

## Pilotonderzoek: dynamische filtratie op actiefslib

*Kees Roest (KWR Watercycle Research Institute), Bert Daamen (Bert Daamen Water en Energie), Mark van Loosdrecht (Technische Universiteit Delft & KWR Watercycle Research Institute)*

**Binnen het DynaFil-projectonderdeel ‘Dynamische filtratie op actiefslib’ is onderzoek gedaan naar een dynamisch membraan. Dat bestaat uit een robuust en goedkoop dragermateriaal, waarop een natuurlijke filterkoek ontstaat die verantwoordelijk is voor de filtratie. De structuur van deze koeklaag varieert in de tijd en dit beïnvloedt de effluentkwantiteit en –kwaliteit. Bij droogweeraanvoer werd een netto flux van 30 tot maximaal ongeveer 50 liter per m<sup>2</sup> doekoppervlak per uur behaald, bij minder dan 5 mg/L onopgeloste stoffen in het filtraat. Tijdens regenweeraanvoercondities verstopte het doek, waarschijnlijk door een verandering in slibmorfologie, maar dit herstelde zich vanzelf.**

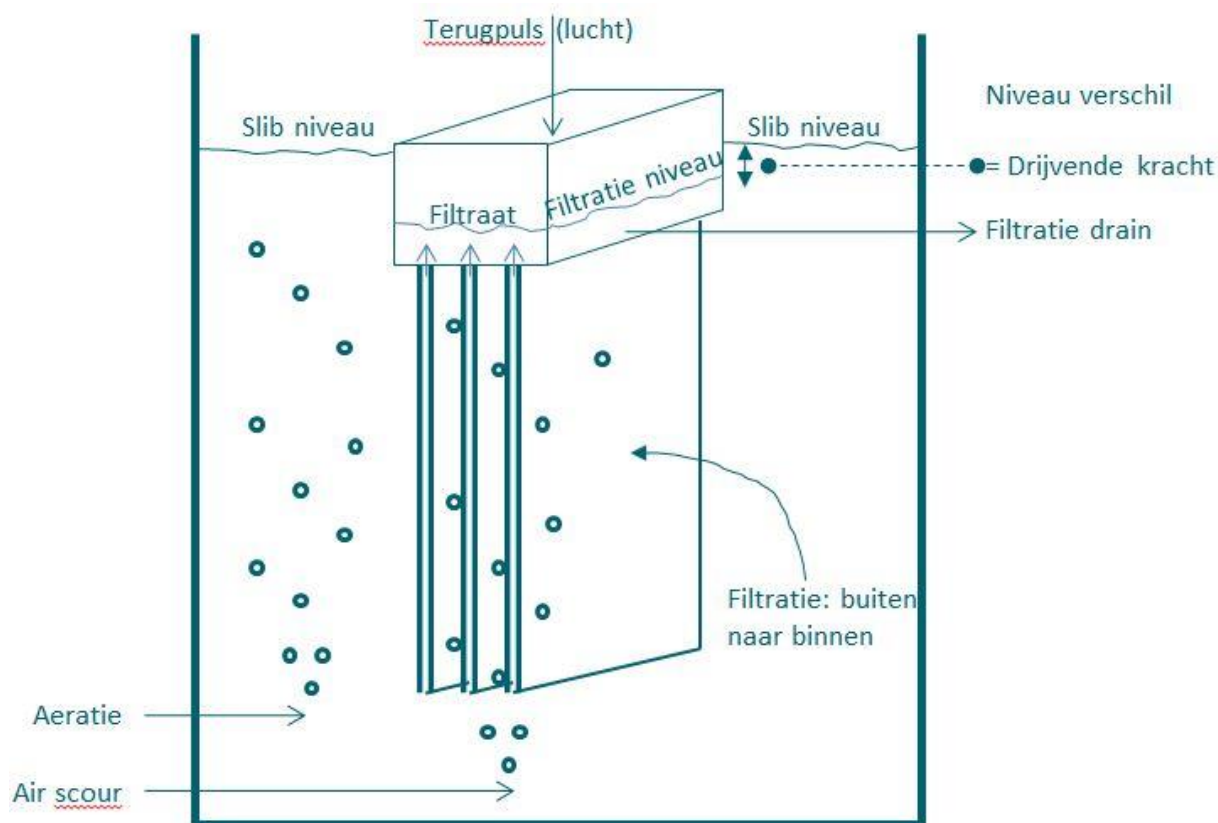
Doorgaans wordt het afvalwater in Nederland in één actiefslibtrap gezuiverd, maar rwzi Nieuwveer bij Breda heeft twee trappen. Dit zogenoemde AB-systeem bestaat uit een hoogbelaste eerste (A-trap) en een laagbelaste tweede trap (B-trap) [1]. De A-trap bestaat vooral uit een adsorptie/coagulatie/flocculatieproces, dat is vormgegeven als een actiefslibproces. De bijdrage van de biologie is de omzetting van opgelost chemisch zuurstofverbruik (CZV) naar gesuspendeerd CZV (biomassa). Dit kan ook de flocculatie bevorderen. Op rwzi Nieuwveer wordt in de A-trap ijzer(II) gedoseerd voor fosfaatverwijdering. De B-trap is vooral voor stikstofverwijdering. Beide trappen hebben elk een eigen slibcirculatiesysteem. Het proces kent geen voorbezinking, maar gebruikt een bezinking tussen de eerste en tweede trap. Vanuit deze tussenbezinktank (TBT) blijkt relatief veel zwevende stof naar de B-trap te spoelen. Dit was één van de drijfveren om dynamische filtratie als alternatieve slibscheidingstechnologie te onderzoeken (zie kader). Uiteindelijk is dynamische filtratie vooral na de B-trap van rwzi Nieuwveer getest, als alternatief voor een nabezinktank (NBT). Voor dit artikel is pilotonderzoek gedaan met dynamische filtratie op rwzi Nieuwveer. Het onderzoek is onderdeel van het DynaFil-project (zie dankwoord). De resultaten van het projectonderdeel ‘Inventarisatie en optimalisatie A-trap procescondities - bouwstenen voor het A-trap-procesontwerp’ zijn separaat beschreven [2], [3], [4], [5].

