vallen deze parameters buiten het bereik van het toestel en mogen deze dan ook niet gehanteerd worden (werkelijke waarde zal hoger liggen). Ook was het bepalen van de Bingham shear stress voor verschillende stalen niet mogelijk omdat het sediment te sterk was. Deze resultaten zijn niet opgenomen in de grafiek.



Figuur 9 – Peak Shear Stress (@ 1rpm) van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters

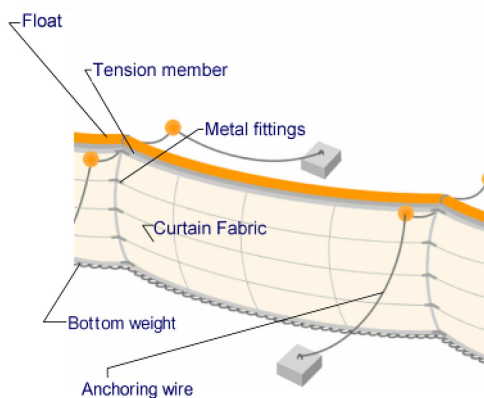


Figuur 10 – Bingham Shear Stress van de verschillende deelstalen uit de 3 monsters

4. Mogelijke oplossingsrichtingen

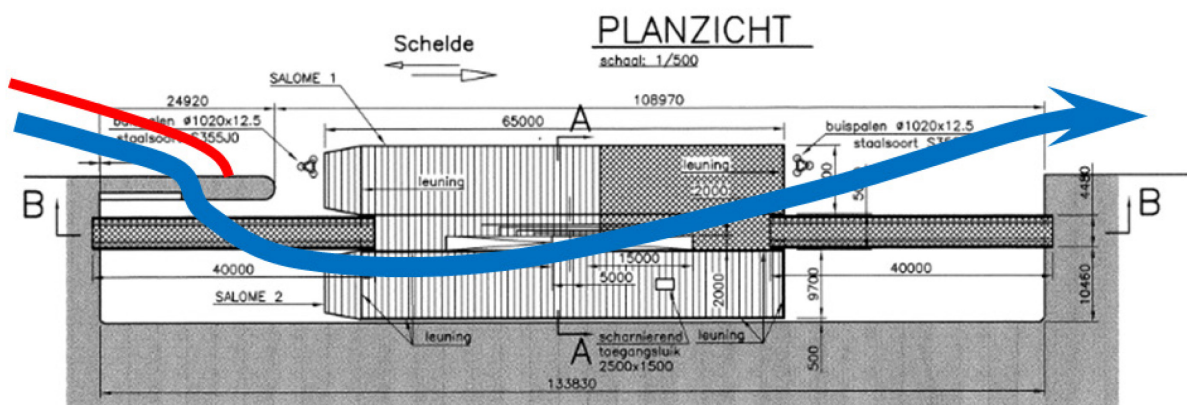
Op basis van de uitgevoerde metingen blijkt het afgezette sediment vooral fijn zanderig te zijn. Deze sedimenten worden aangevoerd vanuit de Schelde en kunnen bezinken in de inham ter hoogte van het Steenplein. Dit proces zal blijven plaatsvinden zolang er wateruitwisseling gebeurt tussen de inham en de Schelde. Om deze problematiek te reduceren, worden een aantal oplossingsrichtingen voorgesteld, die verder verkend kunnen worden:

