

BTO 2019.211(s) | Februari 2020

## **BTO** rapport

Ontwikkeling, validatie  
en onderbouwing van  
vervuilingsvoorspellings  
tool *Aquarellus*



# BTO 2019.211(s)

Ontwikkeling, validatie en onderbouwing van  
vervuilingsvoorspellingstool Aquarellus

BTO 2019.211(s) | December 2019

## Opdrachtnummer

402045-009

## Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

## Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Distributie

## Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

## Auteur(s)

dr. J.R.G. (Joost) van Summeren,  
dr. M.S. (Mark) Morley

## Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.  
Een jaar na publicatie is het openbaar.



Jaar van publicatie  
2019

### Meer informatie

dr. J.R.G. (Joost) van Summeren  
T +31 (0)6 54294828  
E [Joost.van.Summeren@kwrwater.nl](mailto:Joost.van.Summeren@kwrwater.nl)

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

BTO 2019.033 | December 2019 © KWR

### Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



# Voorwoord

De auteurs bedanken de projectgroepleden bedanken voor de samenwerking tijdens dit project, met name voor het evalueren van *Aquarellus* (Hoofdstuk 5). Daarnaast willen de auteurs de volgende personen bedanken:

- Stewart Husband (Universiteit van Sheffield) en Peter Schaap (PWN) voor samenwerking tijdens labexperimenten (Hoofdstuk 6);
- Joby Boxall en Richard Collins (Universiteit van Sheffield) voor nuttige discussies op het gebied van modellering;
- Derk Rouwhorst (WMD) voor berekeningen die positief hebben bijgedragen aan de evaluatie van *Aquarellus*-berekeningen (Hoofdstuk 4).

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>2</b>
<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Aanleiding	5
1.2 Onderzoekdoel	6
1.3 Leeswijzer	6
<b>2 Aanpak</b>	<b>7</b>
2.1 Theoretisch raamwerk	7
2.2 Benchmarking: toetsing van nauwkeurigheid van berekeningen	8
2.3 Toetsing van Aquarellus door waterbedrijven	8
2.4 Labexperimenten	8
<b>3 Werking van Aquarellus</b>	<b>10</b>
3.1 Oplosmethode	10
3.2 Grafische gebruikersinterface	12
<b>4 Benchmarkberekeningen</b>	<b>15</b>
4.1 Algemene beschrijving benchmarkmodel	15
4.2 Benchmark voor bezinking van deeltjes in statische hydraulische situatie	16
4.3 Benchmark voor bedloadsnelheid	18
4.4 Benchmark voor resuspensiesnelheid	19
4.5 Concluderende opmerkingen m.b.t. benchmarkberekeningen	20
<b>5 Evaluatie van Aquarellus (versie 1.0) door drinkwaterbedrijven</b>	<b>21</b>
5.1 Vragen aan experts van de drinkwaterbedrijven	21
5.2 Terugkoppeling van de waterbedrijven	21
<b>6 Labexperimenten voor het bepalen van deeltjeseigenschappen</b>	<b>24</b>

7	Concluderende opmerkingen	27
8	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	28
9	Literatuur	30
	<b>Bijlage I Vragenlijst testen van Aquarellus</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage II Evaluatie van testversie Aquarellus: terugkoppeling door experts van drinkwaterbedrijven</b>	<b>36</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Drinkwaterbedrijven in Nederland monitoren en conditioneren de waterkwaliteit om klanten van zo goed mogelijk drinkwater te voorzien. Desondanks kan de waterkwaliteit afnemen tijdens transport door het distributienet. De belangrijkste oorzaak van waterkwaliteitsklachten van klanten aan waterbedrijven is het optreden van troebel (“bruin”) water. Bruinwater is een esthetisch fenomeen en vormt op zichzelf geen gezondheidsrisico. Niettemin is het voor waterbedrijven vanuit het oogpunt van klanttevredenheid belangrijk om overlast door bruinwater zo laag mogelijk te houden.

Voorgaand onderzoek heeft aannemelijk gemaakt dat de oorzaken van bruinwater liggen in de aanvoer van deeltjes vanuit de zuivering en het ontstaan van deeltjes in het leidingnet. Bruinwater ontstaat nadat voldoende deeltjesmateriaal in het leidingnet accumuleert en vervolgens remobiliseert vanwege een hydraulische verstoring (Vreeburg, 2007). Maatregelen om bruinwaterrisico's te beperken zijn

- i. het verbeteren van zuiveringsprocessen waardoor de aanvoer van deeltjesmateriaal wordt beperkt;
- ii. de aanleg van zelfreinigende netten waarin de dagelijks optredende waterstroom sterk genoeg is om kleine hoeveelheden deeltjes mee te voeren, opdat deze niet opbouwen tot hoeveelheden die een bruinwaterrisico vormen;
- iii. het tijdig schoonmaken van leidingen (om de hoeveelheid opwervelbaar sediment te beperken).

Deze maatregelen zijn deels succesvol gebleken, maar toch is nog veel onduidelijk rond de processen en mechanismes die tot bruinwater leiden.

De belangrijkste informatiebronnen voor drinkwaterbedrijven in Nederland om deeltjesvervuiling te voorspellen zijn klantmeldingen en troebelheidsmetingen (opwervelingspotentiemethode, OPM). Zo heeft PWN al jarenlang een uitgebreid systematisch spuiprogramma waarbij op basis van OPM-metingen en waterkwaliteitsklachten ongeveer 500 km leiding per jaar wordt geselecteerd en gespuid. Herhaalde spoelacties in de tijd, op dezelfde trajecten, tonen bovendien dat vervuilingen vaak op een herhaalbare manier optreden. De systematiek suggereert dat hydraulica de drijvende kracht in het transport van deeltjes is en dat het mogelijk moet zijn om de vervuilingsbelasting te modelleren. Vanuit deze ervaring is de wens ontstaan om met een numeriek model te voorspellen hoe snel en waar in het leidingnet deeltjesmateriaal accumuleert.

Voor bestaande netten is de goedkoopste oplossing het spuien van het leidingnet. Het goed spuien gebeurt vanuit een schoonwaterfront, met 1,5 m/s en voor drie leidingversingen. Voor de prioritering van het te spuien leidingnet wordt nu nog vaak gebruik gemaakt van een combinatie van bruinwaterklachten en de opwervelingspotentiemethodiek (OPM, Mesman en Meerkerk 2015). Er kleven ook nadelen aan deze methodiek: er is maar een beperkt aantal metingen; klantmeldingen zijn niet altijd objectief of goed geregistreerd; de gemeten troebelheidswaardes zijn heel lokaal bepaald en vaak niet representatief voor de gehele wijk.

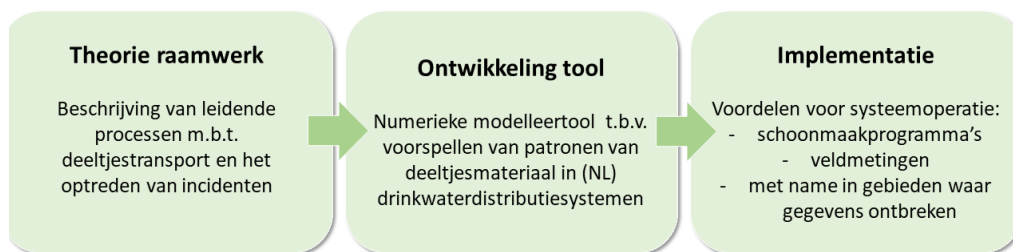


Met een methodiek waarmee voor een hele wijk of meerdere wijken kan worden bepaald waar de grootste vervuilingen optreden, zou veel gericht kunnen worden schoongemaakt. Dit is goedkoper en leidt tot een betere beheersing van het bruinwaterisico. Een verbeterd inzicht in sedimentatie in het distributienet biedt nieuwe mogelijkheden om:

- i. de effectiviteit van schoonmaakprogramma's te verhogen, bijvoorbeeld door gedifferentieerde schoonmaakprogramma's waarbij gericht spoelacties worden uitgevoerd in gebieden die de tool aanwijst als hotspots van vervuiling, aanvullend op bestaande spuiprogramma's;
- ii. aanbevelingen te doen voor meetstrategieën om de vervuilingssystematiek in kaart te brengen;
- iii. de zelfreinigende werking van het (secundaire) leidingnetwerk te verbeteren.

## 1.2 Onderzoekdoel

In speerpuntonderzoek van PWN en Evides is in 2016-2017 een theoretisch raamwerk opgesteld met de belangrijkste fysische processen van deeltjestransport in distributieleidingen onder invloed van turbulent water. Ook zijn de eisen beschreven waaraan een numerieke tool moet voldoen en met welke software de tool kan worden gerealiseerd. Deze opbrengsten vormen een basis voor de ontwikkeling van een numeriek vervuilingsvoorspellingsmodel (van Summeren et al. 2017). Het hoofddoel van het in dit rapport beschreven project is het bouwen van een dergelijke tool en deze gereed te maken voor gebruik door drinkwaterbedrijven voor operationele doeleinden: het verhogen van de effectiviteit van schoonmaakplannen en het bepalen van meetlocaties voor onderzoek naar sedimentvorming in het leidingnet (zie Figuur 1).



Figuur 1. Stappen in de ontwikkeling van een vervuilingsvoorspellingstool. Het huidige project richt zich op de tweede stap: toolontwikkeling.

## 1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 is de aanpak van het project beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een toelichting van de werking van de tool. Hoofdstuk 4 beschrijft de toetsing van de prestaties van de tool door deze te vergelijken met analytische berekende oplossingen. Ervaringen van de waterbedrijven met een testversie van de tool zijn uiteengezet in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 beschrijft het gebruik van lab-experimenten om deeltjeseigenschappen te bepalen die als invoer voor de tool dienen. Het rapport wordt afgesloten met concluderende opmerkingen (Hoofdstuk 7) en aanbevelingen voor vervolgonderzoek (Hoofdstuk 8).

## 2 Aanpak

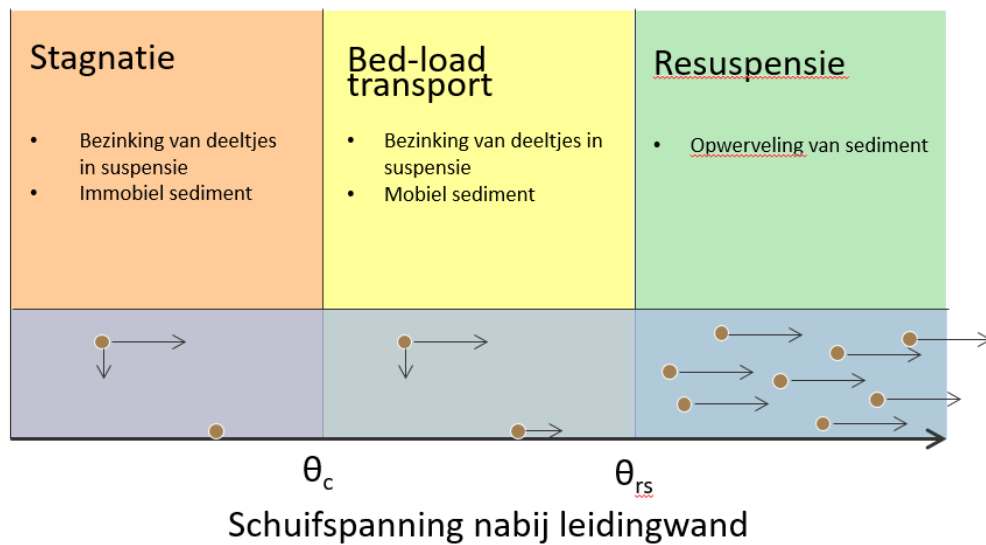
### 2.1 Theoretisch raamwerk

De aannames en achterliggende motivatie van het theoretisch raamwerk zijn eerder beschreven in Van Summeren e.a. (2017) en Van Summeren & Blokker (2018).

Hieronder worden kort de belangrijkste punten genoemd:

- Er is gekozen voor een model gebaseerd op de fysische wetten voor deeltjestransport (bezinking, bedload transport en resuspensie). Microbiologische en chemische processen zijn bewust buiten beschouwing gelaten. Chemische processen zoals flocculatie kunnen de eigenschappen van deeltjes veranderen, maar vergen een gedetailleerd kennis van deeltjeseigenschappen en de lokale chemische watersamenstelling. Voorgaand bedrijfstakonderzoek toont dat de instandhouding en het loslaten van biofilm niet makkelijk zijn te vertalen naar een samenhangende numerieke beschrijving (Blokker, 2017). Turbulente processen (zoals diffusie, dispersie, turboforese) zijn verwaarloosd: de invloed op deeltjestransport zal onder veelvoorkomende omstandigheden in Nederlandse drinkwaterleidingen kleiner zijn dan de gemodelleerde fysische transportprocessen.
- Het raamwerk is gestoeld op wetmatigheden (in tegenstelling tot een data-gedreven model). Hiermee zijn uitkomsten te duiden in termen van goed begrepen processen en voorspellingen te doen in gebieden of voor (toekomst)scenario's waarvoor geen metingen aanwezig zijn.
- Het deeltjestransport is onderverdeeld in drie regimes die zijn gescheiden op basis van de schuifspanning (Figuur 2):
  - bezinking van deeltjes in suspensie en stagnatie van sediment beneden een kritische (dimensieloze) schuifspanning ( $\theta < \theta_c$ );
  - bezinking van deeltjes in suspensie en bed-load transport van sediment op de leidingenwand bij tussenliggende schuifspanningen ( $\theta_c \leq \theta \leq \theta_{rs}$ );
  - opwerveling (resuspensie) van sediment op de leidingwand bij hoge schuifspanningen ( $\theta > \theta_{rs}$ ).

Het theoretische raamwerk vormt het uitgangspunt voor de ontwikkelde tool, genaamd *Aquarellus* (naar "aquarel": verf van pigmentdeeltjes gesuspendeerd in een oplossing op waterbasis).



Figuur 2. Theoretisch raamwerk voor deeltjestransport in distributieleidingen, onderverdeeld in drie regimes: bezinking van deeltjes in suspensie en stagnatie van sediment bij lage schuifspanning (gebied in rood); bezinking van deeltjes in suspensie en bed-load transport van sediment op de leidingenwand bij tussenliggende schuifspanningen (geel); opwerveling (resuspensie) van sediment op de leidingwand bij hoge schuifspanningen (groen).

## 2.2 Benchmarking: toetsing van nauwkeurigheid van berekeningen

De nauwkeurigheid van numerieke oplossingen van *Aquarellus* is getoetst met een aantal benchmarkberekeningen. Met een klein model van negen leidingen zijn numerieke en analytische oplossingen bepaald en is onderzocht hoe nauwkeurig de rekenresultaten de analytische oplossing benaderen. Ook is onderzocht hoe de gekozen resolutie van de sedimentberekening (ruimtelijk en temporele stap) en samenhangt met de nauwkeurigheid en rekentijden. Specifiek gaat het om de volgende benchmarkberekeningen:

- bezinksnelheid, concentratie en massa van deeltjesmateriaal in sediment- en suspensie (in een steady-state hydraulische situatie);
- bedload transportsnelheid (in een dynamische hydraulische situatie);
- opwerveling en transportsnelheid van deeltjes in suspensie (in een dynamische hydraulische situatie);

## 2.3 Toetsing van Aquarellus door waterbedrijven

Versie 1.0 van *Aquarellus* is voorgelegd aan experts van BTO-drinkwaterbedrijven (Brabant Water, De Watergroep, Evides, PWN, Waterbedrijf Groningen, Waternet en WMD). De experts hebben de tool beoordeeld op gebruiksvriendelijkheid, functionaliteit en toepasbaarheid.

## 2.4 Labexperimenten

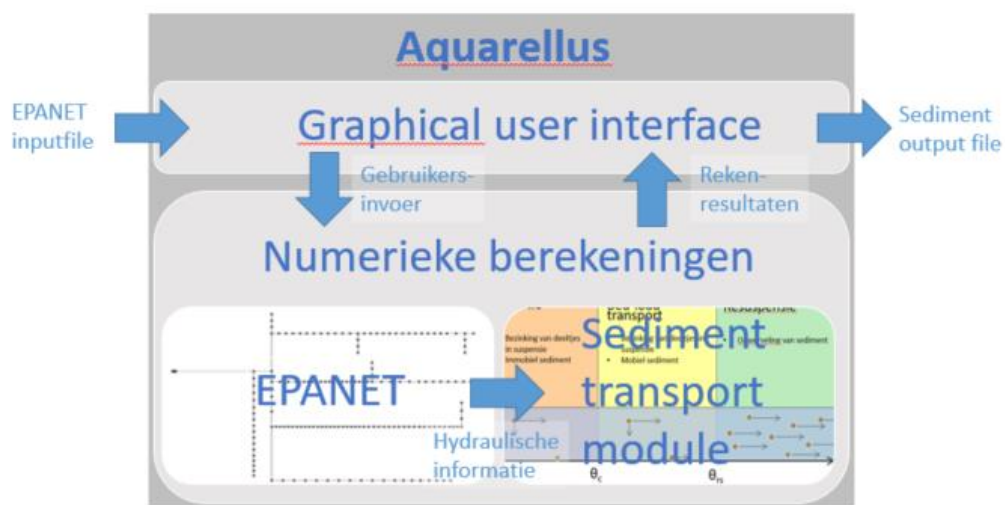
Voor een goede voorspelling van sedimentatiepatronen in distributienetten is het –naast het beschikken over een werkende tool– nodig om de eigenschappen van deeltjesmateriaal te bepalen. Deze eigenschappen bepalen namelijk mede de vorming van sedimentatiepatronen en het is bekend dat deeltjeseigenschappen kunnen variëren tussen verschillende landen of regio's, of zelfs binnen één leveringsgebied op verschillende tijden, bijvoorbeeld vanwege schakelingen in de zuivering.

Binnen het toegepaste theoretisch kader zijn met name van belang de valsnelheid van deeltjes  $u_s$ , bedload transportsnelheid van deeltjes  $u_{bed}$  en de drempelwaarden van schuifspanning  $\theta_c$  en  $\theta_{rs}$ . Waarden en wetmatigheden uit de literatuur zijn gebruikt om standaardinstellingen van deze parameters te bepalen. De standaardwaarden bieden een nuttig uitgangspunt, maar dienen aangevuld te worden met kennis van deeltjeseigenschappen specifiek voor een gebied. In voorgaand bedrijfstakonderzoek is ervaring opgedaan met het bepalen van bezinksnelheden uit troebelheidsmetingen (bijv. Kiwa Onderzoek & Advies, 2000). Hierop is in dit project voortgebouwd met labexperimenten, gericht op het bepalen van valsnelheden en deeltjesgroottes, beschreven in Hoofdstuk 6.