### **Dynamische filtratie**

Dynamische filtratie is een scheidingsproces voor afscheiding van vaste delen uit een vloeibare fase door middel van filtratie. Hierbij wordt op een grofmazig dragermateriaal (typische poriegrootte in micrometers (µm)) een filterende koeklaag opgebouwd met een beduidend kleinere poriegrootte. De term ‘dynamisch’ refereert aan de veranderlijke structuur van de filterende koeklaag. Ten opzichte van micro- en ultrafiltratie kenmerkt dynamische filtratie zich door:

- hogere fluxen (tientallen liters per vierkante meter doekoppervlak per uur);
- lager drukverval over het filter (1 - 100 cm waterkolom);
- een andere filtraatkwaliteit (2 - 20 mg/L onopgeloste bestanddelen), omdat geen sprake is van een absolute barrière voor kleinere deeltjes.

Het doel van deze studie is de ontwikkeling van een nieuw innovatief slibsecheidingsproces op basis van dynamische filtratie. Dit kan in de praktijk worden toegepast als alternatief voor een tussenbezinktank (TBT) of nabezinktank (NBT), met of zonder nageschakelde zandfiltratie, of als alternatief van een membraanbioreactor (MBR). Hierbij is uitgegaan van de gedachte dat dynamische filtratie een compact en goedkoop alternatief kan bieden voor de afvang van de organische fractie uit afvalwater. Door meer organische stof uit afvalwater af te vangen kan er meer organische stof naar de vergisting gaan, wat mogelijk een hogere biogasproductie tot gevolg heeft. Hierdoor draagt dit proces bij aan de energiedoelstellingen van waterschappen. Dynamische filtratie, in plaats van tussenbezinking, kan koude anammox - energiezuinige stikstofverwijdering met behulp van bacteriën onder koude en verdunde omstandigheden in de hoofdstroom van een afvalwaterzuivering - in de B-trap faciliteren, doordat een meer geschikte koolstof/stikstof-verhouding wordt verkregen. Dit onderzoek is een vervolg op de literatuurstudie naar dynamische filtratie [6] en was verdeeld in twee fasen. In fase 1 zijn de uitkomsten en bevindingen beschreven van de onderzoeksinstallatie op het AB-systeem van rwzi Nieuwveer. De aanbevelingen en ontwerpwijzigingen die hieruit voortkwamen zijn toegepast in een uitgebreid pilotonderzoek (fase 2) [7].