- **Verplaatsen** van het **ponton** Salome 2. De sedimentatie is het sterkst in de zuid-oost hoek (opwaarts, kant Noorderterras) van de inham aangezien deze zone het minst aan stroming is blootgesteld. Uit peilingen is gebleken dat hier de minste waterdiepte beschikbaar is onder het ponton, en dat zich hier ook de sterkste ophoging voordoet. Door het verplaatsen van het ponton naar de Schelde-kant zal de sedimentatie enkel nog een probleem vormen voor het huidige verbindingsponton (aanzienlijk trager dan voor Salome 2), aangezien bij ponton Salome 1 de stroming voldoende sterk is om sedimentatie tegen te gaan.
- **Monteren** van “**mixers**” onder het **ponton** Salome 2. In het verleden zouden er onder het vorige ponton 2 mixers gemonteerd zijn geweest (pers.comm. Tom van Autgaerden) die op regelmatige tijdstippen geactiveerd werden en het afgezette sediment opnieuw in suspensie brachten. De efficiëntie van deze techniek bij zanderige sedimenten is niet gekend. Hierbij rijst de vraag of de afgezette sedimenten in de loop der jaren niet gewijzigd zijn (mogelijks vroeger slibrijker, doch geen data beschikbaar om dit te bevestigen/ontkrachten). In §4.1 wordt een verkennende berekening gemaakt over de invloedszone van deze techniek.
- **Reduceren** van de **sedimentuitwisseling** door het **plaatsen** van een “**siltscreen**”. Een siltscreen (Figuur 11) bestaat uit een drijvend element waaronder een scherm gemonteerd is dat vast verankerd is op de bodem. Aan de zijkanten kunnen eventueel geleiders geplaatst worden om een verticale beweging te begeleiden (bv. getij). Het scherm kan zowel semi-permeabel (voor water, niet voor sediment) zijn als deels (bv. bovenaan) open zijn zodat de water- en sedimentuitwisseling enkel hierdoor gebeurt. Op deze manier kunnen de sedimentrijkere onderste lagen buiten de inham gehouden worden. Hierbij is het belangrijk een zicht te hebben op de verticale verdeling van het sedimentconcentratie en wordt voorgesteld een verkennende meetcampagne uit te voeren waarbij de sedimentconcentratie nabij de bodem en nabij het oppervlak gelijktijdig gemeten worden.



Figuur 11 – Voorbeeld Siltscreen (bron: http://www.geopex.com/default_bestanden/Siibscher.htm)

- **Verhogen** van **stroming** doorheen inham door **opening** in kaaimuur. De inham wordt momenteel gekenmerkt door quasi geen stroming. Door het aanbrengen van een opening in de landtong van de kaaimuur aan de opwaartse kant, eventueel in combinatie met het plaatsen van stroomgeleide wand langs de Schelde-kant, kan de stroming bij eb in de inham verhoogd worden en kan een deel van het aangevoerde sediment terug afgevoerd worden naar de Schelde.



Figuur 12 – Principe opening in combinatie met stroomgeleide wand (rood)

4.1. Verkenning “mixers”

De haalbaarheid van de optie om mixers te plaatsen onder het ponton hangt samen met de effectiviteit van deze techniek om het sediment op te woelen. Op basis van een aantal rekenregels geldig voor schroefwerking bij schepen is alvast een eerste verkenning gemaakt over de invloedzone van deze techniek, alsook de snelheden in het water die hiermee gerealiseerd kunnen worden. De gebruikte formules (methode Steward) zijn afkomstig uit [Lam *et al.*, 2011], en de eigenschappen van de mixers (zie Tabel 3 – indien in de datafiches een range opgegeven is, werd een gemiddelde waarde genomen voor de berekening) zijn gebaseerd op 3 types “FLYGT” mixers van het merk Xylem (www.xylem.com).