## 3 Werking van *Aquarellus*

### 3.1 Oplosmethode

*Aquarellus* bestaat uit een (nieuw ontwikkelde) grafische user interface en een deeltjestransportmodule die gebruik maakt van (bestaande) EPANETtools voor het berekenen van watertransport door een distributienet (Figuur 3). De grafische gebruikersinterface van *Aquarellus* maakt het mogelijk voor de gebruiker om modelparameters te definiëren, een EPANET-file in te lezen, de sedimentberekening te starten en uitkomsten te visualiseren en op te slaan.



Figuur 3. Conceptuele weergave van de ontwikkelde tool *Aquarellus*: in het rekenhart roept een sedimenttransportmodule EPANET aan voor het berekenen van watertransport door het leidingnet; in- en uitvoer van gegevens wordt aangestuurd via een intractieve grafische gebruikersinterface.

Eigenschappen van het leidingnet en randvoorwaarden voor de hydraulische leidingnetberekening worden ingelezen via de EPANET inputfile. De gebruiker kan één of meerdere bronnen een concentratie van deeltjesmateriaal (in g/L) toekennen op leidingnetknopen, middels een aanpassing in de EPANET inputfile (Figuur 4). In *Aquarellus* kunnen constante of tijdafhankelijke concentratiepatronen worden toegekend, vergelijkbaar met het toekennen van bijvoorbeeld verbruikspatronen in EPANET. *Aquarellus* vertaalt de deeltjesconcentratie tot een aantal deeltjes die vanaf de bron door het leidingnet bewegen. In de huidige opzet zijn deeltjeseigenschappen (massadichtheid en diametergrootte) instelbaar per simulatie, maar per simulatie gelijk voor alle deeltjes.

```

;ID          status/setting

[PATTERNS]
;ID          Multipliers
SEDIMENT_INFLOW 2.4160 2.2820 1.9340 2.7060 2.4380 2.8860
SEDIMENT_INFLOW 2.9720 2.8280 2.6480 2.8300 3.2240 3.9120
SEDIMENT_INFLOW 2.8480 1.2940 2.6580 2.0960 1.1500 1.3100
SEDIMENT_INFLOW 1.9660 2.0000 2.5040 4.7900 4.2520 2.9460
SEDIMENT_INFLOW 2.9340 3.9360 3.6240 3.3220 3.4740 3.8280
SEDIMENT_INFLOW 2.6280 1.5780 2.6800 2.6780 1.5480 2.2040
SEDIMENT_INFLOW 2.5260 2.9500 1.8700 2.2540 2.5140 3.1880
SEDIMENT_INFLOW 2.1760 2.4040 2.0420 2.3900 2.0720 1.3840
SEDIMENT_INFLOW 2.2040 1.6440 2.7720 2.7800 3.0440 3.6560
SEDIMENT_INFLOW 3.5420 2.7560 5.1360 4.1060 3.3960 4.8680
SEDIMENT_INFLOW 5.0520 3.3680 3.9320 3.8380 3.6600 2.6500
SEDIMENT_INFLOW 3.5800 6.2720 5.3460 4.3920 3.3040 4.5700
SEDIMENT_INFLOW 5.3480 4.8920 4.8440 3.7340 2.8480 3.0520
SEDIMENT_INFLOW 3.3460 3.7720 4.6660 3.1460 3.0720 3.0100
SEDIMENT_INFLOW 2.6580 2.3980 1.7320 3.2360 3.5200 3.8900
SEDIMENT_INFLOW 5.3620 4.2440 2.7720 3.3180 3.1860 3.5480

[ENERGY]
Global Efficiency 75
Global Price 0
Demand Charge 0

[QUALITY]
;Node          InitQual

[SOURCES]
;Node          Type          Quality          Pattern
A1             CONCEN       0.001         SEDIMENT_INFLOW

;REFRACTIONS

```

Figuur 4. Voorbeeld van toekenning van een deeltjesmateriaalbron op een netwekknoop met een EPANET-inputfile. In het SOURCES-blok is een sedimentbron toegekend aan knoop A1; via het label "SEDIMENT\_INFLOW" wordt verwezen naar een tijdsafhankelijk patroon dat is vastgelegd in het PATTERNS-blok.

De sedimenttransportmodule actualiseert op ieder tijdstip van de simulatie en elke locatie in het leidingnet (i) de grens tussen deeltjesgeladen en deeltjesvrij water,  $H_{sus}$ , en (ii) aantallen van deeltjes in de suspensie- en sedimentfase. De sedimentberekeningen worden opgelost op een statisch (Euleriaans) numeriek rooster. Dit rooster omvat het gehele leidingnet. De bijbehorende tijd- en ruimtestap zijn instelbaar door de gebruiker en per simulatie constant.

De werking van de sedimenttransportmodule is als volgt:

- 1-D sediment transportsnelheden tussen de suspensie- en de statische fase worden voor elke leiding berekend op basis van de stroomsnelheid.
- Voor elk van de afzonderlijke roostercellen in het Euleriaanse rooster worden alle mogelijke bestemmingen voor een sedimentdeeltje berekend, corresponderend met de heersende hydraulische omstandigheden - zowel voor sediment in suspensie als voor de bedload transportfase. Deze bestemming is meestal roostercel verderop in de leiding, maar wanneer het sediment een knooppunt bereikt, wordt het sediment verdeeld volgens de heersende stroming tussen de volgende leidingen en het verbruik op knooppunten (indien aanwezig) waarbij het sediment uit het netwerk wordt verwijderd.
- Zodra de kartering van de bestemmingsgridcellen en het stromingsaandeel voor elke roostercel in het netwerk is bepaald, wordt voor beide fasen het deeltjesmateriaal eerst (verticaal) verplaatst volgens het 1D-model en vervolgens door het netwerk getransporteerd volgens de temporele resolutie van het sedimentmodel. Dit proces wordt herhaald tot ofwel de heersende hydraulische omstandigheden veranderen, ofwel het einde van de simulatie wordt bereikt. In het geval dat een roostercel met sediment uitgeput raakt,

draagt deze niet meer bij aan het sedimentatiemodel, tenzij of totdat deze in een latere fase van de simulatie deeltjesmateriaal ontvangt.

Voor de verticale verplaatsing in stap 3 geldt:

- Tijdens injectie bij de bron en onder resuspensiecondities wordt deeltjesmateriaal uniform verdeeld over de hoogte van de leiding. Onder de huidige aanname van een plotse overgang van bedload transport- naar resuspensiecondities is dit een logisch uitgangspunt. In werkelijkheid is een geleidelijke overgang van condities te verwachten waarbij onvolledige opwerveling plaatsvindt. Het is de vraag in hoeverre dit de sedimentatiepatronen zal beïnvloeden, maar in principe kan de tool hierop aangepast worden.
- Bezinking van deeltjes in suspensie (onder stagnatie en bed-load condities) is gemodelleerd door per tijd- en ruimtestap de grens tussen deeltjesgeladen en deeltjesvrij water ( $H_{sus}$ ) te laten zakken, volgens de bezinksnelheid. Gelijktijdig gaat de fractie van het deeltjesmateriaal dat de leidingbodem bereikt over in de sedimentfase. Bedload transport neemt lineair toe van 0 m/s tot de snelheid van het bulk water tussen de schuifspanningswaarden  $\theta_c$  en  $\theta_{rs}$ .

In de transportberekeningen wordt hydraulische informatie opgevraagd via EPANET-modules. De hydraulische informatie wordt gebruikt om schuifspanningen te berekenen en daarmee het transportregime (stagnatie; bed load transport; resuspensie) en de snelheid van deeltjesmateriaal te bepalen. Deze informatiestroom is van EPANET naar de sedimenttransportmodule, maar niet andersom: in de gevolgde aanpak heeft deeltjestransport *geen* invloed op de hydraulica. Dit is een redelijke aanname, aangezien dunne sedimentpakketten weinig invloed zullen in leidingen met diameters die vele malen groter zijn en de lage concentraties van deeltjesmateriaal een verwaarloosbare invloed hebben op de waterstroming.

### 3.2 Grafische gebruikersinterface

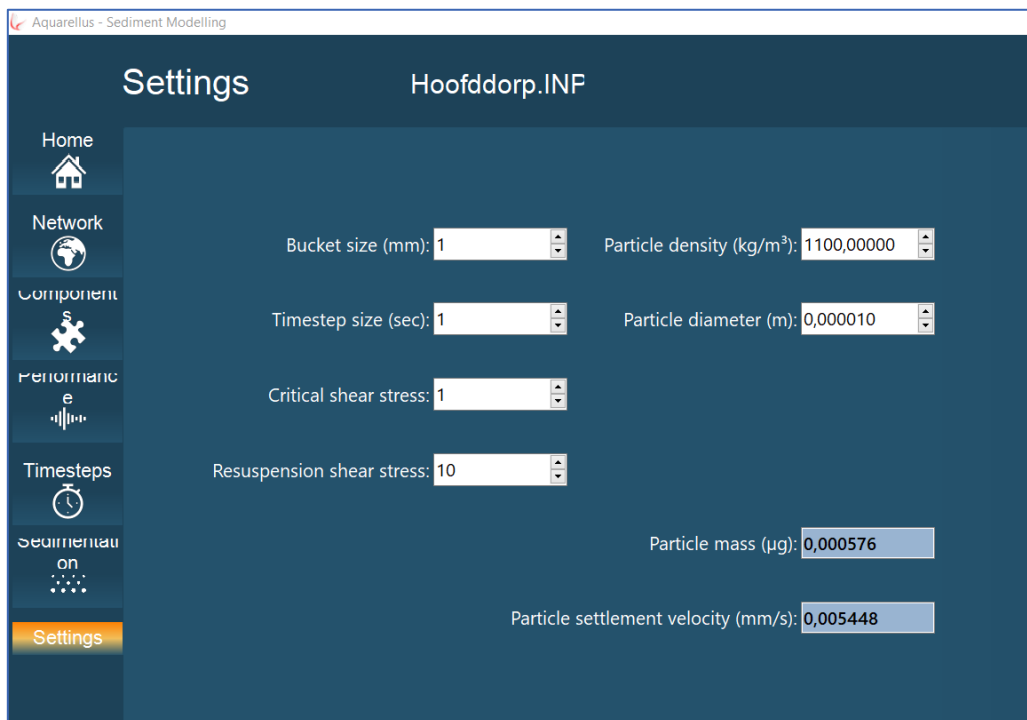
De grafische gebruikersinterface van *Aquarellus* is ingedeeld in zeven tabbladen:

- *Home*: invoer van de EPANET inputfile.
- *Network*: grafische weergave van de netwerkkaart met sediment of volumestroom van het water per leiding;
- *Component*: tabel-weergave van EPANET-gegevens (Junctions, Reservoirs, Tanks, Pipes, etc.);
- *Performance*: hydraulische informatie op elke netwerkknoop in tabelvorm;
- *Timesteps*: informatie m.b.t. de uitvoering van de hydraulische berekening, zoals mogelijke foutmeldingen per gemodelleerde tijdstap in tabelvorm;
- *Sedimentation*: resultaten van de sedimentberekening met o.a. sedimentmassa in de suspensie- en sedimentfase, per leiding in tabelvorm en grafisch weergegeven voor één geselecteerde leiding;
- *Settings*: definitie van invoerparameters.

Voorbeelden van de tabbladen *Settings*, *Sedimentation* en *Network* zijn getoond in Figuur 5 t/m Figuur 7. De belangrijkste gebruikersinvoer (tabblad *Settings*) bestaat uit:

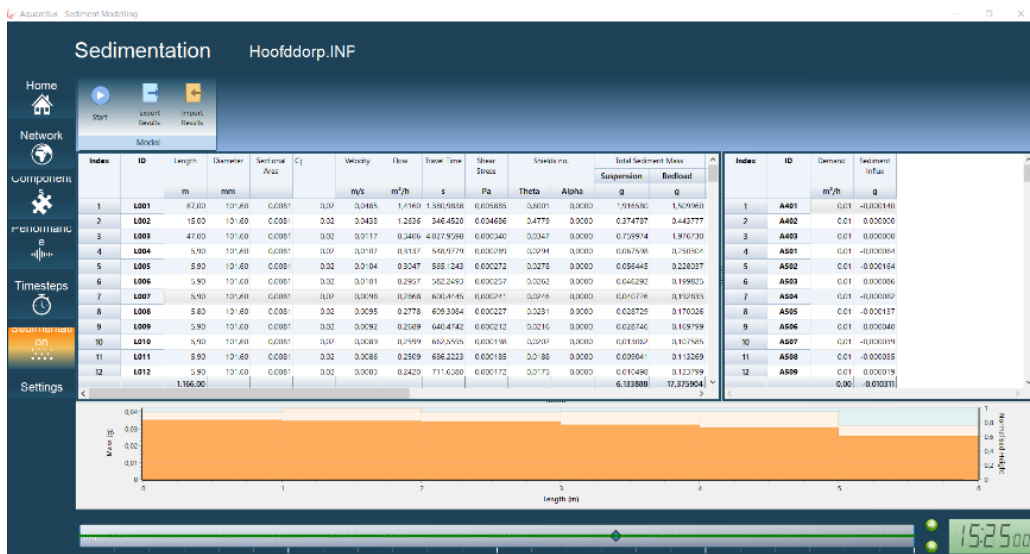
- deeltjeseigenschappen:
  - o massadichtheid van deeltjes,  $\rho_p$  (in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
  - o diameter van deeltjes,  $d_p$  (in m);
  - o (de valsnelheid van deeltjes  $u_s$  wordt automatisch afgeleid met bovenstaande twee parameter, volgens de Wet van Stokes).
- grenswaarden van de (dimensieloze) schuifspanningen voor mobiliteit:  $\theta_c$  respectievelijk  $\theta_{rs}$ ;
- resolutie van de sedimentberekening:

Ruimtelijke ("Bucket size", standaardwaarde: 1 mm) en tijdstapgrootte ("Time step", standaardwaarde: 1 s) van de sedimentberekeningen. Een hogere resolutie resulteert in nauwkeurigere berekeningen, maar langere rekentijden en een grotere benodigde geheugenruimte. In Hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op welke waarden tot acceptabele uitkomsten leiden.

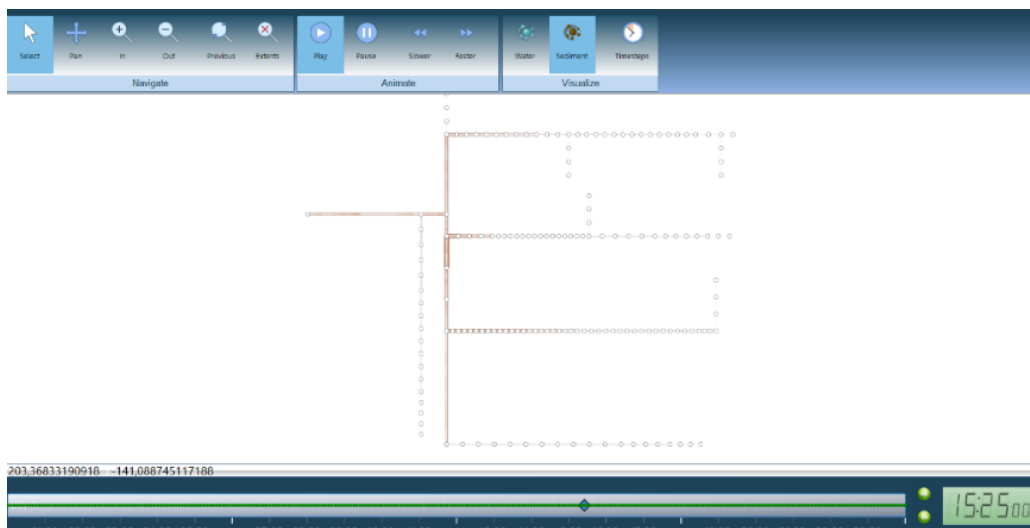


Figuur 5. Tabblad "Settings" (gebruikersinvoer) in de grafische gebruikersinterface van Aquarellus.





Figuur 6. Tabblad “Sedimentation” in de grafische gebruikersinterface van Aquarellus. Hierin zijn de uitkomsten van de sedimentatieberekeningen terug te inden voor iedere leiding en elke tijdstap. Onderaan is voor één geselecteerde leiding de deeltjesmassa’s en hoogteniveau van deeltjes in suspensie af te lezen.



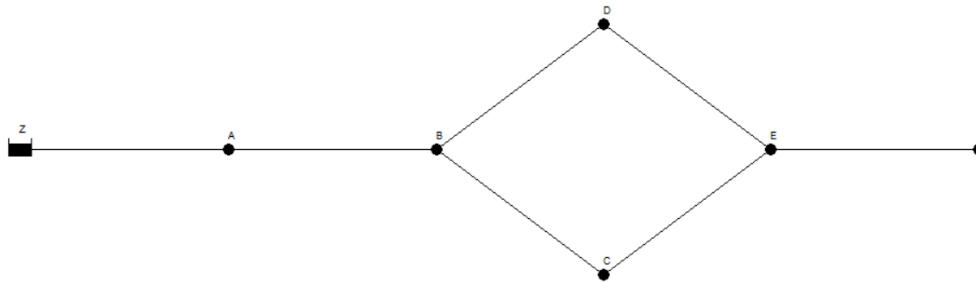
Figuur 7. Tabblad “Network” in de grafische gebruikersinterface van Aquarellus. De kaart geeft een grafische weergave van ofwel de sedimentiepatronen, ofwel de volumestromen in het leidingnet.

## 4 Benchmarkberekeningen

### 4.1 Algemene beschrijving benchmarkmodel

Een serie benchmarks is uitgevoerd om te bepalen hoe de nauwkeurigheid van *Aquarellus*-resultaten afhangt van de temporele en ruimtelijke resolutie van de sedimentberekening en hoe dit samenhangt met de rekestijden.