Afbeelding 1. Vereenvoudigde schematische weergave van de dynamische filtratie in de onderzoeksinstallatie

### Fase 1: Dynamische filtratie in de onderzoeksinstallatie

De onderzoeksinstallatie (afbeelding 1) bestond uit drie multi-multi-filament-polypropyleendoeken van 0,9 m<sup>2</sup> (vlakke platen van elk 0,5 m hoog en 0,3 m breed). Doelstelling was een netto flux van 50 L/m<sup>2</sup>.uur (Lmh; liter per vierkante meter doekoppervlak per uur) te bereiken. De kritieke flux is de maximale permeaatflux, waarbij er zonder aanvullende maatregelen zoals terugspoelen (backwash) sprake is van onomkeerbare vervuiling. Het is belangrijk bij een hogere flux te werken, maar dan is

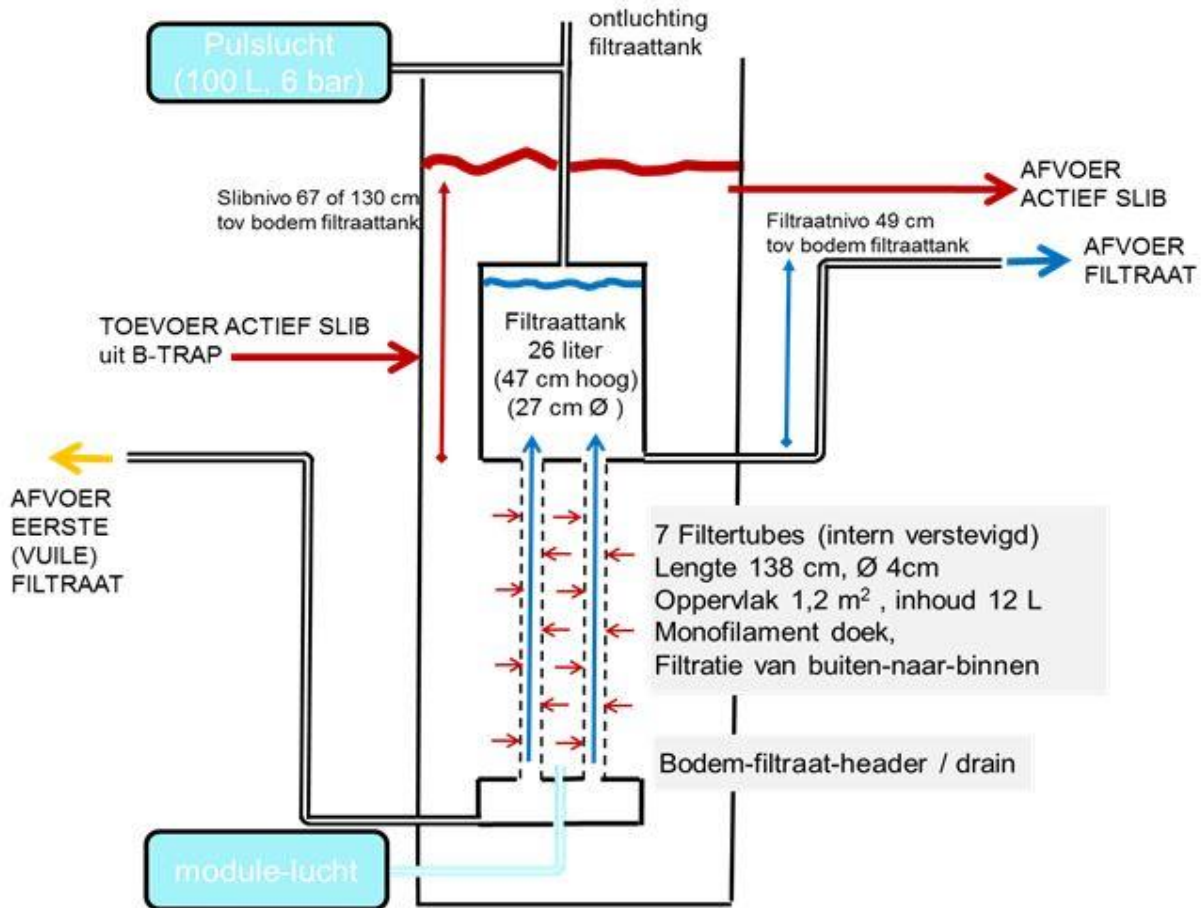
fluxdaling tijdens het filtratieproces onontkoombaar. Deze fluxdaling wordt veroorzaakt door verstopping van de poriën in het dragermateriaal, de afnemende porositeit van de opgebouwde filterkoek (compressie en herschikking), en de toenemende filterlaagdikte. Het is gebleken dat periodiek terugspoelen leidt tot een effectief dynamisch filter door:

- beperking van de laagdikte van het opgebouwde dynamische filter;
- verwijdering van de vervuiling uit de poriën in het filterdoek;
- realisatie van een acceptabele porositeit van het dynamische filter, omdat na elke terugspoeling weer een verse nieuwe laag wordt opgebouwd.

Bij eerste kortdurende (1 dag) dynamische filtratie-experimenten voor A-trap-slibscheiding met ondergedompelde doeken werd een netto flux van 10-20 Lmh verkregen. Ondanks een goede effluentkwaliteit (het gehalte onopgeloste stof bleef onder de detectielimiet van 5 mg/L), ontstond toch onomkeerbare vervuiling. De mechanische kracht van de terugspoeling op het multi-multi-filamente doek bleek onvoldoende om de vervuiling te beheersen. In de gebruikte configuratie wordt dynamische filtratie dan ook niet haalbaar geacht voor A-trap-slib.

Met grofmaziger (30-120 µm poriediameter) mono-filament nylon filterdoek is gedurende een langere periode van enkele dagen een stabiele nettoflux van maximaal 40 Lmh verkregen op B-trap-slib. Hierbij was de onomkeerbare vervuiling beheersbaar, maar bleek het gehalte onopgeloste stof in het filtraat tot meer dan 50 mg totaal zwevende stof (total suspended solids) per liter (TSS/L) op te lopen. Bovendien droeg maar een beperkt deel van het filterdoek daadwerkelijk bij aan de permeabiliteit.

De gebruikte onderzoeksinstallatie bleek enkele technische beperkingen te hebben; mogelijk kan met een aangepaste configuratie wel een hogere nettoflux met aanvaardbare effluentkwaliteit gehaald worden. Onderzoek naar deze technische beperkingen met kleinschalige kortetermijnexperimenten leverde uitgangspunten voor ombouw en verbetering van de installatie op. De belangrijkste wijzigingen waren toepassing van fijnmaziger mono-filament filterdoek, filtertubes, bodemdrain van de filtraatruimte van de doektubes en een langer doek (afbeelding 2).