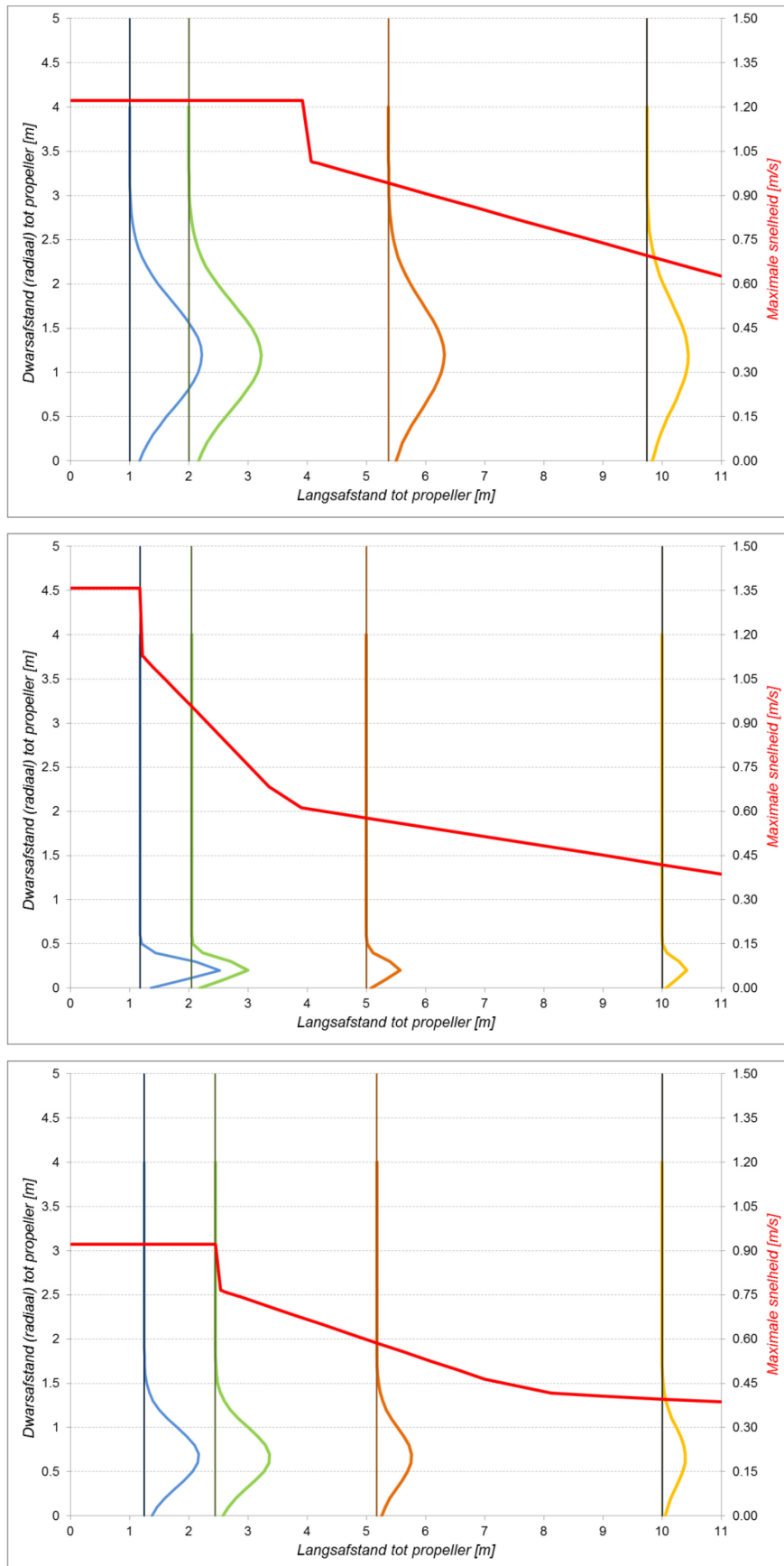
Tabel 3 – Overzicht verschillende parameters mixers

	Top-Entry Agitator Type 4870	Mid-size Mixer Type 4530	Low-speed Mixer Type 4460
Diameter propeller [m]	4,0	1,2	2,5
Rotatiesnelheid [rpm]	18	110	10 (geschat, geen info)
Stuwkracht [N]	13500	1500	3000
Snelheid nabij propeller [m/s]	1,22	1,36	0,92

In Figuur 13 is het verloop van de snelheid weergegeven gegeneerd door bovenstaande types van Flygt-mixers. De rode lijn geeft de maximale watersnelheid (rechter as) volgens de langsafstand (i.e. diepte onder propeller). De overige krommes geven het snelheidsverloop weer op een bepaalde afstand, volgens de radiale (dwars)afstand. Zo geeft de bovenste figuur (Flygt 4870) het snelheidsverloop weer op ca. 1m (blauw), ca. 2m (groen), ca. 5m (oranje) en ca. 10m (geel) van de propeller. Op 1m van de propeller wordt de maximale snelheid van 1,22 m/s bereikt op ca. 1,25m van de as van de propeller, terwijl ter hoogte van de as van de propeller (dwarsafstand = 0m) de snelheid nog ca. 0,20 m/s bedraagt.