In de benchmarks is gebruik gemaakt van een klein leidingnet (Figuur 8) met één waterbron (reservoir Z) en zes knooppunten (A t/m F). Leidingeigenschappen (lengte, diameter, frictiefactor) zijn weergegeven in Tabel 1 ("eigenschappen leidingnet"). Het leidingnet bevat diameterovergangen en leidingsplitsingen waarin de waterstroom splitst (knoop B) en bij elkaar komt (knoop E). Er is een constante levering gedefinieerd op bronknoop Z ( $Q_z=40 \text{ m}^3/\text{u}$ ) en constant verbruik op de knopen C ( $10 \text{ m}^3/\text{u}$ ), D ( $10 \text{ m}^3/\text{u}$ ) en F ( $20 \text{ m}^3/\text{u}$ ). Dit resulteert in een statische hydraulica waarvoor sedimentatie-problemen gemakkelijk analytisch zijn te berekenen.



Figuur 8. Leidingnetmodel gebruikt voor benchmarking.

Tabel 1. Leidingeigenschappen en hydraulische condities van het leidingnetmodel gebruikt voor benchmark-berekeningen.

Leiding (beginknoop- eindknoop)	Eigenschappen leidingnet			Hydraulische condities			
	leidinglengte (m)	Diameter (m)	Frictiefactor Cf (-)	U (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\tau$ (Pa)	$\theta$ (-)
ZA	5.0	0.6	0.020	0.04	40.00	0.00	0.39
AB	5.0	0.6	0.020	0.04	40.00	0.00	0.39
BC	5.0	0.6	0.020	0.02	20.00	0.00	0.10
CE	5.0	0.3	0.020	0.04	10.00	0.00	0.39
BD	5.0	0.6	0.020	0.02	20.00	0.00	0.10
DE	5.0	0.3	0.020	0.04	10.00	0.00	0.39
EF	5.0	0.3	0.020	0.08	20.00	0.02	1.57

## 4.2 Benchmark voor bezinking van deeltjes in statische hydraulische situatie

### 4.2.1 Berekening van analytische waarden

In een eerste benchmark is de instroom en bezinking van deeltjesmateriaal berekend. Er is een instroom van deeltjesmateriaal op reservoir Z gedefinieerd met een constante concentratie van  $1 \cdot 10^{-6}$ . De hydraulische condities zijn zo gekozen dat in alle leidingen het stagnante regime optreedt (d.w.z. bezinking van deeltjes in suspensie en stagnatie van sediment).

Voor dit simpele leidingnet met statische hydraulica zijn eenvoudig de volumestroom ( $Q$ ) en snelheden van het water ( $u_i$ ) per leiding af te leiden. Voor de schuifspanning die het water op de leidingwand uitoefent geldt (Van Summeren & Blokker, 2017):

$$\tau = \frac{1}{8} \rho_f u_f^2 C_f,$$

met  $\rho_f$  de massadichtheid van water (aangenomen:  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en  $C_f$  de Darcy frictiefactor (aangenomen: 0,02). De dimensieloze schuifspanning (Shields-getal,  $\theta$ ) volgt uit (Van Summeren & Blokker, 2017):

$$\theta = \tau [(\rho_p - \rho_f) d_p g]^{-1}.$$

Het Shields-getal is gebruikt om het transportregime te bepalen en, indien bedload transport actief is, de bedload transportsnelheid (zie Sectie 2.1).

De hydraulische condities zijn per leiding weergegeven in Tabel 1 ("hydraulische condities"). De condities zijn gebruikt om sedimenttransportparameters te berekenen. Voor de instroom van deeltjesmassa geldt:

$$Q_p = Q_z \rho_p C_{SUS}.$$

De grens van deeltjeshoudend en deeltjesvrij water,  $H_{SUS}$ , op de eindknoop van een leiding is berekend door bezinking in mindering te brengen t.o.v. de grenshoogte op de beginknoop:

$$H_{SUS}^{eind} = H_{SUS}^{begin} - u_s t_{reis}.$$

Hierin is  $t_{reis}$  de reistijd van het water, welke direct volgt uit de leidinglengte  $L$  en de snelheid van het water:

$$t_{reis} = L/u_f.$$

Voor de valsnelheid van deeltjes is aangenomen:  $u_s = 0,00545 \text{ mm/s}$ . Op knooppunten is de grenshoogte  $H_{SUS}$  aan het eind van de ene leiding gelijkgesteld aan die aan het begin van de aangrenzende volgende leiding(en). Op deze manier is in de richting van de waterstroom op elk knooppunt  $H_{SUS}$  berekend.

Voor de massa van deeltjesmateriaal in suspensie geldt:

$$M_{SUS} = L \rho_p C_{SUS} \frac{H_{SUS}^{begin} + H_{SUS}^{eind}}{2} \frac{\pi D^2}{4},$$

met  $D$  de leidingdiameter en  $C_{SUS}$  de concentratie van deeltjesmateriaal in het deeltjeshoudende deel van het water. Voor het benchmarkmodel is de concentratie overall constant ( $1 \cdot 10^{-6}$ ).

Met de voorgeschreven constante bezinking neemt de sedimentmassa in een leiding lineair toe met de tijd,  $t$ :

$$M_{SED} = t \left( \frac{m_{SUS}^{eind} - m_{SUS}^{begin}}{t_{reis}} \right) L,$$

met, voor knoop  $i$ :

$$m_{SUS}^i = C_{SUS} A_{SUS}^i \rho_p,$$

en

$$A_{SUS}^i = H_{SUS}^i \frac{\pi D^2}{4}.$$

In bovenstaande formules is de invloed van de ronding van leidingen op de uitwisseling van deeltjesmassa tussen de suspensie- en sedimentfase verwaarloosd (conform de aanname in *Aquarellus*).

#### 4.2.2 Vergelijking van berekende met analytische waarden

Op (de knooppunten van) drie leidingen (ZA, AB en EF) zijn de uitkomsten van *Aquarellus* vergeleken met de analytisch berekende parameters  $Q_p, H'_{SUS}$  (de dimensieloze vorm van  $H'_{SUS}, M_{SUS}$  en  $M_{SED}$ ).

De resolutie is gevarieerd tussen een ruimtelijke stapgrootte van 1 en 4 mm en een tijdstapgrootte van 1 en 4 s. De benchmarkresultaten zijn weergegeven in Tabel 2. Hieruit wordt geconcludeerd:

- de inkomende hoeveelheid massa,  $Q_p$ , vertoont een onnauwkeurigheid van 1,3% (0,013 in de tabel) ten opzichte van de analytisch berekende waarde bij een resolutie van  $\Delta t=1$  s en toont geen afhankelijkheid van  $\Delta x$  in het bereik dat is onderzocht (Tabel 2). Dit is verklaarbaar, aangezien de tijdstap bepaald met welke nauwkeurigheid discrete deeltjes vanuit de bron de leiding instromen; de ruimtelijke resolutie waarmee de leiding is opgedeeld ( $\Delta x$ ) heeft hierop geen invloed.
- de dimensieloze grenshoogte  $H'_{SUS}$  (als indicator van het bezinkingsproces) vertoont een onnauwkeurigheid van <0,7%, toenemend met de afstand tot de bron. De onnauwkeurigheid is ongevoelig voor  $\Delta t$  en  $\Delta x$  en dit hangt samen met de manier waarop  $H'_{SUS}$  wordt berekend: kennis van de hydraulische omstandigheden en de bezinknelheid volstaat om (de verandering in)  $H'_{SUS}$  te bepalen op elk tijdstip en op alle locaties in de leiding.
- de sedimentmassa van deeltjesmateriaal in suspensie,  $M_{SUS}$ , vertoont een onnauwkeurigheid van minder 0,7% ten opzichte van de analytisch berekende waarde (bi een resolutie van  $\Delta t=1$  s;  $\Delta x=1$  mm). De onnauwkeurigheden nemen toe bij lagere resolutie van de oplossing; de kwaliteit van de resultaten is veel gevoeliger voor veranderingen in de tijdstap dan in de ruimtelijke stapgrootte;

- de rekentijd neemt toe met de ingestelde resolutie en is gevoeliger voor de ruimtelijke stapgrootte dan de tijdstapgrootte. De afhankelijkheid van beide is sublineair.

Tabel 2. Benchmarkresultaten met in grijs de numerieke resolutie van vier berekeningen en in blauw de analytische waarden (“analytisch”), berekende waarden (“resultaat”) en de afwijking (“fout”) voor de parameters instroom  $Q_0$ , grenshoogte  $H'_{SUS}$  en deeltjesmateriaal massa  $M_{SUS}$  en  $M_{SED}$  op de leidingen ZA, AB en EF. De lichter gekleurde rijen tonen de benchmark met de hoogste numerieke resolutie; de in de tekst genoemde foutpercentages verwijzen hiernaar.

model specificaties			benchmark resultaten														
resolutie $\Delta x$ (mm)	$\Delta t$ (s)	rekentijd (s)		$Q_0$ (g/min)			$H'_{SUS}$				$M_{SUS}$ (g)			$M_{SED}$ (g)			
				ZA	ZA	EF	ZA	AB	EF	ZA	AB	EF	ZA	AB	EF		
			analytisch	begin- knoop	eind- knoop	begin- knoop	eind- knoop	begin- knoop	eind- knoop	begin- knoop	eind- knoop	ZA	AB	EF	ZA	AB	EF
				0.733	1	0.998	0.998	0.996	0.987	0.985	1.554	1.552	1.543	1.220	1.220	1.220	
1	1	395	resultaat	0.743	1	0.999	0.999	0.998	0.993	0.992	1.571	1.569	1.560	1.226	1.224	1.215	
			afwijking	0.013	0	0.001	0.001	0.002	0.006	0.007	0.011	0.011	0.011	0.005	0.003	0.004	
4	1	184	resultaat	0.743	1	0.999	0.999	0.998	0.993	0.992	1.522	1.520	1.511	1.188	1.186	1.178	
			afwijking	0.013	0	0.001	0.001	0.002	0.006	0.007	0.021	0.021	0.020	0.027	0.028	0.035	
1	4	230	resultaat	0.779	1	0.999	0.999	0.998	0.993	0.992	1.324	1.294	1.153	2.429	2.387	2.160	
			afwijking	0.063	0	0.001	0.001	0.002	0.006	0.007	0.148	0.166	0.253	0.991	0.956	0.770	
4	4	81	resultaat	0.779	1	0.999	0.999	0.998	0.993	0.992	1.130	1.102	0.966	2.278	2.234	2.020	
			afwijking	0.063	0	0.001	0.001	0.002	0.006	0.007	0.273	0.290	0.374	0.867	0.832	0.656	

### 4.3 Benchmark voor bedloadsnelheid

#### 4.3.1 Berekening van analytische waarden

In deze benchmark is onderzocht of sediment met de juiste bedload transportsnelheid door het leidingnet beweegt. Hiertoe is het leidingnet aangepast (ten opzichte van het standaard benchmarkmodel), zodat in alle leidingen een gelijke snelheid ontstaat:

- de diameters van leidingen ZA, AB en EF zijn 500 mm; die van leidingen BC, CE, BD en DE zijn 354 mm;
- al het verbruik in het model is toegekend aan knooppunt F en dit wordt geleverd door reservoir Z.

De hydraulische situatie is dynamisch, met de volgende perioden:

- *Bezinkingsperiode.* Een periode van 1 uur met een volumestroom van 40 m<sup>3</sup>/u van bronknoop Z naar eindknoop F. De snelheid in elke leiding is 5,65 cm/s. Elke locatie is in het stagnatieregime. Bij de bronknoop wordt deeltjesmateriaal geïnjecteerd met een constante concentratie van 1·10<sup>-6</sup>.
- *Verschoningsperiode.* Een periode van 1 uur met dezelfde snelheid en zonder aanvoer van deeltjesmateriaal. De periode is lang genoeg om alle leidingen te voorzien van schoon water. Er zijn na afloop van deze periode geen deeltjes meer in suspensie, maar wel in de sedimentfase.
- *Bedload transport-periode.* De volumestroom is 65 m<sup>3</sup>/u en er is geen aanvoer van deeltjesmateriaal. In *Aquarellus* neemt de bedload transportsnelheid lineair toe met het Shields-getal tussen de twee mobilisatiegrenzen:

$$u_{bed} = u_f \left( \frac{\theta - \theta_c}{\theta_{rs} - \theta_c} \right).$$

Onder de ingestelde condities is de watersnelheid 9,19 cm/s op elke leiding en term tussen haakjes is 0,1283. Hieruit volgt dat het sediment het leidingnet verlaat met een constante bedload transportsnelheid van 1,18 cm/s.

Theoretisch duurt het 424 s voordat het deeltjesmateriaal de 5 m lange leiding ZA heeft verlaten.

### 4.3.2 Vergelijking van berekende met analytische waarden

Met *Aquarellus* is het bovenstaande scenario gesimuleerd. Uit de resultaten is per minuut het sediment op leiding ZA te volgen. Het materiaal is 7 minuten (420) na het begin van de bedload transport periode verdwenen (Figuur 9). Dit suggereert een nauwkeurige berekening van de bed load snelheid, hoewel een precieze waarde lastig is geven vanwege de resultaten op minuutbasis.



Figuur 9. Bedload transport resultaat. Sediment (oranje) verlaat een 5 m lange leiding middels bedload transport. Van boven naar beneden is situatie getoond op 0 t/m 7 minuten na het begin van de bedloadtransportfase.

### 4.4 Benchmark voor resuspensiesnelheid

Op een vergelijkbare manier als in bovenstaand benchmark voor bedload transport is de snelheid waarmee deeltjes via resuspensie een leiding verlaten gecontroleerd. Door

de snelheid van het water in de bedload transportperiode te verhogen tot 21,2 m/s is in alle leidingen het resuspensie-regime actief. Volgens de analytische berekening verlaat het sediment het leidingstelsel van 25 meter in 118 s.

Het resultaat met *Aquarellus* laat zien dat al het sediment in iets meer dan 120 s de laatste leiding verlaat. Opnieuw is met een output-resolutie van 1 minuut geen heel precieze kwantificering van de nauwkeurigheid mogelijk, maar de resultaten zijn conform de voorspelling en suggereren dat opgewerveld deeltjesmateriaal inderdaad met de watersnelheid door de leidingen beweegt.

#### 4.5 Concluderende opmerkingen m.b.t. benchmarkberekeningen

In dit hoofdstuk zijn drie benchmarkberekeningen beschreven. Tezamen demonstreren deze dat de aanvoer, bezinking, sedimentatie, bedload transport en resuspensie van deeltjesmateriaal met een hoge nauwkeurigheid overeenkomt met een analytische berekeningen (afwijkingen van ca. 1%). Dit is nagegaan voor kleine, simpele leidingnetmodellen met een totale leidinglengte van 35 meter en een statische hydraulische situatie of een dynamische situatie van enkele uren modeltijd. Om deze nauwkeurigheid te behalen is een hoge numeriek resolutie van de sedimentberekeningen nodig: tijdstap van 1 s, roosterafstand van 1 mm. De hoge resolutie resulteert in lange rekentijden.

Om inzicht te krijgen in het presteren van *Aquarellus* voor grotere, complexere systemen van langere duur, is het nodig de benchmarks uit te breiden. De evaluatie door waterbedrijven was deels gericht op het verkrijgen van dit inzicht (Hoofdstuk 5). Helaas bleek het niet mogelijk om eenduidige conclusie te trekken, vanwege beperkte visualisatiemogelijkheden van de huidige versie van *Aquarellus* en een incorrecte toekenning van concentratiepatronen (zie Hoofdstuk 5). Hierdoor is het inzicht in dit project voor het functioneren van *Aquarellus* voor grotere, complexe problemen uitgebleven.

## 5 Evaluatie van *Aquarellus* (versie 1.0) door drinkwaterbedrijven

### 5.1 Vragen aan experts van de drinkwaterbedrijven

Modelleerexperts van zeven drinkwaterbedrijven hebben meegewerkt aan een evaluatie van de testversie van *Aquarellus*. Het doel hiervan was om terugkoppeling te krijgen over het correct functioneren en gebruiksgemak van *Aquarellus*. De bedrijven is gevraagd om een onderzoeksopdracht met *Aquarellus* uit te voeren (per bedrijf verschillend) en met de opgedane ervaring een aantal vragen rond gebruiksgemak en functionaliteit te beantwoorden. De bijbehorende vragenlijst is opgenomen in Bijlage I. Tabel 3 geeft een overzicht van de betrokken experts en opdrachten. Vijf reacties zijn opgenomen in Bijlage II. De ervaringen van de andere twee bedrijven zijn mondeling teruggekoppeld tijdens projectbijeenkomsten.

Tabel 3. Experts van drinkwaterbedrijven die hebben meegewerkt aan het testen van *Aquarellus*. (\*): reactie opgenomen in Bijlage II.

Drinkwaterbedrijf	Experts	Onderzoeksopdracht
Brabant Water*	Melanie van Schijndel, Ad Vogelaar	Gebiedsgrootte en reketijden
De Watergroep*	Evi Loozen	Invloed van bezinksnelheid
Evides*	Henk de Kater, Jeffrey Ramkisoen	Invloed van afsluiters
PWN	Peter Schaap, Martin Klein Arfman	Invloed van zelfreinigende netten
Waterbedrijf Groningen	Maarten van der Wal	Invloed van zelfreinigende netten
Waternet*	Michael Preng, Ralf de Groot	Seizoensinvloeden
WMD*	Derk Rouwhorst, Aulia Galama-Tirtamarina	Week- vs weekendverbruik

### 5.2 Terugkoppeling van de waterbedrijven

De volledige terugkoppeling van de bedrijven is opgenomen in Bijlage II. Hieronder volgt een compilatie door KWR van de belangrijkste aandachtspunten.

#### Inzicht in achterliggende principes

Eén expert geeft aan dat de principes goed begrijpbaar zijn. Anderen geven aan dat documentatie (een handleiding of beschrijving) nuttig zou zijn om achterliggende principes te duiden of om naar te verwijzen.

#### Functionaliteit

Het is wenselijk om berekeningen uit te kunnen voeren met inhomogene deeltjespopulaties, bijvoorbeeld door afzonderlijk voor meerdere populaties



deeltjeseigenschappen (grootte en bezinksnelheden) en variaties in de tijd toe te kennen.

### **Gebruikersgemak grafische interface & visualisatie**

De algemene indruk is dat de tool goed oogt en eenvoudig en overzichtelijk ingedeeld is in tabbladen. Met de grafische kaartweergave worden resultaten over de berekende periode in één oogopslag inzichtelijk.