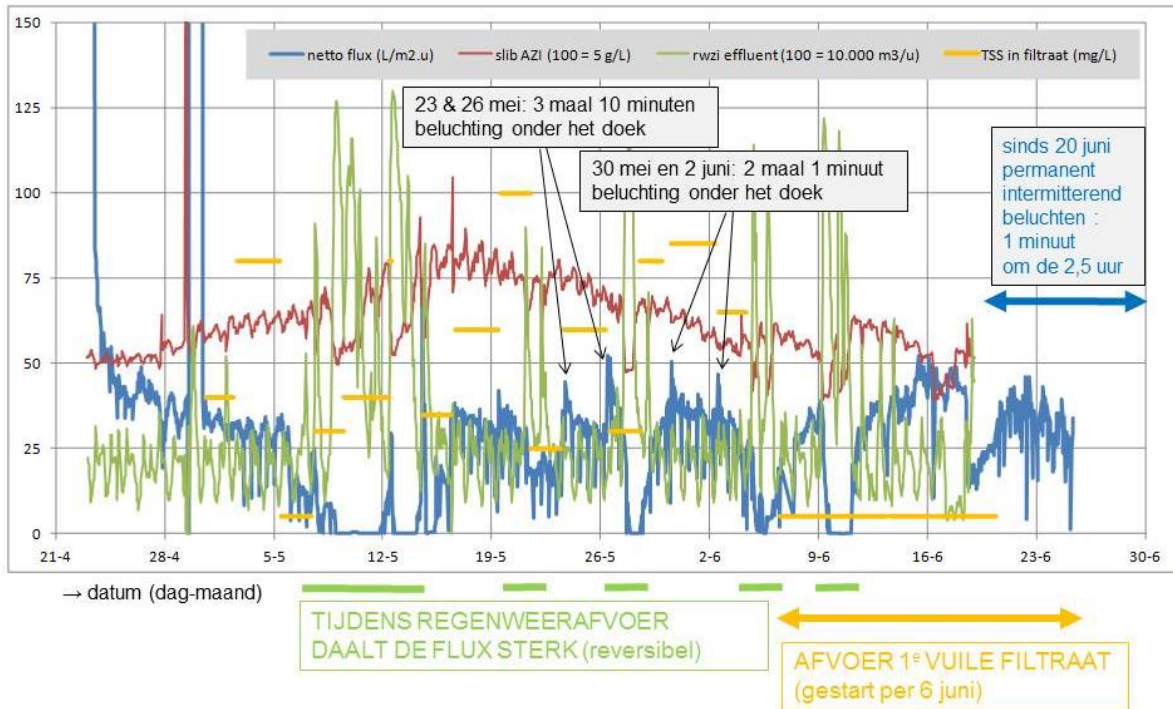


Afbeelding 2: Vereenvoudigde schematische weergave van de pilotinstallatie voor dynamische filtratie

## Fase 2: Dynamische filtratie in de pilotinstallatie

Na de aanpassingen zijn met de pilotinstallatie voor dynamische filtratie (afbeelding 2) testen uitgevoerd met filtertubes op B-trap-slib. De resultaten laten zien dat bij droogweeraanvoer (DWA), een bestendige nettoflux van schoon filtraat van 30 tot 50 Lmh, met een gemiddeld gehalte onopgeloste stof lager dan 5 mg/L, kan worden bereikt (afbeelding 3).

De bodemdrain van de filtraatruimte voor het afvoeren van het eerste vuile filtraat blijkt cruciaal voor het bereiken van een goede filtraatkwaliteit. Verder blijkt de flux gevoelig voor een veranderende slibkwaliteit bij regenweeraanvoer (RWA) in combinatie met een groot initieel drukverval ( $\Delta P$ ) na terugpulsen met filtraat. Dit vormt nog een uitdaging voor een constante procesvoering van de dynamische filtratie-installatie. Uit een test met ijzerchloridedosering blijkt dat dit een positief effect heeft op de flux. Verdere testen zullen moeten uitwijzen of dit voldoende effect sorteert tijdens RWA-condities. Verdere verfijning en langdurige dynamische filtratietesten worden aanbevolen.



Afbeelding 3. Resultaat van dynamische filtratie van B-trap-slib, waarbij een nettoflux van 30 tot 50 Lmh (blauw) met gemiddeld minder dan 5 mg/L onopgeloste stof (TSS; oranje) in het filtraat bij DWA mogelijk is gebleken, indien het eerste vuile filtraat wordt afgevoerd (vanaf 6 juni). Een stabiele flux bij RWA-condities (uitschieters rwzi-effluent; groen) blijkt vooralsnog niet haalbaar. In rood het slibgehalte in de B-trap (g/L)

## Kostenbeschouwing

Door een kostenbeschouwing uit te voeren, is bepaald hoe dynamische filtratie zich economisch gezien verhoudt ten opzichte van de toepassing van een membraanbioreactor (MBR) en nabezinking, al dan niet met nageschakelde zandfiltratie [6]. Een doekfilterinstallatie wordt vanuit het perspectief van investeringskosten en operationele kosten interessant in een vergelijking met een MBR bij een flux van 50 Lmh. Op basis van het ruimtebeslag wordt dynamische filtratie vanaf een flux van 100 Lmh vergelijkbaar met een MBR-installatie. Ten opzichte van nabezinking is er al een ruimtebesparing met dynamische filtratie bij een netto flux van 25 Lmh.