In de breedte blijft de invloedzone beperkt tot enkele meters (groter bij mixers met groter diameter van de propeller), terwijl in de diepte de maximale snelheid geleidelijk afneemt. Op basis van deze eerste snelle benadering lijkt de invloedzone in de diepte voldoende te zijn om recent afgezet sediment (niet-gecompecteerd) in suspensie te brengen bij laagwater), doch blijkt de invloedzone in de breedte eerder beperkt te zijn, waardoor meerdere toestellen noodzakelijk zullen zijn.

Indien deze optie verder zou worden verkend, is het noodzakelijk een gedetailleerd advies betreffende de werking van de verschillende types op te vragen bij de constructeurs/leveranciers.



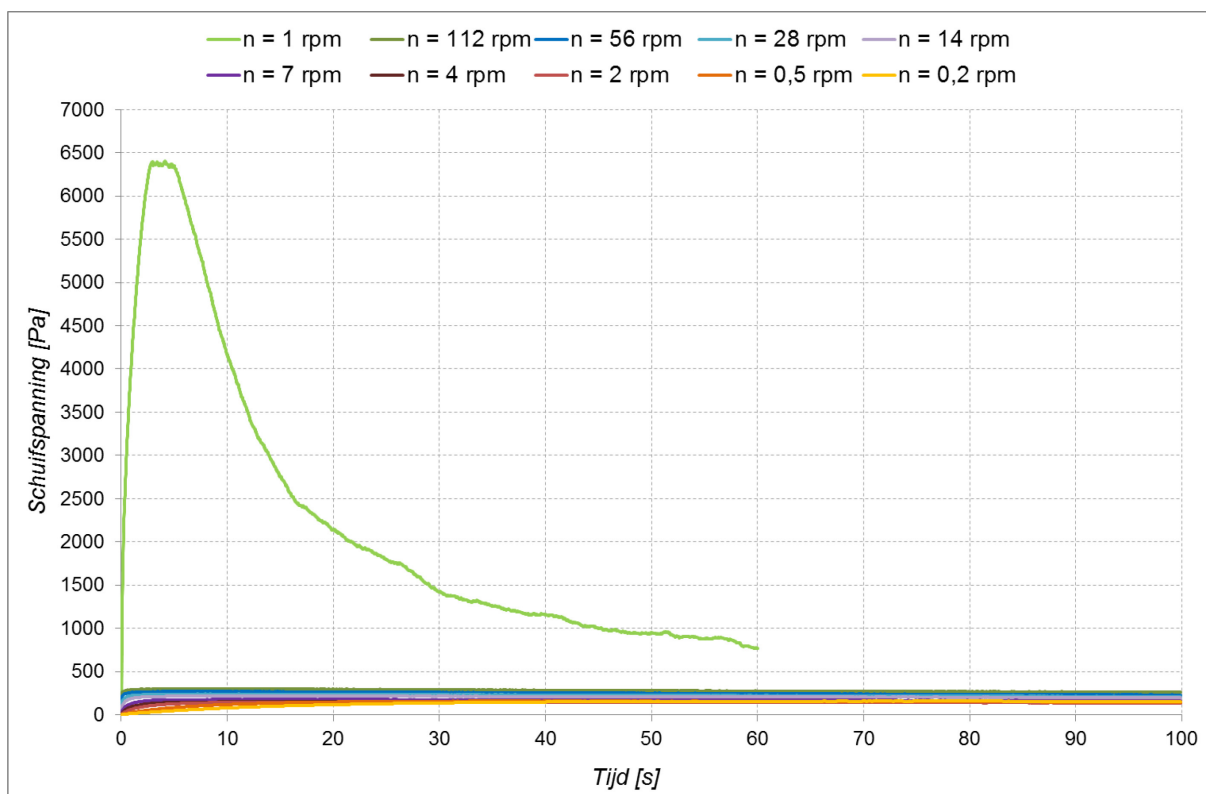
Figuur 13 – Overzicht watersnelheid gegenereerd door propeller (zowel in diepte/langs als in breedte/dwars) (boven: Flygt 4870 | midden: Flygt 4530 | onder: Flygt 4460)