Als gebreken worden ervaren:

- Niet alle visualisatie-functionaliteit van EPANET is beschikbaar. Het zou handig zijn om kaarten van sedimentpatronen te kunnen maken, met in te stellen legenda's en exporteer mogelijkheden. Het is ook wenselijk om informatie van het leidingnet en hydraulische condities op leidingen en knopen beschikbaar te maken in de kaarten (bijvoorbeeld via een muisklik op de locaties).
- Scroll-buttons zijn te klein.
- Labels of opties om informatie in de uitvoer van de sedimentberekeningen met kleuren op leidingen / knopen weer te geven is afwezig of te beperkt.
- Bij de visualisatie van sediment ontbreekt een legenda. Die is nodig om conclusies aan de figuren te verbinden.
- De visualisatie van sediment is erg traag en de scrollbar kan flikkeren.
- Berekeningen lopen af en toe vast, zonder dat duidelijk wordt waarom dit gebeurt. Er verschijnen foutmeldingen, maar deze zijn niet erg inzichtelijk. Dit is met name vervelend bij langdurige berekeningen.

### **Rekentijden, geheugenruimte, berekeningen**

- Rekentijden zijn onwerkbaar lang voor de meeste praktijktoepassingen.
- Het programma loopt af en toe om onduidelijke redenen vast.

### **In- en uitvoergegevens**

- Het is zeer wenselijk om functionaliteit toe te voegen voor het exporteren van de uitkomsten in tabelvorm naar MS Excel (of CSV).
- Het zou nuttig zijn om resultaten in EPANET-formaat te kunnen presenteren en/of de simulatieresultaten op knopen en leidingen te laten zien.
- De concentratie van de bron is niet zichtbaar.
- In de grafiek per leidingsectie staat "Bedload" als genormaliseerde hoogte per meter buis en een berekende waarde in tabel. De relatie is onduidelijk.
- De im-/exporteerfunctionaliteit vertoont gebreken. Dit moet verbeteren om op een werkbare manier te modelleren.
- Bij het opnieuw inladen van een sedimentberekening blijft de oorspronkelijke \*.ini naam staan; dat klopt dan niet met elkaar.

### **Schaalgrootte waarop de resultaten worden gepresenteerd**

Resultaten waren in de huidige testversie inzichtelijk op meterschaal. Dit wordt als ruim voldoende ervaren. Het mag grover, indien dit de rekentijd zou verkorten.

### Correctheid van uitkomsten

Enkele drinkwaterbedrijven geven aan geen gevoel krijgen bij (de correctheid van) de uitkomsten, of dat deze niet lijken te kloppen. Uit de berekeningen van Brabant Water en Waternet verdwijnt de sedimentmassa na een aantal dagen uit het leidingnet of vertoont deze incoherente patronen. Dit is tegen de verwachting bij de beoogde continue aanvoer van deeltjesmateriaal.

Een plausibele reden hiervoor is een incorrecte toekenning van patronen van deeltjesconcentraties in het PATTERN-blok van EPANET. Er is (achteraf) nagegaan dat een sedimentpatroon met slecht één waarde niet resulteert in een constant patroon, maar in een concentratiepuls op de eerste tijdstap. De puls wordt daarna niet meer herhaald. Zonder verdere aanvoer zal de totale deeltjesmassa in het leidingnet na deze eerste en enige puls gelijk blijven of afnemen. Dit vormt een verklaring voor de gerapporteerde resultaten. (Het probleem is te verhelpen door het concentratiepatroon uit te breiden tot de gehele simulatieperiode.)

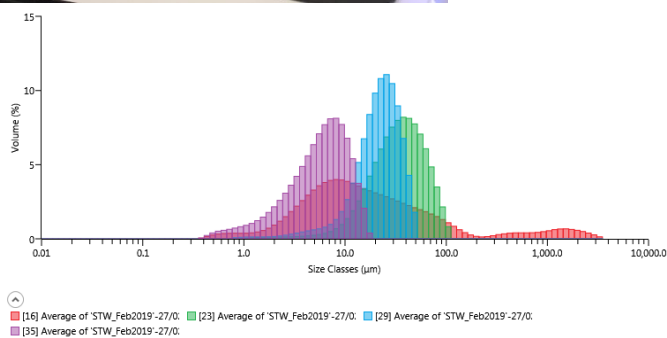
Met bovenstaande in gedachten geven de gerapporteerde resultaten enerzijds geen reden om aan te nemen dat *Aquarellus* foute uitkomsten genereert; anderzijds is er geen duidelijk beeld ontstaan over de kwaliteit van *Aquarellus*-berekeningen voor grotere, complexere leidingnetmodellen. Om dit inzicht alsnog te verkrijgen is het nodig om een benchmark voor een groter en complexer leidingnet dan het benchmarkmodel uit Hoofdstuk 4 uit te voeren.

## 6 Labexperimenten voor het bepalen van deeltjeseigenschappen

Meerdere deeltjeseigenschappen zijn van invloed op het transport van microscopische deeltjes in stromend drinkwater: massadichtheid, grootte, vorm, elektrische lading, etc.). Binnen het kader van *Aquarellus* is het belangrijk om inzicht te krijgen in de valsnelheid  $u_s$ , bedload transportsnelheid  $u_{bed}$  en de drempelwaarden van schuifspanning  $\theta_c$  en  $\theta_{rs}$ .

Voor het bepalen van valsnelheden en deeltjesgrootte van deeltjesmateriaal in Nederlandse en Britse drinkwatermonsters zijn labexperimenten uitgevoerd bij de Universiteit van Sheffield. De experimenten zijn uitgevoerd in nauwe samenwerking met dr. Stewart Husband (University of Sheffield) en Peter Schaap (PWN). De belangrijkste resultaten zijn hieronder beschreven.

Met de laser diffractie MASTERSIZER-3000<sup>1</sup> werd succesvol de verdeling van de deeltjesgrootte van spui-monsters gemeten (Figuur 10).



Figuur 10. (Boven) MASTERSIZER-3000 (eigendom Universiteit van Sheffield). Het bekersglas bevat een watermonster met deeltjesmateriaal. (Onder) Voorbeeld van enkele meetresultaten. Elke curve geeft een verdeling (naar volumefractie) van deeltjesgroottes weer in het bereik 0,1-3500  $\mu\text{m}$ .

<sup>1</sup> <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000>

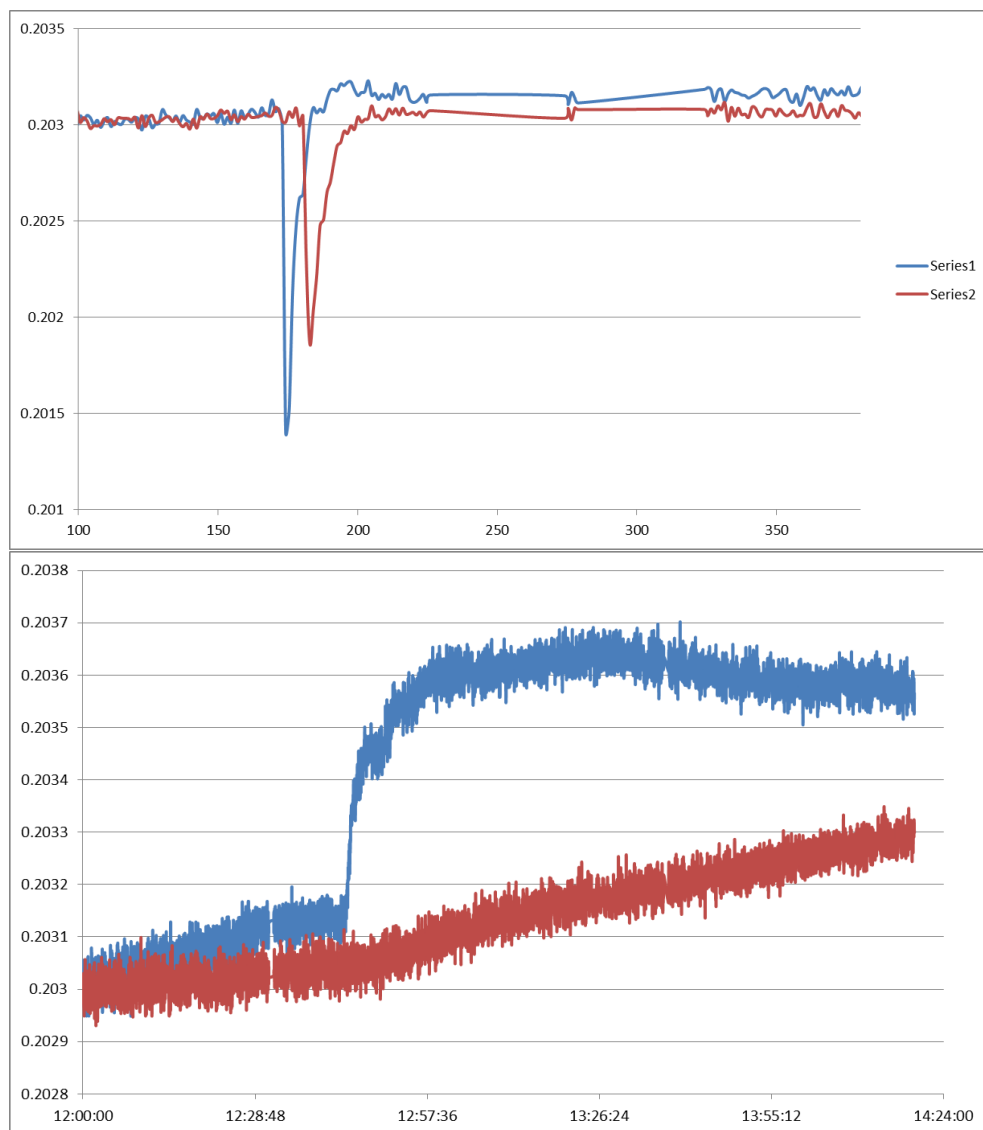
De ITS P2+ Tomographer-opstelling (ITS Manual, 2018) is gebruikt om bezinkingssnelheden van deeltjesmateriaal in drinkwatermonsters te bepalen (Figuur 11). De opstelling bestaat uit een verticale kolom gevuld met drinkwater. Op twee hoogtes is een ring geplaatst met 8 real-time sensoren voor het elektrisch geleidend vermogen (EGV). Als bezinkend deeltjesmateriaal dat de sensorring passeert een meetbare EGV-puls veroorzaakt, dan is uit het hoogteverschil van de sensorringen en het tijdsverschil van de pulsen een bezinksnelheid af te leiden.



Figuur 11. Experimenten voor het bepalen van valsnelheden van deeltjes met de ITS P2+ Tomographer (eigendom: Universiteit van Sheffield).

Deze aanpak werkte goed voor testmonsters van grof zand: de EGV-signalen waren sterk genoeg om een verdeling van bezinksnelheden af te leiden (Figuur 12, boven). Er zijn echter geen succesvolle resultaten verkregen voor werkelijke drinkwatermonsters, omdat het signaal van bezinkende deeltjes te zwak was ten opzichte van ruis (Figuur 12, onder). Ook het toevoegen van een kleine hoeveelheid (enkele deciliter) monsterwater aan het drinkwater waarmee de kolom was gevuld bleek van invloed op de EGV-signalen. OM dit laatste tegen te gaan, zijn een aantal spuimonsters gefilterd, maar dit leidde niet tot een substantiële verbetering.

Vanwege de beperkte meerwaarde met de tomograaf-opstelling is er binnen dit onderzoek geen opvolging gegeven aan de experimenten. De ervaringen zijn gebruikt bij het opstellen van aanbevelingen voor vervolgonderzoek.



Figuur 12. Twee tijdreeksen van EGV-signalen (in mS/cm) bepaald met de ITS P2+ tomograafopstelling. (Boven) Resultaat voor grof zand met twee duidelijke dalen in de curves die het passeren van het zand langs de sensorringen op twee hoogtes weergeeft. De tijdas is in seconden.(Onder) Een soortgelijk experiment met een spuimonster uit het distributiegebied van Volendam (PWN). Met de gemeten signalen bleek geen eenduidige valsnelheid af te leiden.

## 7 Concluderende opmerkingen

Concluderend worden bij het in dit rapport gepresenteerde onderzoek de onderstaande punten opgemerkt:

- De numerieke tool *Aquarellus* (versie 1.0) is ontwikkeld om de opbouw van deeltjesvervuiling in een distributienet te berekenen. *Aquarellus* is gebaseerd op fysische deeltjestransportprocessen volgens de uitgangspunten beschreven in eerder bedrijfstakonderzoek (Van Summeren e.a., 2017; Van Summeren & Blokker, 2018). De tool bevat een sedimenttransportmodule die EPANET aanroept voor de berekening van hydraulisch stoftransport door een leidingnet. Een grafische gebruikersinterface voorziet in mogelijkheden om modellen in te lezen, invoerwaarden te definiëren, berekeningen te starten en uitkomsten te visualiseren.
- Benchmarkberekeningen voor een klein leidingnet tonen dat met *Aquarellus* de bezinksnelheid en de massaverdelingen van deeltjesmateriaal in suspensie en sediment worden berekend met minimaal ongeveer 1% onnauwkeurigheid voor de gekozen instellingen, ten opzichte van een analytische berekende oplossing. Ook de numeriek berekende snelheden van deeltjesmateriaal in suspensie en bedload is in overeenstemming met de analytische oplossing, hoewel de onnauwkeurigheid niet is gekwantificeerd vanwege de grote tijdstap in de weergave van de resultaten (met een precisie van 1 minuut). Een uitbreiding van deze benchmarks is nodig voor een eenduidig beeld van de kwaliteit van berekeningen met *Aquarellus* voor grotere, complexere leidingnetmodellen
- Een voorwaarde voor bovengenoemde nauwkeurigheid is een hoge resolutie van 1 mm stapgrootte en 1 s tijdstapgrootte. Alleen deze hoge resolutie resulteert in een nauwkeurige berekening van deeltjessnelheden (voor bedload transport) die afwijken van de bulk watersnelheid. De benchmark toont dat de nauwkeurigheid sterker afhangt van de tijdstap dan van de ruimtestap, terwijl de rekentijd sterker afhangt van de ruimtestap dan van de tijdstap.
- Vanwege de hoge resolutie duren de berekeningen erg lang. De rekentijd is ca. 5 uur voor een netwerk van 1,2 km totale leidinglengte voor een gesimuleerde tijd van 1 week op laptop met i7-processor. De benaderde drinkwaterbedrijven ervaren de lange rekentijden als de grootste belemmering voor praktische toepassing van de huidige versie van *Aquarellus* (v1.0). Ook wensen de drinkwaterbedrijven een functionaliteit om verschillende deeltjestypes in één berekening te kunnen combineren.
- De grafische interface wordt beoordeeld als “rustig” en “overzichtelijk”, maar voor een goede interpretatie van resultaten ontbreken er nog functionaliteiten. Als gewenste uitbreidingen noemen de drinkwaterbedrijven: exportermogelijkheden van tabelwaarden naar MS Excel of CVS formaat, het zichtbaar maken van hydraulische en sedimentgegevens op de netwerkkaart en het toevoegen van een legenda.
- Procesmatig is de samenwerking met drinkwaterbedrijven tijdens dit onderzoek erg nuttig gebleken. De gebruikerservaring en de toepassingsmogelijkheden zoals ervaren door de eindgebruiker waren hierdoor beter op waarde te schatten en het ontwikkeltraject was hierop afgestemd.

## 8 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Op basis van de inzichten uit dit onderzoek doet KWR onderstaande aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

1. Verbeter de huidige versie 1.0 van *Aquarellus* zodat de tool toepasbaar wordt voor werkelijke distributiegebieden en vervuilingsvraagstukken waar drinkwaterbedrijven mee te maken hebben. Dit vergt de volgende aanpassingen:

- a. verhoog de rekensnelheid, bijvoorbeeld door parallele berekeningen op meerdere processoren uit te voeren of de oplosmethode of discretisatie aan te passen;
- b. uitbreiden van de functionaliteit:
  - voorzie in exporteer mogelijkheden naar XLSX/CSV-formaat en naar GIS Shape-files van getabelleerde uitkomsten;
  - verbeter de grafische weergave van leidingnetkaarten (duidelijkere kleurschema's en toevoegen van legenda's);
  - maak hydraulische en sediment-informatie beschikbaar op het niveau van knooppunten en leidingen;
  - voorzie in functionaliteit voor het berekenen van het gecombineerde effect van meerdere deeltjestypes die in verschillende fracties het leidingnet inkomen.

Uit overleg met de betrokken bedrijven komt naar voren dat voor veel bedrijven de inzetbaarheid van de tool voorop staat. Zij hebben behoefte aan het snel doorrekenen van sedimentatiescenario's op een standaard laptop. Daarbij is het wenselijk dat de eindgebruiker zelf een afweging kan maken tussen nauwkeurigheid en rekensnelheid. Bij een aantal andere bedrijven is tevens behoefte aan nauwkeurige berekeningen voor grotere leidingnetten, die niet vaker dan eens per jaar worden uitgevoerd. Voor dergelijke berekeningen is het minder belangrijk dat ze makkelijk inzetbaar zijn. Om aan beide wensen te voldoen wordt aanbevolen om zowel een laptop-variant als een high performance-variant te ontwikkelen.

2. Karakteriseer deeltjeseigenschappen (deeltjesgrootte, drooggewicht, gloeiërest, Fe/Mn verhouding) van sedimentmonsters uit het leidingnet en voer experimenten uit met een proefinstallatie voor een beter inzicht in relevante inputparameters van *Aquarellus*: bezinksnelheid, bedload transportsnelheid, en de grenswaarden van de schuifspanning voor mobiliteit en resuspensie van deeltjesmateriaal.
3. Kalibreer inputparameters van *Aquarellus* (bezinksnelheid, bedload transportsnelheid, schuifspanningsgrenzen voor mobilisatie en resuspensie) door de modelleerresultaten te vergelijken met troebelheidsmetingen in een pilotgebied.
4. Verbeter het inzicht in de potentie voor verbeterd netwerkbeheer op de volgende onderdelen: (i) verhogen van de effectiviteit van schoonmaakplannen

- en (ii) bepalen van meetlocaties voor onderzoek naar sedimentatiepatronen in het leidingnet.
5. Blijf eindgebruikers betrekken bij de verdere ontwikkeling en voorzie in een goede kennisoverdracht middels o.a een workshop en handleiding, zodat de eindgebruikers de tool zelfstandig leren toepassen.