## Reflectie

In dit onderzoek is veel kennis vergaard over de haalbaarheid van dynamische filtratie. Er zal echter nog meer onderzoek verricht moeten worden om deze techniek als zuiveringstechnologie voor communale toepassing verder te ontwikkelen. Er is uiteindelijk getest op afscheiding van B-trap-slib in een full-scale systeem, waarin dat slib met behulp van bezinking wordt afgescheiden. Er is géén selectiedruk uitgeoefend op slib(vlok)populaties om te komen tot wenselijke filtratie-eigenschappen. Het verdient aanbeveling om het geheel van biologische slibpopulatie én slibretentietechniek te optimaliseren. Om een bestendige flux te bereiken met dynamische filtratie zou de pilotinstallatie met filtertubes getest kunnen worden op een installatie met één slib (dus geen AB)-systeem. Te denken valt aan een conventionele rwzi of een industriële zuiveringsinstallatie met ander slib en kleinere verschillen in het RWA/DWA-patroon. Een hybride rwzi-vorm, waarbij er ook bij RWA een constant debiet met dynamische filtratie wordt verwerkt, zou ook een interessante mogelijkheid kunnen zijn om te testen. Het verder optimaliseren en selecteren van de slibvlokken zelf, in een

actiefslibstelsysteem dat volledig met dynamische filtratie wordt bedreven, kan eveneens leiden tot een meer robuuste slibvlok, die minder gevoelig is voor de invloed van RWA-condities. Eventueel kan hiervoor een coagulant worden toegevoegd. Verder kan de installatie verbeterd worden door een horizontale doekophanging toe te passen in plaats van de nu gebruikte verticale ophanging. Hierdoor is het initiële drukverval na terugpulsen minder groot. Ook het toepassen van een filtraatpomp, voor een beheerst onttrekkingsdebiet en het vullen van de filtraattank na pulsen, kan leiden tot een betere opbouw van de koeklaag en betere beheersing van de flux. Het afvoeren van het eerste vuile filtraat is cruciaal en zorgt voor een goede filtraatkwaliteit met minder dan 5 mg/L onopgeloste stof. Periodiek terugspoelen is nodig voor het verkrijgen van een effectief dynamisch filter, waarbij een hoge flux (hoger dan de kritische flux) gerealiseerd kan worden. Dit kan geautomatiseerd worden. Als daarbij een terugspoeling in gang wordt gezet bij een bepaalde minimale fluxgrenswaarde, kan flexibel worden ingespeeld op veranderende omstandigheden.

### **Aanbevelingen**

Het pilotonderzoek heeft ook een aantal leerpunten opgeleverd [2]. Op grond van deze leerpunten worden de volgende aanbevelingen gedaan.

### ***Slibkwaliteit***

De slibkwaliteit is een belangrijke parameter bij de praktische uitvoering van dynamische filtratie, aangezien de koeklaag (slib) uiteindelijk verantwoordelijk is voor de filtratie. De koeklaag moet niet te dicht en te dik worden, want dan wordt de filtraatflux te laag, maar een te open of te dunne koeklaag geeft weer teveel doorslag. De veranderende procescondities in een rwzi zorgen voor een extra dynamisch geheel. De volgende aanbevelingen kunnen worden geformuleerd voor een efficiënte inzet van dynamische filtratie:

- Er is nader onderzoek nodig naar dynamische filtratie met een geschikt afvalwaterzuiveringssysteem waarmee het concept langdurig en consequent kan worden toegepast. Met geschikt slib kan een open koekopbouwstructuur gecreëerd worden. In dit onderzoek is de pilot op een AB-systeem (rwzi Nieuwveer) getest, waarbij specifieke (slib)condities optreden. Het testen van dynamische filtratie op een conventioneel actiefslibstelsysteem (rwzi en/of awzi) zou verrassende resultaten kunnen opleveren.
- Een (toekomstig) systeem met minder RWA biedt kansen voor dynamische filtratie.
- Verder onderzoek naar toepassing van vlokmiddelen in combinatie met dynamische filtratie is gewenst.
- Er is nader onderzoek nodig om te bepalen wat een geschikte slibvlok/-structuur is voor de dynamische filtratie en hoe deze (door selectie van de juiste procesomstandigheden) verkregen kan worden.

### ***Porieverstopping***

Uiteindelijk is porieverstopping de oorzaak van een teruglopende flux. Het doekmateriaal, en vooral de poriegrootte, is hierop van invloed. Op basis van het onderzoek zijn de volgende twee aanbevelingspunten ten aanzien van porieverstopping geformuleerd:

- Door de poriegrootte te verkleinen kan de invloed van wisselende slibmorfologie op de koekopbouw van het doek worden gereduceerd. Dit vermindert de verstopping en initiële



doorslag. Echter, een kleinere poriediameter vergt mogelijk kwetsbaardere materialen en daarmee ook een andere filterconfiguratie dan nu is gebruikt.