5. Referenties

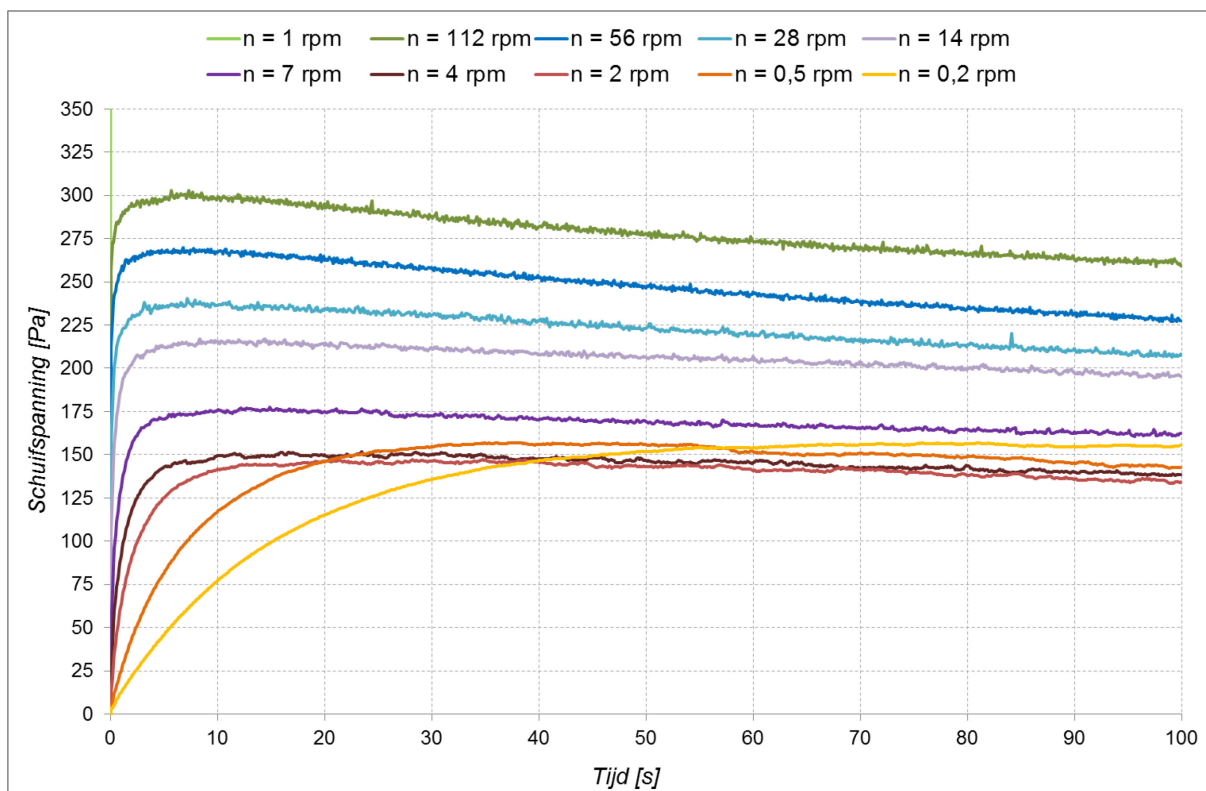
Claeys, S., Staelens, P., Vanlede, J., Heredia, M., Van Oyen, T., Van Hoestenbergh, T., et al. (in preparation). Rheological Measurement Protocol for cohesive sediment.

Lam, W., G.A. Hamil, Y.C. Song, D.J. Robinson, S. Raghunathan (2011). A review of the equations used to predict the velocity distribution within a ship's propeller jet. *Ocean Engineering* 38 (1), 1-10

6. Bijlage



Figuur 14 – Verloop schuifspanning i.f.v. de tijd (deelstaal Midden-Oost 40-50 cm)



Figuur 15 – Verloop schuifspanning i.f.v. de tijd (deelstaal Midden-Oost 40-50 cm) (detail)



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be