## 9 Literatuur

- Blokker, E.J.M. (2017). Modelling growth in the distribution network. BTO 2017.077, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- ITS Manual (2018). *P2+ Electrical resistance tomography system –user’s manual. ITS System p2+ Version 9*. Industrial Tomography Systems.
- Kiwa Onderzoek en Advies. *Voorschriften van methoden die gebruikt zijn tijdens LIDO*. BTO 2000.117 (s). Kiwa N.V. Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- Mesman, G.A.M. & Meerkerk, M.A. (2015). *PCD 2 Sediment in drinkwaterleidingen. Beoordelen en beheersen 2015*. PCD 2 (2015), KWR, Nieuwegein.
- Van Summeren, J., Albert, M., Schaap, P. G. & De Kater, H. (2017). *Naar een vervuilingsvoorspellingsmodel. BTO 2017.031*, KWR, Nieuwegein.
- Van Summeren, J., & Blokker, M. (2018), *Modeling particle transport and discoloration risk in drinking water distribution networks*. Drink. Water. Eng. Sci., 10, p.99-107, 2017.
- Vreeburg, J. H. G. (2007). *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Ph.D. thesis report.

# Bijlage I Vragenlijst testen van Aquarellus



Memo

**Bestemd voor:** Evi Loozen, Maarten Torbeyns (De Watergroep), Jeffrey Ramkisoen, Michael Preng, Henk de Kater (Evides), Peter Schaap, Martin Klein Arfman (PWN), Melanie van Schijndel, Ad Vogelaar (Brabant Water), Ralf de Groot (Waternet), Aulia Galama-Tirtamarina, Derk Rauwhorst (WMD), Maarten van der Wal (Waterbedrijf Groningen)

**Betreft:** Testen van Aquarellus door waterbedrijven – Functionaliteit en gebruiksgemak

**Van:** Joost van Summeren (KWR)

**Datum:** 14 maart 2019

## Testen van Aquarellus door waterbedrijven – Functionaliteit en gebruiksgemak

### Achtergrond

Het doel van de hier beschreven experimenten is het testen van de vervuilingsvoorspellingstool *Aquarellus* op functionaliteit en gebruiksgemak. De feedback is nuttig voor toekomstige aanpassingen aan de tool.

### Algemene opmerkingen

Aquarellus wordt als executable meegeleverd, samen met de benodigde library (proj.dll). Er wordt aangenomen dat de gebruiker bekend is met EPANET en het aanpassen van EPANET inputfiles.

We willen jullie bevindingen in het projectrapport opnemen. Daarom vragen we om de tests te beschrijven in een MS Word document. Dit mag beknopt, maar graag volledig zodat de lezer de resultaten in principe zou kunnen reproduceren. Beschrijf ook de conclusies die op basis van de resultaten worden getrokken. Bij elke test staan een aantal suggesties voor het maken van figuren. Zie dit als een basis, eventuele uitbreiding of variaties hierop naar eigen inzicht worden op prijs gesteld. Ook het uitvoeren van eventuele extra berekeningen om de gestelde vragen te beantwoorden zijn uiteraard toegestaan.

Het is de bedoeling dat elk bedrijf de vragenlijst invult ('1. Gebruiksgemak').

Eventuele toepassing op een groter netwerk is alleen genoemd bij test nr. 8. Het staat jullie uiteraard vrij om ook te experimenteren met grotere leidingnetwerken. Eventuele feedback hierover is welkom.

Voor de test 3 ('Stochastisch verbruik') is kennis van SIMDEUM vereist. Nog een tip: om de hydraulische oomstandigheden inzichtelijk te maken is het makkelijk om de grafische mogelijkheden van EPANET te gebruiken.

### Basisinstellingen

Voor de tests wordt het EPANET-model van een wijk in Hoofddorp gebruikt ('Hoofddorp.inp'), beschikbaar gesteld door PWN, waarvoor dank. Tenzij anders vermeld, worden onderstaande standaardinstellingen gebruikt. Controleer of deze instellingen kloppen!

Instellingen in de EPANET input-file:

```
- Modeltijd: 1 week:
[TIMES]
Duration          168:00

- Deeltjesconcentratie bij de bron CONCEN = 0.001 kg/m³.
[SOURCES]
;Node            Type          Quality      Pattern
A1               CONCEN      0.001       SEDIMENT_INFLOW
```

Instellingen in Aquarellus (tabblad 'Settings'). NB. 'Bucket size' staat standaard op 1 mm en dient dus aangepast te worden om de rekentijd te verkorten.

The screenshot shows the 'Settings' tab in Aquarellus with the following values:

- Bucket size (mm): 2
- Particle density (kg/m³): 1100.00000
- Timestep size (sec): 1
- Particle diameter (m): 0.000010
- Critical shear stress: 1
- Resuspension shear stress: 10
- Particle mass (µg): 0.000576
- Particle settlement velocity (mm/s): 0.005448

### 1. Gebruiksgemak

Beantwoord na het uitvoeren van de afgesproken test hieronder de volgende vragen.

1. Zijn de achterliggende principes van de tool goed te **begrijpen** (d.w.z. het theoretisch raamwerk waarop de tool is gebaseerd)?  
.....
2. Hoe ervaart de gebruiker het **gemak** waarmee met de tool is te werken? Wat is goed? Wat kan beter of ontbreekt?  
.....
3. **Visualisatie** (grafische weergave en indeling in tabbladen): Wat is goed? Wat kan beter, of ontbreekt?  
.....
4. Zijn de **rekentijden** acceptabel voor het beoogde doel?  
.....

- .....
5. **Invoerparameters:** Hebben de invoerparameters de juiste eenheden? Ontbreken er nog invoerparameters?
- .....
6. **Uitvoergegevens:** Hebben de uitkomsten de juiste eenheden? Ontbreken er nog uitvoerparameters of exporteer mogelijkheden?
- .....
7. Is de **schaalgrootte** (op het niveau van leidingsecties en per meter leiding) waarop de uitkomsten worden getoond prettig in gebruik?
- .....
8. Zijn er nog andere plus- of minpunten die opvallen?
- .....

## 2. Invloed van de bezinksnelheid

Stel per berekening een andere bezinksnelheid in:

- $5,45 \cdot 10^{-7}$  m/s
- $2,73 \cdot 10^{-6}$  m/s
- $5,45 \cdot 10^{-6}$  m/s (standaardinstelling)
- $1,09 \cdot 10^{-5}$  m/s
- $5,45 \cdot 10^{-5}$  m/s

Maak het deeltjestransport bij de verschillende bezinksnelheden inzichtelijk met:

- kaarten van de sedimentpatronen op gelijke modeltijdstippen
- de waarden van 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase op een aantal verschillende tijdstippen.

Welke verschillen worden zichtbaar na een modeltijd van één week? Wat is de verwachting bij langere simulatieperiode? Ga dit na door de berekening met  $5,45 \cdot 10^{-6}$  m/s uit te voeren met een modeltijd van 4 weken.

## 3. Stochastisch verbruik

Ken met SIMDEUM stochastische verbruikspatronen toe aan alle leidingnetknoten. Zorg daarbij dat het totaalverbruik in het SIMDEUM-model ('SIM') en referentiemodel met standaardinstellingen ('RFM') aan elkaar gelijk zijn.

In de stochastische beschrijving wordt rekening gehouden met de willekeur in het verbruik (openen en sluiten van kranen op kortstondige momenten). Op het niveau van individuele leidingen variëren snelheden sterker bij toekenning van stochastische verbruikspatronen dan graduele patronen. Stroomopwaarts, middelen de stochastische effecten uit en nemen de verschillen tussen de twee methodes af.

Vergelijk de resultaten van de scenario's SIM en RFM. Hoe hangen de sedimentpatronen in het gebied samen met de optredende snelheden en transportprocessen in beide scenario's? Maak hiervoor het

deeltjestransport inzichtelijk met kaarten van de sedimentpatronen op gelijke modeltijden en tijdreeksen van snelheden op relevante leidingen.

#### 4. Invloed van afsluiters

Verbind de knooppunten B701 en C503 met een leiding van lengte 26 m, diameter 35, 2 mm en wandruwheid 0,051 mm. Plaats een afsluiter op leiding L019, met dezelfde diameter en lengte 0. Run zowel een scenario CLOSE met de afsluiter geopend en een scenario OPEN met een dichte afsluiter.

- Wat zijn de verschillen tussen scenario's OPEN en CLOSE in stroomrichting en snelheid van het water? Maak dit inzichtelijk met kaarten van de stroomsnelheid of tijdseries op relevante leidingsecties.
- Wat is het effect op de deeltjestransportprocessen en de sedimentvorming in het gebied? Welke lange-termijn-effecten worden verwacht?

#### 5. Zelfreinigende netten

Het Hoofddorp.inp model bevat leidingtakken met zelfreinigende diameters, maar de dagelijkse maximale snelheden in het gebied zijn op de meeste plekken lager dan de zelfreinigende snelheid. Er is dus sedimentvorming te verwachten in het referentiescenario (scenario RFM).

Pas het standaard netwerk aan met overall 101,6 mm leidingen (scenario UNI). De verwachting is dat dit resulteert in lagere snelheden en meer accumulatie van deeltjes.

Vergelijk de uitkomsten van RFM en UNI.

- Wat zijn de verschillen in de stroomsnelheden? Maak hiervoor tijdreeksen van de snelheid op relevante leidingen.
- Hoe zijn de sedimentmassa's in het gebied verdeeld? Maak hiervoor kaarten van de sedimenten voor de twee scenario's op gelijke tijdstippen.
- Treedt er bed load transport op? Op welke locaties en heeft dit veel invloed op de uiteindelijke sedimentpatronen?

#### 6. Week- vs. weekendverbruik

In het referentiescenario van Hoofddorp (scenario 'RFM') is een dagpatroon gegeven. Pas dit aan, door er (i) een weekpatroon van te maken waarbij de verbruikspatronen zijn aangepast aan de dag van de week (noem dit scenario 'WK'). Maak hierbij gebruik van beschikbare gegevens of inzichten van het waterbedrijf. Zorg dat het totale verbruik (d.w.z. gesommeerd over de hele week en alle verbruikspunten in het model) gelijk is in het WK en RFM scenario. Run beide modellen voor een simulatieperiode van vier weken (waarbij de weekpatronen zich automatisch herhalen). Indien er weinig verschil zit in de uitkomsten, experimenteer dan met een scenario met een overdreven 'extrem' weekpatroon (WKE).

- Wat zijn de verschillen in de snelheidspatronen tussen RFM en WK (of WKE)? Maak dit inzichtelijk met kaarten van stroomsnelheden en/of tijdreeksen van de stroomsnelheid op relevante leidingen.
- Wat betekent dit voor het deeltjestransport en sedimentvorming in het gebied? Maak dit inzichtelijk met kaarten van de sedimentvorming en waarden van 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase op een aantal verschillende tijdstippen.

## 7. Seizoensinvloed

Maak twee weekpatronen representatief voor een zomer- (scenario 'ZOM') en winterperiode (scenario 'WIN'). Gebruik bijvoorbeeld de zomervakantieperiode om zo groot mogelijke verschillen te creëren. Run beide modellen voor een simulatietijd van vier weken. Pas hiervoor de EPANET-modellen aan.

- Wat zijn de verschillen in de snelheidspatronen tussen ZOM en WIN? Maak dit inzichtelijk met kaarten van stroomsnelheden en/of tijdreeksen van de stroomsnelheid op relevante leidingen.
- Wat betekent dit voor het deeltjestransport en sedimentpatronen in het gebied? Maak dit inzichtelijk met kaarten van de sedimentvorming en waarden van 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase op een aantal verschillende tijdstippen.

## 8. Gelijkmatische of tijdsafhankelijke aangevoerde deeltjesconcentratie

Voor dit model is het wenselijk om een leidingnetwerk voor een iets groter gebied door te rekenen. Bijvoorbeeld een grote wijk, of een kleine gemeente. Bepaal wat de reketijden zijn en kijk welke grootte van het gebied nog werkbaar is.

In het referentiescenario met standaardinstellingen (scenario 'RFM') is de CONCEN-waarde constant:

```
[SOURCES]
;Node          Type          Quality      Pattern
A1             CONCEN          0.001              SEDIMENT_INFLOW
```

Elke kuub water die het leidingnet instroomt bevat 1 gram aan deeltjessediment. De aangevoerde deeltjesmassa neemt dus toe als de volumestroom toeneemt.

Het is echter mogelijk dat de concentratie toeneemt bij hogere volumestromen, bijvoorbeeld omdat de zuivering anders reageert op hogere volumestromen, of omdat er in de aanvoerende transportleiding minder materiaal bezinkt (hoewel de transportleiding niet wordt gemodelleerd, is het aanpassen van de bron één manier om dit te simuleren). De invloed op deeltjesaccumulatie in het gebied wordt hier onderzocht door twee scenario's met elkaar te vergelijken.

Gebruik het RFM-scenario met een constante deeltjesconcentratie. Maak een variant waarin de concentratie varieert (scenario 'VAR'): stel daarvoor het patroon van de deeltjesconcentratie (CONCEN-waarde) gelijk is aan het patroon het waterverbruik. Zorg ervoor dat er in totaal evenveel deeltjesmassa het gebied ingaan in beide scenario's. Bereken daarvoor het product van de Concentratie maal Volumestroom bij de bron en sommeer dit over één dag. Noem de uitkomst 'P'. Bereken P voor beide scenario's en maak P van scenario 'VAR' gelijk aan dat van 'RFM' door de CONCEN-waarde van scenario VAR aan te passen.

- Vergelijk de sedimentpatronen in het gebied na een simulatietijd van 4 weken. Maak hiervoor kaarten van de sedimenten voor beide scenario's op gelijke tijdstippen. Toon ook hoe de 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase zich opbouwen in de tijd, door deze op een aantal tijdstippen te rapporteren.
- Wat zijn de meest opvallende verschillen tussen de beide scenario's? Wat betekent dit voor spuiacties in het gebied?

# Bijlage II Evaluatie van testversie Aquarellus: terugkoppeling door experts van drinkwaterbedrijven

## II.1 Reactie van Brabant Water



Locatie : Stad, Straat  
Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
Adviesnummer : 19051

Telefoon 073 638 88 88  
Internet www.brabantwater.nl  
Kinderwebsite www.lesjedorst.nl  
Postadres Postbus 1068  
5200 BC 's-Hertogenbosch  
Bezoekadres Magistratenlaan 200  
5223 MA 's-Hertogenbosch

### Situatie

KWR heeft op 21 maart 2019 een update verzonden van de vervuilingsvoorspellingstool en vraagt conform afspraak aan de deelnemende waterbedrijven om de tool te testen. De feedback is nuttig voor toekomstige aanpassingen aan de tool.

### Doel en vraagstelling

Het doel van de hier beschreven experimenten is het testen van de vervuilingsvoorspellingstool Aquarellus op functionaliteit en gebruiksgemak. Beantwoord na het uitvoeren van de afgesproken test hieronder de volgende acht algemene vragen en beschrijf de resultaten van de specifieke test voor Brabant Water.

### Conclusie

In het huidige testprogramma ontbreken een aantal cruciale functionaliteiten zoals het raadplegen van sedimentatie in grotere netwerken; overdacht van uitvoerdata naar csv-bestanden of excel. Verder zijn de rekenresultaten van totaal sediment op dit moment weinig hoopgevend. Ik kan geen logisch verband zien in de uitkomsten van de doorgerekende varianten. Tot slot is het pakket instabiel bij computers met 8 Gb ram-geheugen: abrupt stoppen door te weinig geheugen en Floating Point Overflow.

### Resultaten functionaliteit en gebruiksgemak

1. Zijn de achterliggende principes van de tool goed te **begrijpen** (d.w.z. het theoretisch raamwerk waarop de tool is gebaseerd)?

Nee, graag meer informatie hierover.

2. Hoe **vaart** de gebruiker het **gemak** waarmee met de tool is te werken? Wat is goed? Wat kan **beter** of **ontbreekt**?

Redelijk; ik mis een aantal functionaliteiten; zoals de export van gegevens in tekstbestanden en een raadpleegfunctie door bijvoorbeeld via een rechtermuisklik op netwerkelementen te klikken en dan de eigenschappen of achterliggend info te zijn. Nu moet dan met een tweede scherm waarin het model geopend is via Epanet.

3. **Visualisatie** (grafische weergave en indeling in tabbladen): Wat is goed? Wat kan beter, of ontbreekt?

Na import van een groter model, zijn de knopen en lijnen nauwelijks zichtbaar de network-optie.

Bij weergaveoptie **Network**; eerst wachten tot hydraulische berekening klaar is. Scherm wordt (soms) pas ververs na activeren knop Pan en muisschuiven.

Tabblad Network>Navigate: wat is de functie van de select-knop? Ik verwacht interactie tussen scherminhoud en de muiswijzer. Hoe kom ik bij informatie of details van het netwerk; rechtermuisknop?

Tabblad Network>Animatie: Wat is de bedoeling van deze knoppen; werken niet bij mij.

Tabblad Network>Visualize: Wat is de bedoeling van de knop Timesteps? Bij keuze water of sediment moet soms eerst scherm ververs worden. Ik mis een legenda met eenheden en intervallen.

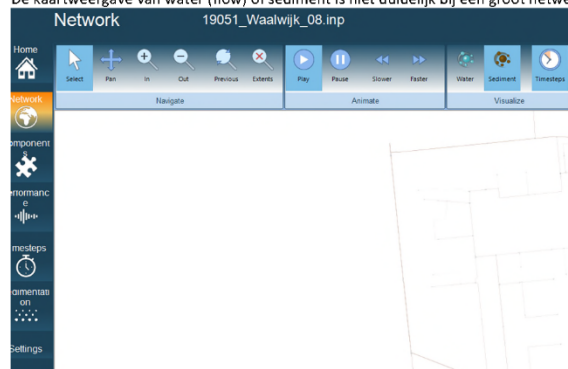
Hoe werkt de schuifbalk onderaan? Bij het verschuiven van de ruit wordt soms de breedte van de tijd-schaal aangepast. Ik krijg de schuifbalk daarna niet meer in de originele stand met weergave van een of zeven dagen. Is naast de tijdaanduiding rechtsom ook een dag- aanduiding mogelijk/functioneel?



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet [www.brabantwater.nl](http://www.brabantwater.nl)  
 Kinderwebsite [www.lesjedorst.nl](http://www.lesjedorst.nl)  
 Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch  
 Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

De kaartweergave van water (flow) of sediment is niet duidelijk bij een groot netwerk; de lijnen zijn te dun



#### Bij weergaveoptie **Components**

Tabblad Components > algemeen: zwarte cijfers zijn invoer en blauw is berekend en blauw correspondeert met het tijdstip van de schuifbalk onderaan.