- Een rustigere initiële koekopbouw kan er ook voor zorgen dat het slib bij de start van filtratie niet direct met relatief grote kracht in de poriën wordt gedrukt. Het verdient dus aanbeveling om in het ontwerp een rustige gestuurde filtratie(opstart) te realiseren.

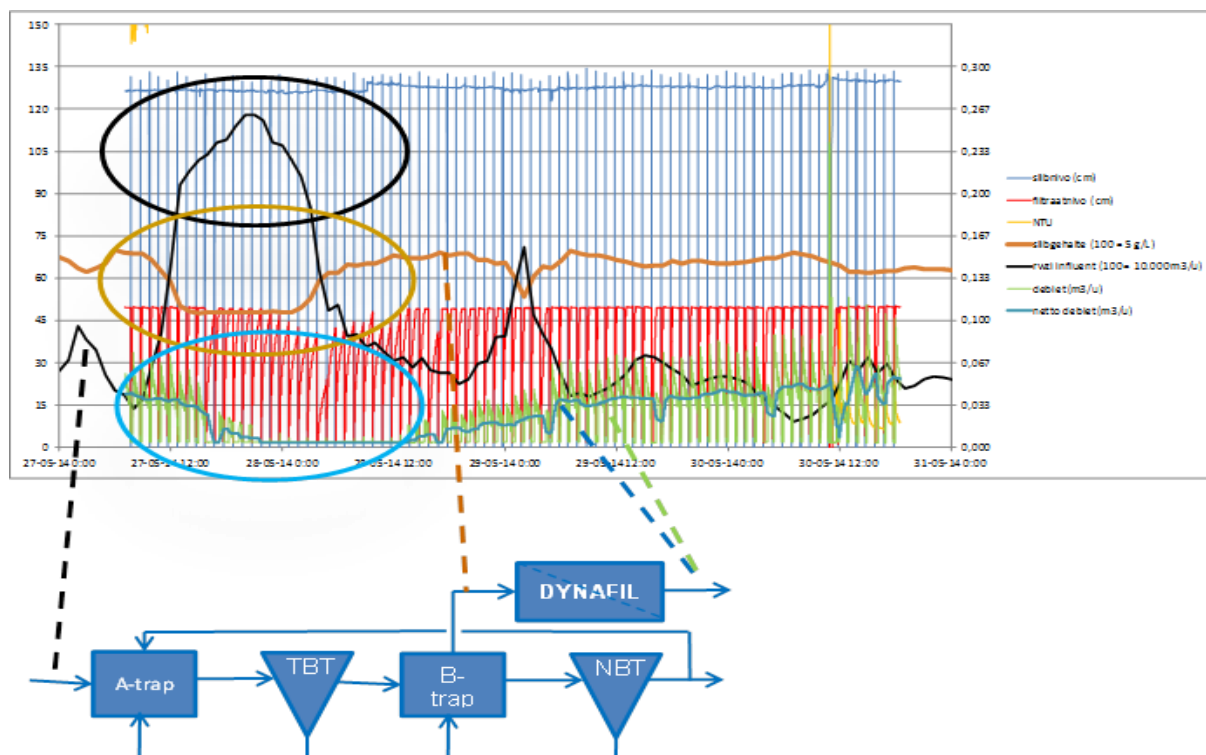
### ***Dynamische filtratie-installatie***

Verdere mogelijke onderzoekspunten met een aangepaste dynamische filtratie-installatie zijn:

- Een horizontale doekophanging kan ertoe leiden dat het initiële drukverval na het terugpulsen veel kleiner is dan bij verticale ophanging.
- Vullen van de filtraatruimte met (schoon) filtraat na pulsen alvorens filtratie. Mogelijk leidt dit tot een kleiner initieel drukverval en wordt daarmee de koekopbouw bij de start van de filtratie rustiger.
- Een met een filtraatpomp geregeld onttrekkingsdebiet, waarbij een rustiger gestuurde filtratie(opstart) mogelijk wordt.
- Doektubes bij het productieproces rondweven in plaats van thermisch lassen. Dit voorkomt zwakke plekken (bijvoorbeeld naast de lasnaad) en leidt tot een circa 5% groter effectief filtratieoppervlak bij dezelfde afmetingen.