Tabblad Components > Junctions: Wat is de betekenis van de kolommen Demand: Base, Pattern, Categories, Coefficient, Exponent, Actual en Expected? Hoe correspondeert dit met het verbruik en patroon uit het inbestand? Graag ook eenheden bij in de kop van de kolommen, is pattern een nummer of een waarde. In de invoerfile wordt verwezen naar vraagpatroon 1?

#### Bij weergaveoptie **Performance**

Tabblad Performance > algemeen: hier is zwarte letter berekend; logischer is berekend in blauw. Zijn deze cijfers van bijvoorbeeld demand afgerond op twee decimalen?

De horizontale schuifbalk onderaan, net boven de totaalregel, klein grijs balkje, valt bijna niet op; graag duidelijker.

#### Bij weergaveoptie **Timesteps**

Tabblad Timesteps > algemeen: functie van deze tabel is mij niet duidelijk; inhoud van alle regels is hetzelfde. Mogelijk niet relevant voor ons voorbeeld.

#### Bij weergaveoptie **Sedimentation**

Tabblad Sedimentation > tabel algemeen: graag eenheden aanvullen; bijvoorbeeld Sectional Area in m<sup>2</sup>? Graag ook hier invoer in zwarte en uitvoer in blauwe cijfers zoals bij weergaveoptie Components.

Tabblad Sedimentation > grafiek algemeen: Eenheid van Mass is g; moet volgens mij g/m zijn? Graag flexibele weergave in decimalen aanpassen of wetenschappelijke notatie gebruiken? Of is kleiner dan 0.001 g/m toch

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 2/9  
 Datum advies  
 Datum advies





Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl

Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch

Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

niet relevant? Graag legenda in grafiek voor onderscheid tussen Suspension en Bedload. Weegave van verloop Suspension (lichte stippellijn) mag duidelijker; meer contrast.

#### 4. Zijn de rekentijden acceptabel voor het beoogde doel?

De lange rekentijden zijn een grote belemmering voor analyse van gebieden op wijkniveau met voldoende detail in verbruikslocaties en –patronen.

#### 5. Invoerparameters: Hebben de invoerparameters de juiste eenheden? Ontbreken er nog invoerparameters?

Het is mij niet duidelijk of de waarde voor 'quality timestep' in Epanet>options>times van invloed is op de rekenresultaten. Stond op 0:01 (1 minuut).

#### 6. Uitvoergegevens: Hebben de uitkomsten de juiste eenheden? Ontbreken er nog uitvoerparameters of exporteer mogelijkheden?

Zie opmerkingen bij Visualisatie. Wat ik vooral mis is de mogelijkheid van het kopiëren/exporteren van de uitvoer naar eigen tabellen in Excel. In andere programma's kan je via de rechtermuisknop velden selecteren en via copy/paste overzetten naar een andere applicatie

Bij de export van (grote) .sed-bestanden geeft mijn PC de melding 'Aquarellus reageert niet' ter wijl het nog aan het wegschrijven is. Kan hier een zandloperkje of iets dergelijks met tijdindicatie of voortgang toegevoegd worden. Dit voorkomt (onbedoeld) afsluiten van het programma met verlies van resultaten.

#### 7. Is de schaalgrootte (op het niveau van leidingsecties en per meter leiding) waarop de uitkomsten worden getoond prettig in gebruik?

Voor de testmodellen wel.

#### 8. Zijn er nog andere plus- of minpunten die opvallen?

Voor het vergelijken van varianten of scenarios's zijn de rekeninstellingen van belang; zoals Bucketsize en timestep. Deze worden niet ververst bij het importeren van een netwerk of resultaat.sed bestand. Kunnen de settings eventueel ook in het sed-bestand opgenomen worden.

Vanwege de soms lange rekentijd zou het handig zijn dat zodra de berekening klaar is er een export naar een sed-bestand gemaakt wordt. Inclusief de gebruikte settings.

Na het importeren van hoofddorp\_12 kreeg ik de foutmelding Floiting point overflow bij het raadplegen van de sedimentatietabel.

Bij netwerkmodellen van meer dan 7 km leidinglengte en een modeltijd van meer dan 7 dagen liep de computer (8 Gb ram) vast door onvoldoende geheugen. Bij het inlezen van een sed-bestand van circa 3 Gb en excel open liep ik eveneens vast door te weinig werkgeheugen.

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening

Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 3/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl  
 Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch  
 Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

### Resultaten specifieke opdracht Brabant Water

Doel van de test is om het verschil te berekenen van gelijkmatige of van tijdsafhankelijke aangevoerde deeltjesconcentratie.

De tekst van de opdracht was:

Voor dit model is het wenselijk om een leidingnetwerk voor een iets groter gebied door te rekenen. Bijvoorbeeld een grote wijk, of een kleine gemeente. Bepaal wat de reaktietijden zijn en kijk welke grootte van het gebied nog werkbaar is.

In het referentiescenario met standaardinstellingen (scenario 'RFM') is de CONCEN-waarde constant:  
 [SOURCES]  
 ;Node Type Quality Pattern  
 A1 CONCEN 0.001 SEDIMENT\_INFLOW

Elke kuub water die het leidingnet instroomt bevat 1 gram aan deeltjes sediment. De aangevoerde deeltjesmassa neemt dus toe als de volumestroom toeneemt.

Het is echter mogelijk dat de concentratie toeneemt bij hogere volumestromen, bijvoorbeeld omdat de zuivering anders reageert op hogere volumestromen, of omdat er in de aanvoerende transportleiding minder materiaal bezinkt (hoewel de transportleiding niet wordt gemodelleerd, is het aanpassen van de bron één manier om dit te simuleren). De invloed op deeltjesaccumulatie in het gebied wordt hier onderzocht door twee scenario's met elkaar te vergelijken.

Gebruik het RFM-scenario met een constante deeltjesconcentratie. Maak een variant waarin de concentratie varieert (scenario 'VAR'): stel daarvoor het patroon van de deeltjesconcentratie (CONCEN-waarde) gelijk is aan het patroon het waterverbruik. Zorg ervoor dat er in totaal evenveel deeltjesmassa het gebied ingaan in beide scenario's. Bereken daarvoor het product van de Concentratie maal Volumestroom bij de bron en sommeer dit over één dag. Noem de uitkomst 'P'. Bereken P voor beide scenario's en maak P van scenario 'VAR' gelijk aan dat van 'RFM' door de CONCEN-waarde van scenario VAR aan te passen.

- Vergelijk de sedimentpatronen in het gebied na een simulatietijd van 4 weken. Maak hiervoor kaarten van de sedimenten voor beide scenario's op gelijke tijdstippen. Toon ook hoe de 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase zich opbouwen in de tijd, door deze op een aantal tijdstippen te rapporteren.

- Wat zijn de meest opvallende verschillen tussen de beide scenario's? Wat betekent dit voor spuiacties in het gebied?

### Testen modellen Hoofddorp en Waalwijk

Om ervaring met het pakket te krijgen, heb ik eerst voor het kleine testmodel hoofddorp twee varianten doorgerekend:

Hoofddorp\_01 met een constante aanvoer van 0.001 kg/m<sup>3</sup> en

Hoofddorp\_12 met een variabele aanvoer gelijk aan het verbruikspatroon maar met een aangepaste beginconcentratie zodanig dat de aanvoer per dag gelijk blijft. De berekening van de beginconcentratie staat in tabblad sedpat hoofddorp.

Voor een klein gedeelte (circa 7 km) van het netwerk van Waalwijk zijn twee varianten doorgerekend:

Waalwijk\_07 met een constant aanvoer van 0,001 kg/m<sup>3</sup>; Waalwijk\_09 met een variabele aanvoer. De berekening van de beginconcentratie staat in tabblad sedpat waalwijk.

Het raadplegen van de sedimentatiepatronen in het net is niet mogelijk door de beperkte uitvoermogelijkheden.

In de volgend grafieken is de opbouw van totaal sediment in suspensie en als bedload weergegeven voor de

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

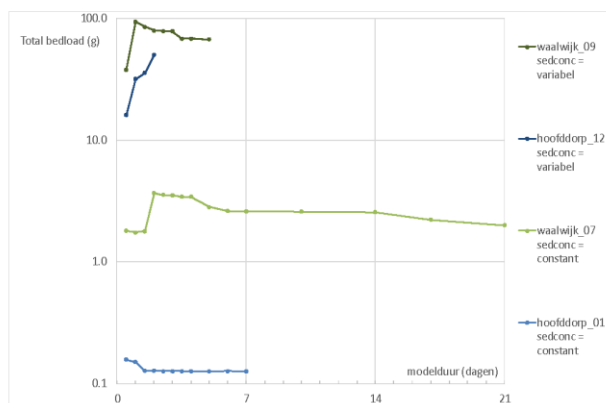
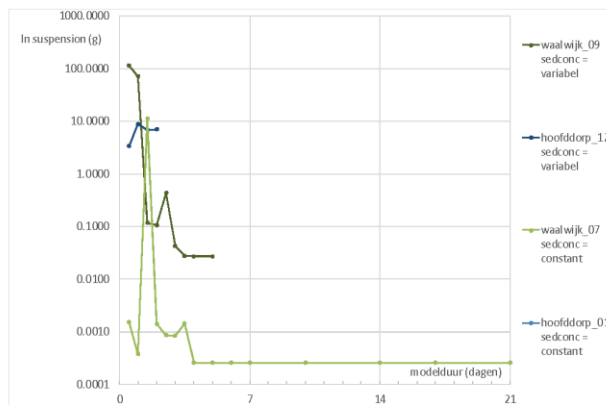
Pagina 4/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl  
 Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch  
 Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

vier varianten. De resultaten lijken me weinig hoopgevend; ik kan geen echte logica vinden.



Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 5/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl

Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch

Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Anvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

### Logboek testbestanden Hoofddorp en Waalwijk

1. Installeer Epanet en Aquarellus en hulpbestanden op C:\Temp\19051 KWR sediment; programma's en bestanden werken niet goed vanuit netwerkschrijven of intranet bij Brabant Water

Naam	Gewijzigd op	Type	Grootte
archief	25-3-2019 08:11	Bestandmap	
Aquarellus.exe	25-3-2019 09:45	Toepassing	25.585 kB
Hoofddorp.inp	25-3-2019 09:34	INP-bestand	38 kB
Hoofddorp_1.inp	25-3-2019 09:44	INP-bestand	44 kB
proj.dtl	21-3-2019 13:51	Toepassinguitbee...	461 kB
TMP1.S55	25-3-2019 09:45	S55-bestand	0 kB

2. Controleren van basisinstellingen en wegschrijven van leesbare versie van Hoofddorp.inp bestand.
  - a. Open Epanet en laad netwerkbestand Hoofddorp.inp in en exporteer na controle als bestand Hoofddorp\_1.inp. (basis scenario RFM)
  - b. Controleer of de instellingen kloppen in de EPANET input-file:

- Modeltijd: 1 week:

[TIMES]  
 Duration 168:00

- Deeltjesconcentratie bij de bron CONCEN = 0.001 kg/m<sup>3</sup>.

[SOURCES]  
 jNode Type Quality Pattern  
 A1 CONCEN 0.001 SEDIMENT\_INFLOW

3. Open Aquarellus en laadt Hoofddorp\_1.inp in
  - a. Wijzig bucket size in optie Settings van 1 (standaardinstelling) naar 2 mm; de rest staat goed

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening

Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 6/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl  
 Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch  
 Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

- b. Start de simulatie in optie sedimentation: druk op play-knop; duurt **circa 5 uur** op PC C18173 bij Brabant Water

Start: 25-03-19 @ 10:16:42    Current: 25-03-19 10:33:29    Finish: 25-03-19 @ 15:15:38

4. Resultaat via optie Sedimentation geexporteerd naar Hoofddorp\_1.sed.  
 5. Maak een variant Hoofddorp\_12 waarin de concentratie varieert (scenario 'VAR'). Hiervoor is het patroon van de deeltjesconcentratie (CONCEN-waarde) gelijk is aan het patroon het waterverbruik. Via correctie van de CONCEN-waarde van scenario VAR is ervoor gezorgd dat er in totaal evenveel deeltjesmassa het gebied ingaat als in in het basisscenario 'RFM'
- Open Hoofddorp.inp in Epanet 2 en zorg dat de simulatietijd op 48:00 uur staat.> Options> Times
  - Exporteer het netwerkbestand als Hoofddorp\_12.inp
  - Open Hoofddorp\_12.inp met Wordpad en pas eerst lettertype aan voor betere leesbaarheid van 11 naar 9 punts letter
  - Ga naar het kopje [PATTERNS] via optie zoeken naar tekstveld '[PATTERNS]'
  - Kopieer de regels met het verbruikspatroon 1 naar de regel onder SEDIMENT\_INFLOW
  - Wijzig van deze regels de patroonnaam van '1' naar 'SEDIMENT\_INFVAR'

SEDIMENT_INFLOW	1.0				
:					
SEDIMENT_INFVAR	1.6900	2.3500	2.5380	3.2700	3.3000
2.9120					
SEDIMENT_INFVAR	2.8760	1.9460	1.2520	1.3200	1.8420
2.1640	etc				

- g. Wijzig daarna bij [SOURCES] de patroonnaam in SEDIMENT\_INFVAR en de waarde van Quality met de berekende waarde uit het excel-bestand; de gemiddelde uurfactor; (=0.001/2.2795\*1.3488)

[SOURCES]	Type	Quality	Pattern
;Node	CONCEN	0.0005917	SEDIMENT_INFVAR
A1			

#### Logboek testbestanden 19051\_Waalwijk

- Controleren van basisinstellingen en wegschrijven van leesbare versie van Waalwijk.inp bestand.
  - Open Epanet en laad netwerkbestand Waalwijk\_6.inp (export uit InfoWorks) in en exporteer na controle als bestand Waalwijk\_07.inp. (basis scenario met constante sediment Conc=0.001 kg/m3)
  - Controleer of de instellingen kloppen in de EPANET input-file:

- Modeltijd, report en options:	
[TIMES]	
Duration	504:00
Hydraulic Timestep	0:15
Quality Timestep	0:05
Pattern Timestep	0:15
Pattern Start	0:00
Report Timestep	0:05
Report Start	0:00

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 7/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl

Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch

Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

```

Start ClockTime 0
Statistic NONE

[REPORT]
Status Full
Summary No
Page 0

[OPTIONS]
Units CMH
Headloss D-W
Specific Gravity 1
Viscosity 1
Trials 40
Accuracy 0.001
CHECKREQ 2
MAXCHECK 10
DAMPLIMIT 0
Unbalanced Continue 10
Pattern 1
Demand Multiplier 1.0
Emitter Exponent 0.5
Quality Chemical mg/l
Diffusivity 1.21E-09
Tolerance 0.01

- Deeltjesconcentratie bij de bron CONCEN = 0.001 kg/m3.
[SOURCES]
;Node Type Quality Pattern
Aanvoer CONCEN 0.001 SEDIMENT_INFLOW

[PATTERNS]
SEDIMENT_INFLOW 1.0
;

```

```

- Modeltijd, report en options van Waalwijk_09.inp:
TIMES]
Duration 120:00
Hydraulic Timestep 0:05
Quality Timestep 0:05
Pattern Timestep 0:15
Pattern Start 0:00
Report Timestep 0:05
Report Start 0:00
Start ClockTime 0
Statistic NONE

[REPORT]
Status Full
Summary No
Page 0

```

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 8/9  
 Datum advies  
 Datum advies



Telefoon 073 638 88 88  
 Internet www.brabantwater.nl  
 Kinderwebsite www.lesjedorst.nl  
 Postadres Postbus 1068  
 5200 BC 's-Hertogenbosch  
 Bezoekadres Magistratenlaan 200  
 5223 MA 's-Hertogenbosch

Locatie : Stad, Straat  
 Aanvrager : Zaadstra, Egbert  
 Adviesnummer : 19051

```
[OPTIONS]
Units          CMH
Headloss       D-W
Specific Gravity 1
Viscosity      1
Trials         40
Accuracy       0.01
CHECKFREQUENCY 2
MAXCHECK      10
DAMPLIMIT     0
Unbalanced    Continue 10
Pattern       1
Demand Multiplier 1.0
Emitter Exponent 0.5
Quality       Chemical mg/L
Diffusivity   1.21E-09
Tolerance     0.01

- Deeltjesconcentratie bij de bron CONCEN = 0.001 kg/m3 gemiddeld over de dag
[SOURCES]
;Node Type Quality Pattern
Aanvoer: CONCEN 0.0019012 SEDIMENT_INFWAA

[PATTERNS]
SEDIMENT_INFLOW 1.0
;
SEDIMENT_INFWAA 0.526000 0.476000 0.394000 0.342000 0.326000
0.291000
SEDIMENT_INFWAA 0.326000 0.303000 0.280000 0.290000 0.283000
0.261000 etc...
```

Behandeld door: Vogelaar, Ad  
 Watervoorziening  
 Direct tel. nr.:  
 E-mail:

Pagina 9/9  
 Datum advies  
 Datum advies

## II.2 Reactie van De Watergroep

### Tests Aquarellus

#### Gebruiksgemak

1. Zijn de achterliggende principes van de tool goed te **begrijpen** (d.w.z. het theoretisch raamwerk waarop de tool is gebaseerd)?

Ja

2. Hoe ervaart de gebruiker het **gemak** waarmee met de tool is te werken? Wat is goed? Wat kan beter of ontbreekt?

Het is werkbaar. Het is jammer dat er geen rechtstreekse koppeling is met Epanet. Dit zou handig zijn om bijvoorbeeld zelf kaartjes te maken.

3. **Visualisatie** (grafische weergave en indeling in tabbladen). Wat is goed? Wat kan beter, of ontbreekt?

De verschillende tabbladen zijn overzichtelijk. De iconen worden wel niet helemaal weergegeven voor sommige tabbladen:



Network:

- Suggestie: mogelijkheid om knopen uit te schakelen in network
- Visualisatie van sediment is heel traag. Bestaat er een legende bij dit thema want dat is nu niet duidelijk?

Grafiek van massa bedload en suspension:

- Is heel handig!
- De waarden in de massa-as (rechts) zijn niet altijd duidelijk door afronding op 1 cijfers na de komma.
- Door te scrollen zoom je in op deze grafiek (enkel rechter y-as?). Er lijkt iets mis te lopen waardoor ik de massa (linker y-as) niet meer zie op de grafiek wanneer ik per ongeluk gescrolld heb, ik krijg het juiste beeld dan niet meer terug.
- Bijkomende suggestie om meerdere leidingen te combineren in 1 grafiek (langer traject).
- Suggestie voor bijkomende grafiek per leiding: totale massa (bedload en suspension) met tijd in de x-as.

4. Zijn de **rekeningtijden** acceptabel voor het beoogde doel?

De lange rekeningtijden zijn niet werkbaar. Als de resultaten op een gemakkelijkere manier zouden kunnen worden opgeslagen (en je dus maar 1 keer een netwerk met gelijke inputparameters moet runnen) zou dit al veel werkbaarder zijn. Normaal kan dit via export en import, maar dan krijg ik andere resultaten. Ik heb dit gemeld aan Mark Morley, maar voorlopig nog geen antwoord.

5. **Invoerparameters**: Hebben de invoerparameters de juiste eenheden? Ontbreken er nog invoerparameters?



Ja

6. **Uitvoergegevens** Hebben de uitkomsten de juiste eenheden? Ontbreken er nog uitvoerparameters of exporteer mogelijkheden?

Exportmogelijkheid naar excel op vraag toegevoegd door Mark Morley. Zo kunnen er analyses mee gedaan worden en bijvoorbeeld verschillende simulatieresultaten worden vergeleken, wel slechts bij 1 tijdstap.

7. Is de **schaalgrootte** (op het niveau van leidingsecties en per meter leiding) waarop de uitkomsten worden getoond prettig in gebruik?

Lijkt me zeker groot genoeg. Wat mij betreft mag dit kleiner indien dit de rekentijd zou verkorten.

8. Zijn er nog andere plus- of minpunten die opvallen?

Het programma loopt af en toe vast (ik weet zelf ook niet wanneer).  
Bij het tabblad 'performance' worden enkel resultaten weergegeven bij de knopen, niet bij leidingen.

II.3 **Reactie van Evides****Memo**

Aan: Joost van Summeren  
 Van: Henk de Kater  
 Nummer: AMI TAB 20190423 v2  
 Datum: 09-05-2019  
 Verzendlijst: <Namen>  
 Betreft: Testen Aquarellus  
 Bijlage(n): <Bijlage(n)>

**Inleiding**

Voor het testen is gebruik gemaakt van Aquarellus:

Bestandsversie 0.1.0.7  
 Productnaam VlinderNET  
 Productversie 1.0.0.0  
 Copyright KWR Watercycle Research Institute  
 Grootte 28.8 MB  
 Gewijzigd op 11-04-2019 9:59  
 Taal Engels (Verenigde Staten)

**Basisinstellingen**

Voor de modeltijd is 24 uur aangehouden i.v.m. rekentijd:

[TIMES]  
 Duration 24:00

Deeltjesconcentratie bij de bron zoals aangegeven:

[SOURCES]  

; Node	Type	Quality	Pattern
A1	CONCEN	0.001	SEDIMENT_INFLOW

Voor de Bucket size en overige parameters zijn de voorgestelde waarden gekozen:

Bucket size (mm):	2	Particle density (kg/m <sup>3</sup> ):	1100.00000
Timestep size (sec):	1	Particle diameter (m):	0.000010
Critical shear stress:	1		
Resuspension shear stress:	10		
		Particle mass (µg):	0.000576
		Particle settlement velocity (mm/s):	0.005448

Aanvullend zijn nog 168 uur berekeningen (7 dagen) uitgevoerd voor de 3 scenario's.

## Gebruiksgemak

1 Principes: Voor de achterliggende principes is voorkennis nodig. Dat is het beschikbare theoretische raamwerk uit de afgeronde onderzoeksfase. De hierin beschreven processen zijn indirect uit de tool te herleiden (bezinksnelheid, opwerveling, bodemtransport).

2 Gemak: De user interface ziet er goed uit en werkt goed met de EPANET input files. Hier en daar is er nog wel ruimte voor verbetering. Met name het scrollen door de data (kleine schuifknopjes) en het hele proces van voorbereiden en berekenen (EPANET) en berekenen in Aquarellus kan verbeterd worden

3 Visualisatie: Het visueel maken van de hydraulische resultaten voegt weinig toe en is misschien vooral bedoeld als check. Bij de uitvoer van de sedimentberekening kan met bijvoorbeeld labels of opties met het kleuren van leidingen/knopen het beeld worden verbeterd. De legenda bij Network animatie ontbreekt nu. Wat zien we hier precies? We zien het sediment/water verloop wel, maar we kunnen er geen conclusie aan vastknopen.

Met het grafisch presenteren van resultaten over de berekende periode kan in 1 oogopslag een beeld worden gegeven.

4 Rekentijden: Bij een 168 uur (7 dagen) simulatie is de rekestijd ruim 6 uur. Dit is voor zo een klein model aan de lange kant. We hebben eerst alleen 24 uren berekeningen uitgevoerd die ongeveer 1 uur duurden. Aanvullend in 3 nachten de 3 7 dagen simulaties.

5 Invoerparameters: Geen fouten in eenheden geconstateerd. Eenheden ontbreken bij "stress" waarden. Eerder is al gesproken over variaties in deeltjes spuismonsters en bezinksnelheden. Zijn die dan in beeld te brengen door verschillende berekeningen?

6 Uitvoergegevens: De totale sedimentmassa bestaat uit "Suspension" en "Bedload", beiden in grammen, de concentratie vanuit de bron is niet zichtbaar. In de grafiek per leidingsectie zien we "Bedload" als genormaliseerde hoogte per meter buis en een berekende waarde in tabel. Relatie is me niet duidelijk. Bij het vergelijken van verschillende scenario's zou het makkelijk zijn om uitkomsten in tabelvorm naar Excel (of csv) te kunnen exporteren. Is het mogelijk om resultaten weer in EPANET te presenteren?

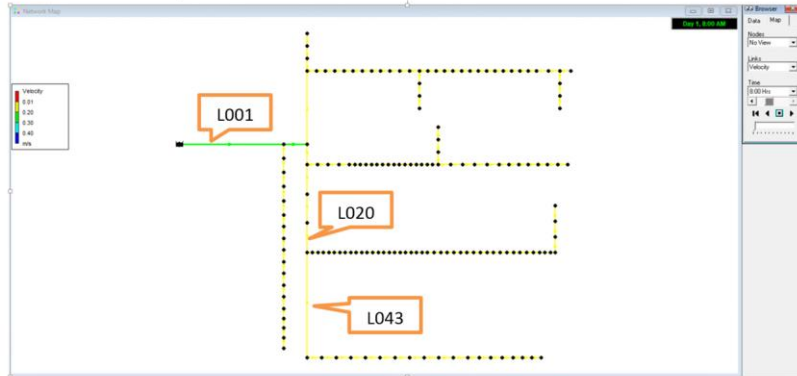
7 Schaalgrootte: Gaat in dit model redelijk goed omdat er veel leidingen zijn met lengte 5 – 10 meter. Er is ook een leiding van 67 meter met informatie per meter. Van belang voor rekestijd en consistentie?

8 Overig: Handig om te weten dat je de sedimentberekeningen apart moet opslaan/exporteren, anders is het weer een uur wachten (of 6 uur als je pech hebt). Bij het opnieuw laden van een sedimentberekening blijft de oorspronkelijke \*.ini naam staan, dat klopt dan niet altijd met elkaar.

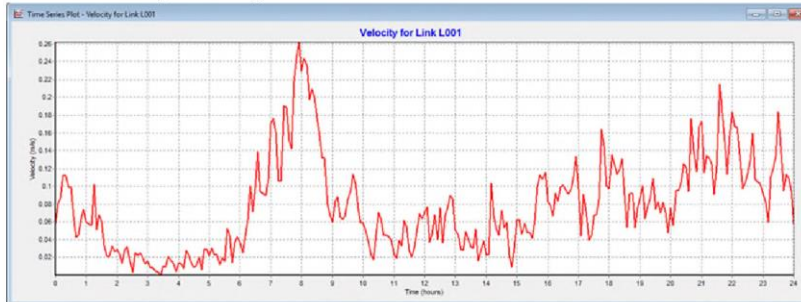
Bij het Home scherm kun je files importeren maar ook afsluiten. Het "Close" knopje werkt niet.

### Invloed van afsluiters

Check in basis model patroon en snelheden. Uur 8 is max uur:



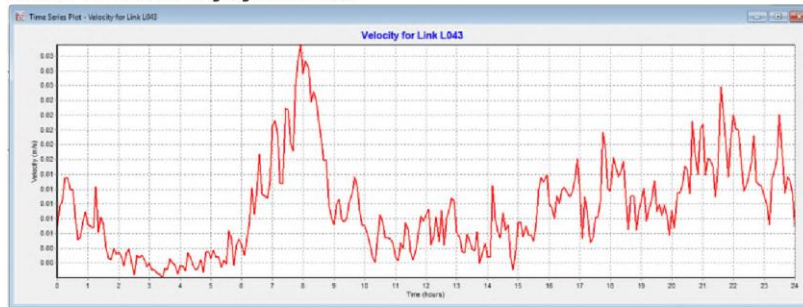
Aanvoer via L001 lijkt zelfreinigend:



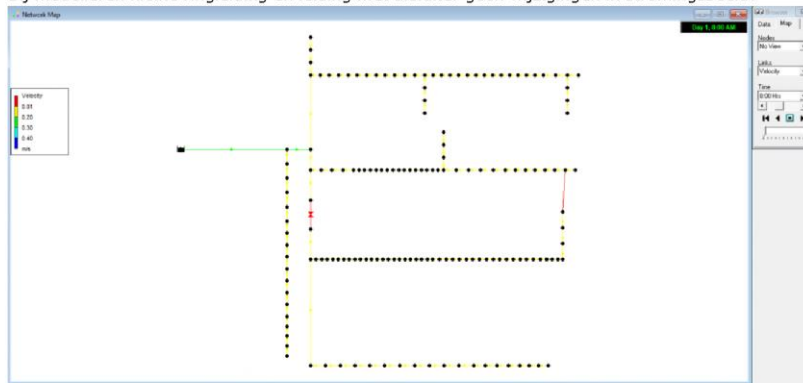
Aanvoer via L020 heeft al een te lage snelheid:



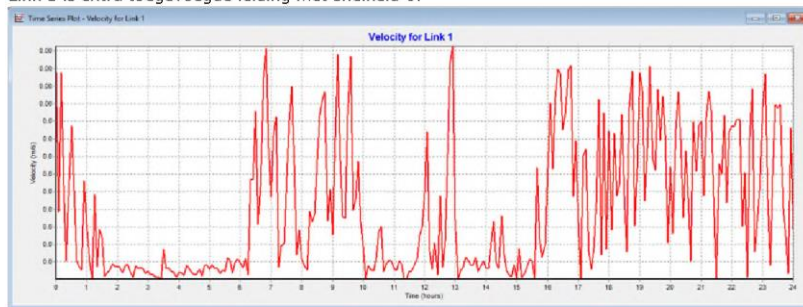
Aanvoer via L043 met nog lagere snelheid:



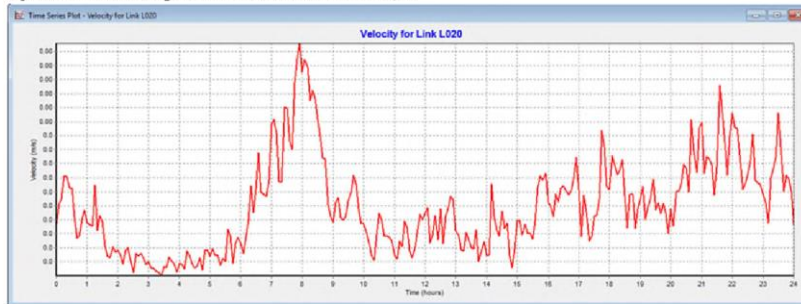
Bij modelleren kleine ringleiding en leiding met afsluiter geen wijzigingen in stromingsbeeld:



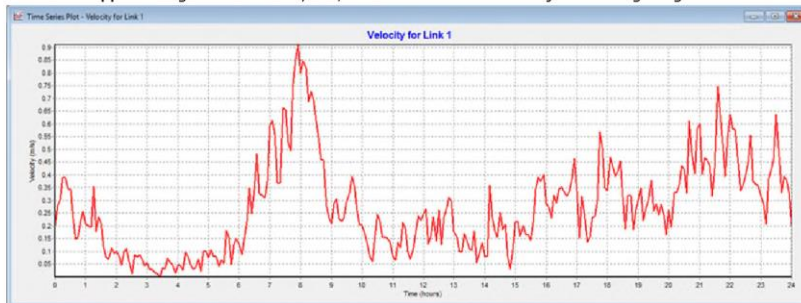
Link 1 is extra toegevoegde leiding met snelheid 0.



Bij sluiten afsluiter gaat snelheid L020 naar 0 m/s:

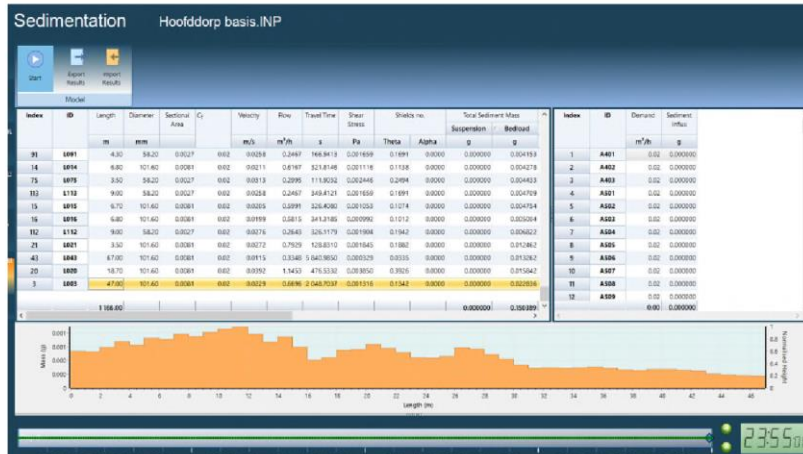


Snelheid koppelleiding neemt naar 0,9 m/s maar volumestroom blijft relatief gering:

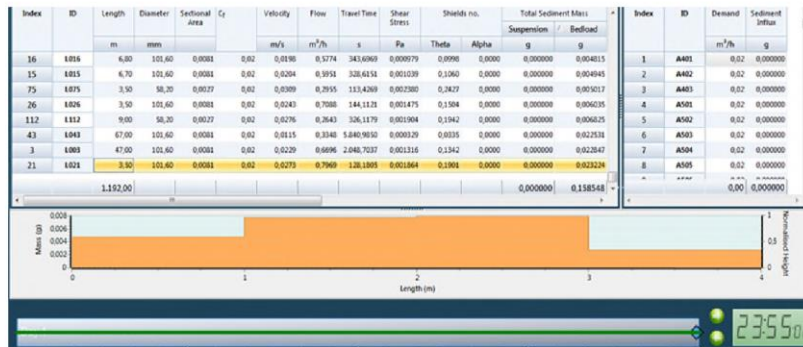


Resultaten sedimentberekeningen

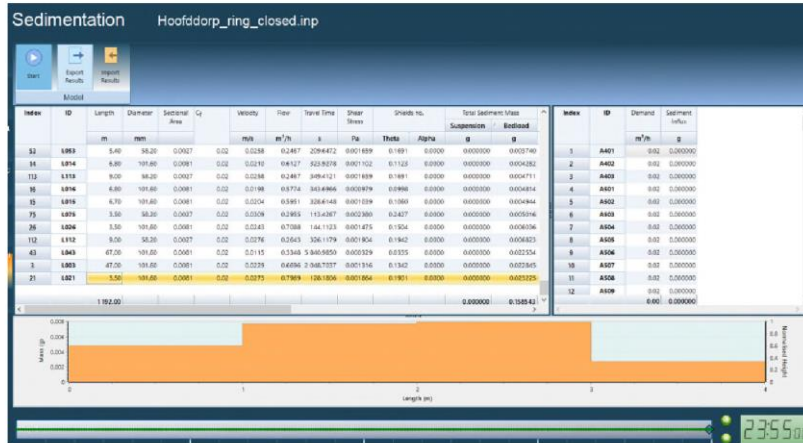
Basis (vertakt) na 24 uur



Ring open na 24 uur



Ring gesloten na 24 uur



Het blijkt dat het aanleggen van de ringleiding nauwelijks invloed heeft op het stromingsbeeld. Dit wordt bevestigd door de sedimentberekeningsresultaten, hoewel het exact overeenkomen van de waarden weer vragen oproept m.b.t. de gevoeligheid.

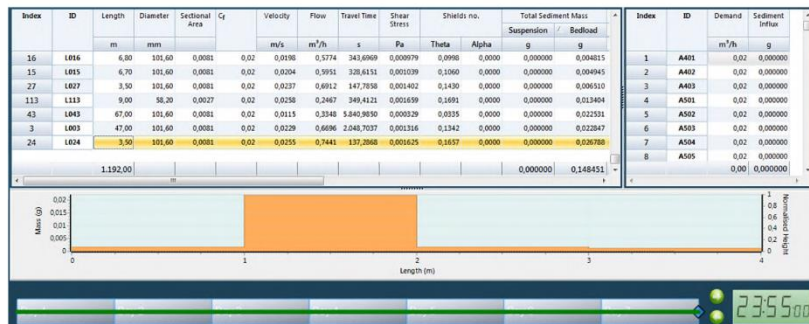
Bij het sluiten van de afsluiter treedt er veel meer sedimentatie op in leidingdeel L021 (kwam niet voor in de top), terwijl leidingdeel L020 nu schoon blijft. Veel van de overige top-leidingen worden niet beïnvloed door de netwijziging dus daar wijzigt weinig.



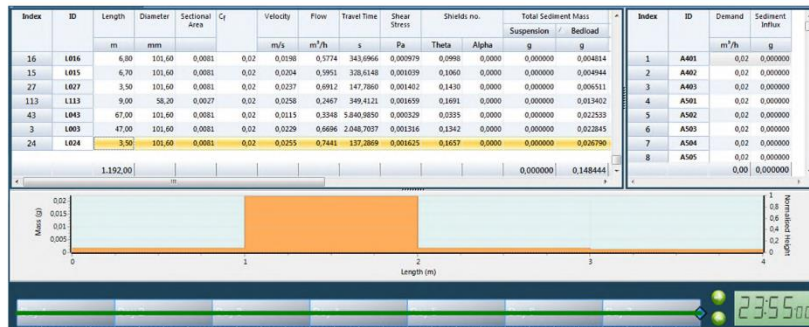
168 uur basis



168 uur open



168 uur gesloten



	168 basis	168 open	168 closed	24 basis	24 open	24 closed
1	L014	L016	L016	L015	L015	L015
2	L015	L015	L015	L016	L075	L075
3	L016	L027	L027	L112	L026	L026
4	L043	L113	L113	L021	L112	L112
5	L113	L043	L043	L043	L043	L043
6	L023	L003	L003	L020	L003	L003
7	L003	L024	L024	L003	L021	L021
sediment	0,1255	0,1485	0,1484	0,1504	0,1585	0,1585

Als we de top 7 leidingen met het meeste sediment bekijken dan valt op:

- Weinig verschil in totaal sediment tussen 24 uur en 168 uur
- Geringe toename en verschuiving bij 24 uur of 168 uur, L003 heeft maximum
- Bij ring open of gesloten verschuift L023 2<sup>e</sup> plaats basis naar L024 1<sup>e</sup> plaats in 24 uurs berekening
- Bij ring open of gesloten verschuift L020 2<sup>e</sup> plaats basis naar L021 1<sup>e</sup> plaats in 168 uurs berekening

Nog niet echt een gevoel bij deze uitkomsten.