### **Conclusies**

Er is veel vooruitgang geboekt met dynamische filtratie van B-trap-slib. Of dynamische filtratie ook succesvol met A-trap-slib kan worden uitgevoerd is nog onduidelijk. Dosering van ijzer op de B-trap resulteerde in een hogere flux en lagere concentratie onopgeloste stof in het filtraat, en aangezien er op de A-trap in de praktijk reeds veelal ijzer wordt gedoseerd biedt dat perspectief. Het is echter onzeker of er (via de slibvergisting) netto energiewinst kan worden geboekt uit het dynamisch filtreren van A-trap-slib ten opzichte van tussenbezinking. Een bestendige nettoflux van schoon filtraat van 30 tot 50 Lmh, met gemiddeld minder dan 5 mg/L onopgeloste stof in het filtraat bij DWA, is mogelijk gebleken bij behandeling van B-trap-slib. Een stabiele flux bij RWA-condities is vooralsnog niet mogelijk gebleken (afbeelding 4), al zou FeCl<sub>3</sub>-dosering een oplossing kunnen zijn. Verdere verfijning van het ontwerp en langdurige dynamische filtratietesten worden aanbevolen om een robuuste en effectieve filtratietechniek te realiseren.



Afbeelding 4. Samenvattend overzicht resultaten en procescondities dynamische filtratie rwzi Nieuwveer. In de cirkels een RWA-situatie met veel influent (zwart), een lager slibgehalte in de B-trap (bruin) en een tot ongeveer 0 Lmh teruglopende nettoflux van dynamische filtratie (blauw), die daarna weer herstelt

## Dankwoord

Het DynaFil-project is een publiek-private samenwerking van KWR Watercycle Research Institute, TU Delft, Waternet, Waterschap Brabantse Delta, STOWA, Logisticon Water Treatment en Bert Daamen Water & Energie. ‘DynaFil’ staat voor ‘dynamische filtratie’. Het doel van dit project was om de afvalwaterzuivering energie-efficiënter te maken. De onderzoekers hebben hierin vooral gekeken naar een tweetraps zuivering, waarbij ze hebben geprobeerd in de eerste trap zoveel mogelijk organische stof te verwijderen. Het idee was dat daardoor het totale zuiveringsproces minder energie zou vragen, en dat de slibvergisting meer energie zou kunnen opleveren. Het project is mede gefinancierd door RVO (voorheen AgentschapNL) in het kader van de Subsidieregeling Energie en Innovatie, Effectieve en Efficiënte Vergistingsketen (EVTP01084).

Specifieke dank aan Chris Reijken, Cora Uijterlinde, Erik Rekswinkel, Etteke Wypkema, Jack Jonk, Joost Kappelhof, Jos Boere, Jules van Lier, Leonie Hartog, Olaf Duin, Ronald van den Berg en Willy Poiesz.

## Referenties

1. Böhnke, B. (1984) Reinigungsleistungen von 2-stufigen Höchstlast-Belebungsanlagen im Vergleich zu einstufigen Belebungsanlagen. *Korrespondenz Abwasser* 31(7), 588-591.
2. Graaff, M. S. de et al. (2016) Full-Scale Highly-Loaded Wastewater Treatment Processes (A-Stage) to Increase Energy Production from Wastewater: Performance and Design Guidelines. *Environmental Engineering Science* 33(8), 571-577.
3. Graaff, M. S. de & Roest, K. (2012) *Inventarisatie van AB-systemen - optimale procescondities in de A-trap*. KWR, KWR 2012.094.



4. Graaff, M. S. de, Roest, K., Brand, T. P. H. van der, Huiting, H. & Zandvoort, M. (2014) *Vervolgonderzoek A-trap: bouwstenen voor het A-trap procesontwerp*. KWR, KWR 2014.077.
5. Roest, K., Brand, T. P. H. van der, Zandvoort, M. van, Graaff, M. S. de, Loosdrecht, M. van (2017). Hoogbelaste voorzuivering afvalwater – inventarisatie en bouwstenen voor het A-trap-procesontwerp. *H2O-Online*, 25 september 2017
6. Stowa (2011) *Dynamische filtratie - Literatuurverkenning*. Stowa, 2011-w06.
7. Roest, K., Daamen, B. & Versteeg, E. (2015) *Eindrapportage pilot onderzoek dynamische filtratie op actief slib*. KWR, KWR 2015.042.