## II.4 Reactie van Waternet

Hieronder volgt een reactie van Waternet per e-mail:

*Naast de algemene gebruikservaring is aan Waternet ook gevraagd om de seizoensinvloed te bekijken. Voor het model Hoofddorp zijn een tweetal modellen gemaakt, zomer en winter. Hiervoor is gebruik gemaakt van het verbruikspatroon dat reeds aanwezig was in het model van Hoofddorp. Voor de zomer is het verbruik vermenigvuldigd met 1,2 en voor de winter met 0,8.*

*In het model van Hoofddorp was slechts één verbruikspatroon aanwezig. Hierdoor is er geen verschil in een doordeweeks- of weekendverbruik. Voor het doorrekenen van een viertal weken is dit patroon 28 keer herhaald. De binsize/bucketsize is, mede op jullie advies, verhoogd naar 4mm, dit om de rekentijd te verkorten. Het doorrekenen van één model bedraagt nu ca. 10 a 11 uur.*

*Uit het EPANET model zijn de volgende maximale snelheden af te lezen:*

*ZOMER – Link L001 (toevoerleiding): 0,31 m/s*

*Winter – Link L001 (toevoerleiding): 0,21 m/s*

*Voor het verdere onderzoek omtrent het deeltjestransport en sedimentpatronen lopen wij vast, wij krijgen dit niet te zien in het model en geen waardes in de tabellen. De eerste minuten is er enige sediment te zien maar bijv. na de volledige 28 dagen is er niets te zien. De modellen met de instellingen die wij gebruiken worden bij deze verstrekt per mail. De vraag aan jullie om deze te controleren of aan te geven waar dit aan ligt. Het is voor ons nu onduidelijk waar, met welke knoppen, e.e.a. kan worden gewijzigd.*

## II.5 Reactie van WMD

# Rapport Aquarellus WMD

Bestemd voor: Joost van Summeren (KWR)  
 Betreft: Testen van Aquarellus door waterbedrijven – Functionaliteit en gebruiksgemak  
 Van: Derk Rouwhorst (WMD)  
 Datum: 2019-05-07 13:05:10

## 1. Gebruiksgemak

De vragen uit Tabel 1 zijn beantwoord tijdens en na het uitvoeren van de afgesproken testen.

Tabel 1, antwoorden op de vragen over het gebruiksgemak.

Nummer	Vraag	Antwoord
1	Zijn de achterliggende principes van de tool goed te begrijpen (d.w.z. het theoretisch raamwerk waarop de tool is gebaseerd)?	Misschien wel, maar ik heb de documentatie hierover nog niet gezien. Wat ik tot nu toe heb begrepen: een EPANET-bestand wordt ingeladen, dan wordt de hydraulische simulatie met een EPANET-module uitgevoerd, daarna berekent de tool discreet (met opgegeven tijd- en ruimtestap) de verplaatsing van sediment, waarin drie soorten van sedimentvoorbeweging worden onderscheiden.
2	Hoe ervaart de gebruiker het gemak waarmee met de tool is te werken? Wat is goed? Wat kan beter of ontbreekt?	De tool is eenvoudig en overzichtelijk. Het EPANET-netwerk is eenvoudig in te laden. In de Performance tab ontbreekt informatie bij Flow, Velocity, Headloss en Energy
3	Visualisatie (grafische weergave en indeling in tabbladen): Wat is goed? Wat kan beter, of ontbreekt?	Het bewegen van de horizontale scrolbalk in Sedimentation veroorzaakt flikkergedrag in de tabel.
4	Zijn de reketijden acceptabel voor het beoogde doel?	De reketijden zijn wel verbeterd, dat is mooi.
5	Invoerparameters: Hebben de invoerparameters de juiste eenheden? Ontbreken er nog invoerparameters?	Bij Settings > Timestep size moet eenheid worden weergegeven als (s)
6	Uitvoergegevens: Hebben de uitkomsten de juiste eenheden? Ontbreken er nog uitvoerparameters of exportermogelijkheden?	Het zou handig zijn als de tabellen te kopiëren zouden zijn (met bijvoorbeeld Ctrl + c). Bij mijn weten was er vroeger een extra kolom bij Total Sedimentation Mass, namelijk Static. Op tabblad Sedimentation heeft Sectional Area geen eenheid
7	Is de schaalgrootte (op het niveau van leidingsecties en per meter leiding) waarop de uitkomsten worden getoond prettig in gebruik?	Als er iets getoond zou worden ... in het tabblad Network heb je een Select-knop, maar hiermee kun je niets selecteren, geen informatie over knopen of leidingen (naam, specificaties, etc.) en ook niets over de simulatieresultaten.
8	Zijn er nog andere plus- of minpunten die opvallen?	Zie mijn advies "Aquarel-Improvements-and-Advice.docx", verwijzing gestuurd op 14 februari en 14 maart 2019, waarin verbeteringen staan die nog niet zijn uitgevoerd..

## 6. Week- versus weekendverbruik

De drie scenario's uit Tabel 2 zijn bestudeerd.

Tabel 2, te bestuderen scenario's.

Nummer	Afkorting	Naam	Omschrijving
1	RFM	Referentiemodel	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulatieduur van vier weken.</li> <li>2. Genormaliseerd verbruikspatroon met een periode van een dag.</li> <li>3. Het verbruikspatroon representeert het gemiddelde dagpatroon.</li> </ol>
2	WK	Week	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulatieduur van vier weken.</li> <li>2. Genormaliseerd verbruikspatroon met een periode van een week.</li> <li>3. Het verbruikspatroon representeert het gemiddelde weekpatroon.</li> </ol>
3	WKE	Week extreem	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulatieduur van vier weken.</li> <li>2. Genormaliseerd verbruikspatroon met een periode van een week.</li> <li>3. Het verbruikspatroon representeert een extreem weekpatroon.</li> </ol>

Te behandelen punten:

1. Wat zijn de verschillen in de snelheidspatronen tussen RFM en WK (of WKE)? Maak dit inzichtelijk met kaarten van stroomsnelheden en/of tijdreeksen van de stroomsnelheid op relevante leidingen.
2. Wat betekent dit voor het deeltjestransport en sedimentvorming in het gebied? Maak dit inzichtelijk met kaarten van de sedimentvorming en waarden van 'Total sediment mass' in de 'Suspension' en 'Bed load' fase op een aantal verschillende tijdstippen.

### 6.1 Verschillen in snelheidspatronen

De te beantwoorden vraag is wat de verschillen zijn in de snelheidspatronen tussen RFM en WK (of WKE)? Dit moet inzichtelijk gemaakt worden met kaarten van stroomsnelheden en/of tijdreeksen van de stroomsnelheid op relevante leidingen.

Er zijn bij mijn weten drie manieren om simulatiegegevens uit Aquarellus te halen:

1. Inzichtelijk maken met een geografische weergave op het tabblad Network
2. Inzichtelijk maken met een tabel in het tabblad Sedimentation
3. Export van de resultaten maken met Export Results op het tabblad Sedimentation

Alle drie zijn onhandig:

1. Geen legenda, onrealistische animatie (beweging terwijl tijd stilstaat), slecht werkende weergave met kleuren (update het scherm niet als animatie op pauze staat, dus vreemde animatie moet aan), slechte kleurgradiënt (na vijftien minuten simulatie is geen sediment waar te nemen)
2. Data zijn niet kopiërbaar.
3. Onduidelijk bestandsformaat, geen idee hoe deze gegevens te relateren zijn aan de tabel in het tabblad Sedimentation.

## 6.2 Deeltjestransport en sedimentvorming

Idem als bij 6.1.

Even naar de tabel gekeken: de massabalans van het sediment klopt niet.

Tijd	Sediment Influx [g]	Suspension [g]	Bedload [g]	Sum Suspension + Bedload [g]
00:00:00	0.140833	0.140244	0.001059	0.141303
00:05:00	0	0.140244	0.001059	0.141303
00:10:00	0	0.138393	0.001059	0.139452
00:15:00	0	0	0.001059	0.001059
00:20:00	0	0	0.001059	0.001059
00:25:00	0	0	0.001059	0.001059
00:30:00	0	0	0.001059	0.001059
00:35:00	0	0	0.001059	0.001059
00:40:00	0	0	0.001059	0.001059
00:45:00	0	0	0.001059	0.001059
00:50:00	0	0	0.001059	0.001059
00:55:00	0	0	0.001059	0.001059
01:00:00	0	0	0.001059	0.001059
01:05:00	0	0	0.001059	0.001059
01:10:00	0	0	0.001059	0.001059
01:15:00	0	0	0.001059	0.001059
01:20:00	0	0	0.001059	0.001059
01:25:00	0	0	0.001059	0.001059
01:30:00	0.149	0.147818	0.002241	0.150059
01:35:00	0	0.145506	0.004552	0.150058
01:40:00	0.055167	0.198025	0.0072	0.205225
01:45:00	0	0.195026	0.010199	0.205225
01:50:00	0	0.192063	0.013162	0.205225
01:55:00	0	0.18921	0.016016	0.205226
02:00:00	0	0.185095	0.018789	0.203884

Sediment Influx is het totaal en de enige bijdrage komt van ID A1. Suspension en Bedload is ook het totaal en de enige bijdrage komt van ID L001. Omdat L001 van A1 tot A2 gaat, en er geen positief verbruik (Demand) op A1 of A2 staat, klopt de massabalans niet.

### Correctie

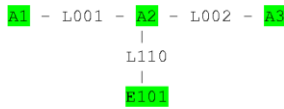
In het tabblad "Components" is te zien hoe het netwerk is opgebouwd. We kijken naar het netwerk rondom knoop A2. Alle leidingen die eindigen of beginnen op knoop A2 zijn de volgende.

ID	From	To	Length	Diameter	Volume [m <sup>3</sup> ]
L001	A1	A2	67	101.6	0.543
L002	A2	A3	15	101.6	0.122
L110	A2	E101	9	58.2	0.024

Opmerking: eenheden missen in dit tabblad. Aanname: [Length] = m, [Diameter] = mm, zoals in het tabblad "Sedimentation".

Alleen kolom "Volume" is toegevoegd, en is berekend via  $Volume = \pi/4 \times Diameter^2 \times Length$ .

Het netwerk ziet er dus als volgt uit:



De groen gearceerde elementen zijn knopen; de overige zijn leidingen.

In het INP-bestand is onder [JUNCTIONS] te zien dat er geen verbruik zit op A2 (ook niet op A1 en A3 wel op E101). Onder [RESERVOIRS] is te zien dat alleen op A1 een druk van 30 (mwk?) staat. Dit betekent dat de balans op punt A2 wordt bepaald door wat er door de drie leidingen stroomt.

Het vreemdste vindt plaats tussen 00:10:00 en 00:15:00. Laten we de gegevens op beide tijdstippen eens bekijken.

#### Op 00:10:00

ID	Velocity [m/s]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Travel Time [s]	Suspension [g]	Bedload [g]
L001	0.087	2.538	770.4780	0.138393	0.001059
L002	0.0776	2.2649	193.2923	0	0
L110	0.0285	0.2731	315.6419	0	0

ID	Demand [m <sup>3</sup> /h]	Sediment Influx [g]
A1	-2.54	0
A2	0	0
A3	0	0
E101	0.02	0

#### Op 00:15:00

ID	Velocity [m/s]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Travel Time [s]	Suspension [g]	Bedload [g]
L001	0.1120	3.2700	598.0040	0	0.001059
L002	0.1000	2.9182	150.0232	0	0
L110	0.0367	0.3518	244.9844	0	0

ID	Demand [m <sup>3</sup> /h]	Sediment Influx [g]
A1	-3.27	0
A2	0	0
A3	0	0
E101	0.02	0

De tijdstap is vijf minuten, wat neerkomt op 300 seconden. Dat betekent dat in theorie de suspensie in die tijdstap uit het leidingnet gestroomd kan zijn. Een van de mogelijke manieren is als volgt. Op 00:10:00 bevindt de suspensie zich aan het einde van L001, dus dicht bij knoop A2. In de daaropvolgende 300 seconden stroomt de suspensie door L110 waar het aan het einde, in knoop E101, uit het leidingnet stroomt. De verplaatsingstijd door die leiding is namelijk 245 seconden, dus het zou in theorie mogelijk zijn.

In Aquarellus wordt de hoeveelheid *sedimentmassa* (in gram) die uit het leidingnet verdwijnt niet getoond, wel de hoeveelheid *water* (in kubieke meters). Als je aanneemt dat de sedimentmassa zich uniform over een leiding verdeelt, kun je er wel aan rekenen – dat had ik eerder gedaan – en in dat geval klopt de massabalans niet. Maar de aanname van een uniforme suspensieverdeling per leiding is onterecht. Aquarellus rekent namelijk met buckets die kleiner zijn dan de leidingen.

Tip: voeg in het tabblad “Sedimentation” in het rechter venster een kolom “Sediment Outflux” toe, of nog beter: neem dit op als negatieve “Sediment Influx” (op dezelfde manier als de kolom “Demand” (kan zowel positief als negatief zijn)). Hiermee kun je de massabalans verifiëren.

## Uitvoering

1. Open Hoofddorp.INP met de tekstverwerker Notepad++
2. Ga naar het onderdeel [PATTERNS]
3. Kopieer de inhoud van dit onderdeel naar een spreadsheetprogramma zoals Excel
4. Aan deze gegevens is al het volgende te zien:
  - a. Er zijn zeven kolommen en achtenveertig rijen
  - b. Door het maken van een grafiek is te zien dat de laatste zes kolommen een dagpatroon volgen
  - c. Waarschijnlijk zijn dit dus zeven dagpatronen met een interval van een half uur
5. Ga naar het onderdeel [TIMES]
6. Hierin is het volgende te zien:
  - a. De duur (Duration) van de simulatie is vierentwintig uur, dus inderdaad een dag
  - b. De patroontijdsstap (Pattern Timestep) is vijf minuten, dus dat is vreemd, daarnaast is 6\*24 gelijk aan 288, het aantal vijfminuutintervallen in een dag
  - c. Waarschijnlijk staat de tabel in [PATTERNS] in een ongebruikelijke vorm en moet het van links naar rechts en van boven naar onderen gelezen worden met uitzondering van eerste kolom
7. Het enige dat vreemd is, is dat het patroon niet genormaliseerd is en dat het signaal erg bibbert
8. Zet de tabel in een logisch formaat door in Excel de volgende functie te gebruiken:  
=INDEX(\$C\$2:\$H\$999,1+AFRONDEN.NAAR.BENEDEN(\$J2/AANTAL(\$C\$2:\$H\$2),0),1+REST(\$J2,AANTAL(\$C\$2:\$H\$2)))
9. Om ervoor te zorgen dat de simulatieduur vier weken is, pas ik onder [TIMES] de waarde voor Duration aan naar 672:00 (24 uren/dag \* 7 dagen/week \* 4 weken = 672 uren)
10. Ik sla het bestand op als RFM.inp
11. In Aquarellus > Settings > Bucket size (mm) > 2
12. Home > Import > RFM.inp
13. Kijk opnieuw bij Settings, en zie dat de 2 bij Bucket size er nog steeds staat
14. Ik ga naar Sedimentation, en zie onderaan inderdaad 28 dagen (4 weken \* 7 dagen/week = 28 dagen) staan
15. Ik klik op Start om 17-04-19 @ 16:59:55
16. Om 18-04-19 @ 8:17 is er nog geen eindtijd berekend "Finish: Calculating..."
17. Ik beëindig de simulatie door op "Stop" te klikken
18. Vreemd genoeg stopt de simulatie niet, "Current:" blijft namelijk doorlopen
19. Het programma is niet vastgelopen, want "Export Results" en "Import Results" reageert
20. Eens zien of een export maken lukt ...
21. Nee, ik krijg de foutmelding "Access violation at address 0000000004FD5E3 in module 'Aquarellus.exe'. Read of address 0000000000000010."
22. Nog steeds teld "Current:" door
23. Programma beëindigd door op kruisje te klikken
24. Eest maar eens het oorspronkelijke EPANET bestand proberen te laten lopen.
25. Bucket size naar 2
26. Gestart om 18-04-19 @ 08:29:25
27. Verwachte eindtijd 18-04-19 @ 09:07:20
28. Lukt om uit te voeren, export gemaakt
29. Nu de tijd eens naar 48 uur zetten in het EPANET bestand
30. Gestart om 18-04-19 @ 13:26:18
31. Verwachte eindtijd 18-04-19 @ 14:31:02
32. Nu de tijd eens naar 72 uur zetten in het EPANET bestand
33. Gestart om 23-04-19 @ 11:19:05
34. Verwachte eindtijd 23-04-19 @ 12:58:57
35. Simulatie lijkt goed te gaan, onderaan zijn de drie dagen ook zichtbaar
36. Nu eens voor vier week proberen (4\*7\*24 = 672)
37. Weer komt Aquarellus niet vooruit. De EPANET simulatie lijkt het wel te doen, maar de sedimentatie berekening komt niet op gang.
38. Gekeken naar de invoer van de "Duration":  
<https://github.com/OpenWaterAnalytics/EPANET/wiki/%5BTIMES%5D>



39. Aquarellus opnieuw opgestart het INP-bestand aangepast door duration op "28 DAYS" te zetten. Nu werkt het wel!
40. Start 23-04-19 @ 11:34:00
41. Finish 24-04-19 @ 06:56:05
42. Sedimentation > Export Results
43. Geeft foutmelding: "Access violation at address 0000000004FDEAD in module 'Aquarellus.exe'. Read of address 0000000000000008."